計畫編號：101-5926901000-03-01

# 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
# 屏東平原

Hydrogeology Investigation and Groundwater Resource Assessment for Taiwan
-- Groundwater Recharge Estimation and Model Simulation
Pingtung Plain

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 教授

協同主持人：陳文福 副教授

協同研究員：張竝瑜 副教授、陳宇文 博士

中華民國一〇一年十二月

# 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
# 屏東平原

Hydrogeology Investigation and Groundwater Resource Assessment for Taiwan
-- Groundwater Recharge Estimation and Model Simulation
Pingtung Plain

編撰者：張良正、張竝瑜、陳文福、江崇榮
王詠絢、黃智昭、陳瑞娥、陳宇文
蔡瑞彬、陳祐誠、楊深惠、王雲直

中華民國一〇一年十二月

# 摘要

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」，於臺灣地區九個地下水區及恒春和澎湖地區，進行地下水觀測井網建置及水文地質調查研究，執行期程分三期共十七年。此計畫之執行除了建立臺灣地區之地下水觀測系統以及水文地質資料庫外，並進一步釐清了臺灣地區重要地下水區之水文地質架構，且據此初步釐訂濁水溪沖積扇和屏東平原之地下水補注區，惟後者仍有待進一步評估確認。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)實施進度之規劃，分別進行濁水溪沖積扇及屏東平原地下水區之相關研究。全程計畫主要成果在完成兩地下水區之，地下水主要補注區範圍建議、區域抽水量與補注量推估、現地補充調查試驗含地電阻調查與水質調查、數值模擬與水平衡分析等。

屏東平原地下水主要補注區範圍之建議部分，本計畫綜合高補注潛勢區、高地電阻區與高溶氧區三者，並搭配岩心鑽探柱狀圖與數位地表高程(DTM)等資訊，得出屏東平原主要補注區分布。其主要範圍包含屏東平原北區與南區，北區包含旗山鄉、美濃鄉、高樹鄉、里港鎮、鹽埔鄉、長治鎮及內埔鄉，南區部分包含萬巒鄉、潮洲鄉與新埤鄉。

屏東平原區域抽水量與補注量之推估部分，本計畫綜合分散型地下水歷線法與數值模式之結果，推估得屏東平原全區之垂向補注量為 17.65 億噸，上游山邊側向流入量為 3.13 億噸，下游海岸側向流入量為 0.23 億噸，三項總合之系統總流入量為 21.01 億噸。於系統流出量方面：含水層一抽水量 1.33 億噸，含水層二抽水量 4.40 億噸，含水層三抽水量 4.12 億噸，流失量 11.11 億噸，四項總合之系統總流出量為 20.96 億噸。

在現地補充調查試驗部分，可區分為地電阻調查與水質調查兩項，其中地電阻調查先由地質鑽井岩心與地表調查等資料，判定沖積扇補注區可能之邊界，沿扇頂至扇尾選擇適當地點，完成 19 條二維地電阻影像剖面測線，應用高解析度地電阻剖面協助補注區之劃設。屏東平原自扇頂往扇央方向延伸，組成堆積物由極粗礫石構成，扇央部分迅速變成礫泥或砂泥互層沉積物所構成，搭配觀測井岩芯柱狀圖比對後，主要補注區邊界介於扇頂區之高電阻率(>200 Ohm-m)之礫石層，到低電阻率(具有 50-60 Ohm-m 以下電阻率)之砂泥或礫泥互層之邊界上，在此以 75(Ohm-m)作為門檻，供劃設主要補注區邊界之用。屏東平原補注區邊界大致分為南、北兩個分區，萬巒與內埔地下水觀測井鄰近區域為兩大補注分區間之漸變帶與分隔帶。南北兩區主要為兩大沖積扇所構成，北區為荖濃-隘寮溪沖積扇所構成，邊界自吉洋觀測井之西側延伸至里港觀測井之東邊，往

南至九如觀測井之東側與海豐觀測井東側，向東南延續至建興觀測井西側，最後經老埤觀測井西側至東側大武山區；南區為林邊-力力溪沖積扇所構成，邊界自萬巒觀測井之南側往西南，至潮州觀測井之東側後，從萬隆觀測井與新埤觀測井中繼續往南，最後經犬響二觀測井之西方至屏東平原最南側。

在水質調查部分，為作為主要補注區劃定的依據，100-101 年進行屏東地面水 12 處與地下水 54 站 130 口井之水質採樣與化驗。調查結果繪製地下水溶氧帶及硝酸鹽帶的範圍，高溶氧範圍大致上可作為主要補注區劃設的依據。此外，屏東平原地面水及扇頂地下水蘊含碳酸氫鈣為主，少數地區地下水則偏碳酸氫鈉。相對於濁水溪沖積扇扇頂，屏東地區扇頂地下水之歷年導電度並沒有增加的趨勢。

關鍵字：分散型地下水歷線法、地下水模式、地下水補注潛勢與地電阻調查

# 目錄

# 圖目錄

# 表目錄

# 第一章 前言

地下水是台灣地區重要的水資源之一，每年約使用 60 億頓，佔整體用水量的三分之一，而就區域地下水資源的管理而言，地下水補注來源的瞭解乃是重要的課題之一，最近通過的地質法，更將重要地下水補注區列為需加強調查與管理的地質敏感區之一。地下水重要補注區範圍的界定，再配合適當的管理，除了可確保地下水補注量外，亦可避免地下水遭受汙染，從而維持地下水質與量的永續。

以往研究顯示，要明瞭各區之地下水資源，必須先掌握地下水位的變化、水文地質架構、水文地質參數、補注來源、水質地化背景及地下水流模式。經濟部水利署與中央地質調查所，自民國 81 年起共同執行「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」，於臺灣九個地下水區、恒春與澎湖地區進行水文地質調查研究及地下水觀測井網建置，完成建立臺灣地區水文地質基本資料與地下水監測系統，開發水文地質資料庫提供儲存和處理各項調查分析結果。然而，若欲進一步界定重要的地下水補注區，則需再補充更高精度之基礎資料，以提升補注區評估之可信度。爰此，本計畫透過二維地電阻施測、水質地化調查及鑿井試驗等方法，補充調查基礎資料，接著再以此為基礎，搭配補注潛勢分析之成果，評估主要補注區之範圍。除了補注區範圍的界定，評估地下水補注區之補注量對地下水系統之影響，可使吾人對地下水補注區管理之重要性有更清楚的認識，對此本計畫先以地下水水位歷線法與地下水流數值模式等分析工具，量化評估進出地下水系統之各種量值，再進一步應用地下水流與水質模式，分析補注區對整體地下水水量及水質之影響。本計畫所得成果可供主管機關劃定地下水補注地質敏感區之依據，使地下水資源的管理朝向永續利用的目標前進。

# 第二章 文獻回顧與研究流程

本章於 2.1 節將回顧國內外補注區劃設之相關研究，接著再以國外地下水源保護區為例，說明其地下水資源保護之施行方法，最後再評估國內目前地下水資源之保護現況，借鏡國外相關研究與案例，探討可改善之處。2.2 節則說明本計畫之整體研究流程。

## 2.1 文獻回顧

「台灣地區地下水觀測站網建置整體計畫」兩期計畫皆已完成，以其為基礎之屏東平原水文地質架構相關研究，亦已累積了相當的研究成果，此完備的資料為地下水資源相關研究的重要基礎，地下水補注調查評估亦是其中之一。目前，地下水補注量與補注區的探討，為地下水資源管理的重要議題之一，此方面近年來已有眾多研究應用因子分析方法計算地下水補注潛勢(Bromley et al., 1997; Chenini et al., 2010; Jasrotia et al., 2007; Mukherjee, 1996; Mondal and Singh, 2004; Mukherjee et al., 2012; Salama et al., 1994; Shaban et al., 2006; Yeh et al., 2009)，並據以描述各地區補注難易度之相對大小，然而實際上仍需降雨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。

在潛勢評估相關研究方面，較早且具代表性的研究乃是以 DRASTIC 為代表的一系列以因子權重分析為基礎的研究，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。

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，可配合地理質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。

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 等人(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 等人 (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 等人近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 與 Singh(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 等人 (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 等人(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(Karsticdomains)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 等人 (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。Yeh 等人 (2009)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 等人 (2006)近似。Yeh 等人 (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。Chenini 等人(2010)以集水區範圍(Watershed limit)、河系(Drainage)、河系密度(Drainage density)、岩性(Lithology)、破裂面露頭(fractured outcrops)、線型構造(Lineaments)、滲透係數(Permeability)及壓力水頭等八個因子透過 GIS 之空間整合與分析功能，劃分出研究區域內三個含水層可進行人工補注之範圍。國內研究方面，江等人(2005)利用氚、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(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(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高、中、低三類土壤飽和入滲分級。之後，進一步藉由 MODFLOW 模式計算屏東平原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分為高、中、低三級。

然前述研究僅以補注潛勢分析結果作為主要補注區範圍評估之參考，本計畫為求評估結果之客觀性與正確性，除採用補注潛勢分析主要補注區外，另外再以二維地電阻調查及水質檢測評估主要補注區範圍，所得成果再與補注潛勢分析結果互相檢驗修正。本計畫採用二維地電阻施測，乃因前人研究指出應用地表地電阻可分析出礫石與砂之分佈(Beresnev et al., 2002; Danielsen et al., 2007; Grififths and Barker, 1993; Kilner et al., 2005; Loke, 2000; Ortega et al., 2010; TaheriTizro et al., 2012)，而富含礫石與砂之含水層因其滲透性較高，因此較易入滲(Frenchand Binley, 2004)。由前述文獻可知，若能找出礫砂層之分佈範圍，對於主要補注區範圍之劃定具相當之參考價值。在水質分析方面，本計畫以溶氧量作為參考指標，作為輔助檢驗補注區範圍的依據。地下水環境的氧化還原反應，首先發生於含有溶氧之水源流入地下水時，此時水中溶氧最高，往深處流動時，因無空氣接觸，缺乏氧氣補充，溶氧漸被地層及地下水中的耗氧物(例如有機碳、亞鐵離子、硫化物等)消耗用盡，此種含水層被稱為溶氧還原帶(Frencha

et al., 2004; Jackson et al., 1982; Domenico et al., 2003; Chen et al., 2003)。由此可知，當一淺層觀測井量得較高之溶氧時，可推論該處之通透性應較佳且需具備良好的補注來源，主要原因為(1)當孔隙流通性佳時，流速較快，補注水源流至觀測井濾管途中與耗氧物接觸之時間較短，所消耗之溶氧量少，故能維持較高之溶氧量。(2)若欲維持較高之溶氧量，則尚需持續的補注來源，當地下水補注的能力大於有機質消耗溶氧量之能力時，則地下水質方能呈現含有較高溶氧量的狀態。因此，當一觀測井量測之溶氧量較高時，可代表該區域具較佳之地下水補注能力，本計畫利用此特性，將溶氧量作為評量含水層入滲能力的輔助參考指標。

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

美國華盛頓州「重要含水層補注區」(CARA, Critical Aquifer Recharge Area)，乃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)，立法之主要理由為汙染前之保育比汙染後之清除省錢，美國環保署估計汙染後之清除費比汙染前之保育費用高 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，其措施如禁止混凝土鋪面，以避免減少降雨入滲量。保護之優先次序主要考量使用現況及未來需求，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，以訂出保護之優先次序。以下即為美國重要地下水資源之保護步驟(Morgan, 2005)：

(1)辨別(Identify)：調查何處擁有可用之地下水資源，現今地下水井分布及其使用情形，以及水資源現況與含水層分布。調查後針對飲用水水井，標出井頭保護帶，而井頭保護帶(Wellhead Protection Zones)即為一緩衝帶，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。其緩衝時間即為保護帶外之污染進入含水層後，移動至水井所需之時間(USEPA, 1989)。如圖 2.1-1 所示，圖中紅點為飲用水井、綠圈為井頭保護帶。依據美國「安全飲用水法」(SDWA, Safe Drinking Water Act)規定，需調查飲用水源附近之潛在污染源(Potential contamination sources)。並將

公有井列為第一順位保護，而私有井(家戶使用)也加以保護。

(2)污染敏感度(Susceptibility)：指自然條件是否容易受到污染，例如地下水面、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，如圖 2.1-2 及圖 2.1-3 所示。

(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：在地圖上明確標示範圍，如：潛在的污染區、含水層範圍及性質、飲用水源水井，並綜合說明劃設此區對飲用水源之重要性。如圖 2.1-4 所示，圖為美國華盛頓州 Issaquah 市之重要地下水補注保護區，將保護區分成三類：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。

(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：除飲用水之抽用，應維持河川基流量，以保護河川生態。

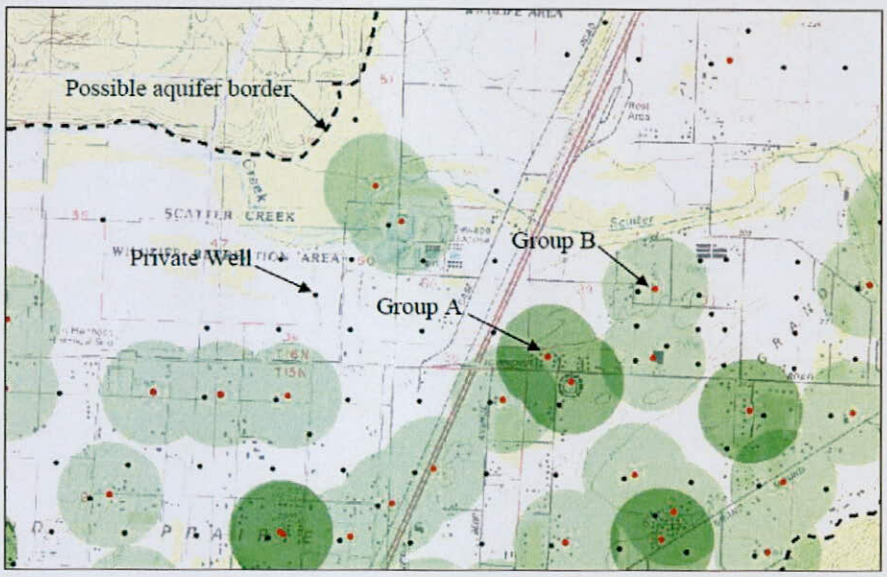



圖 2.1-1 辨別標示出井頭保護帶

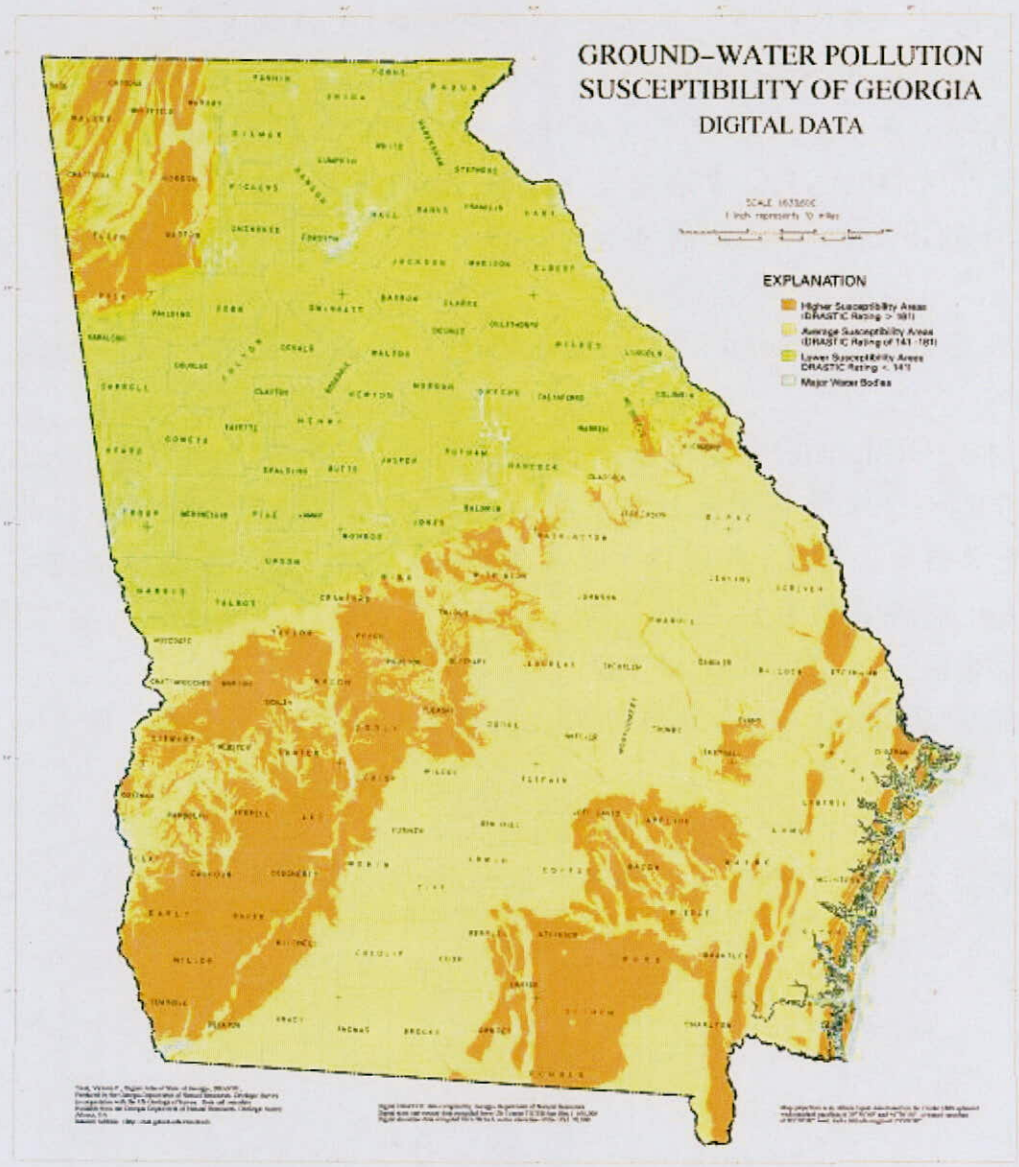



圖 2.1-2 美國 Georgia 州之污染敏感圖

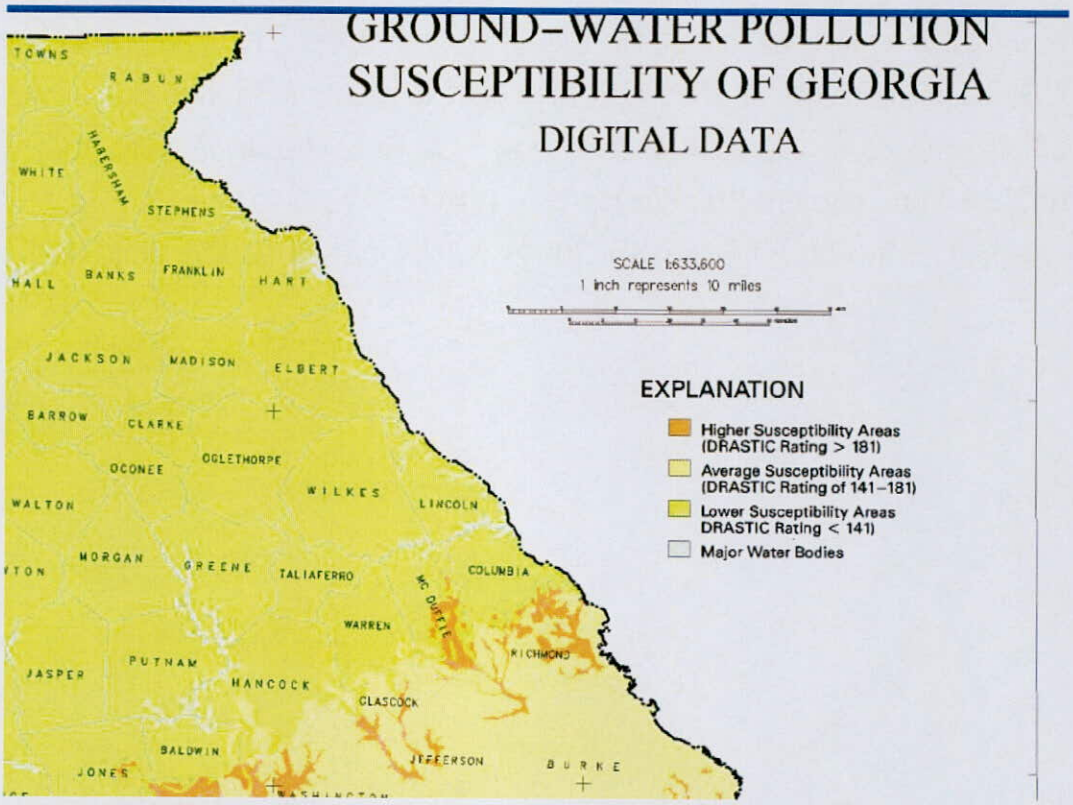



圖 2.1-3 美國 Georgia 州之污染敏感圖局部放大

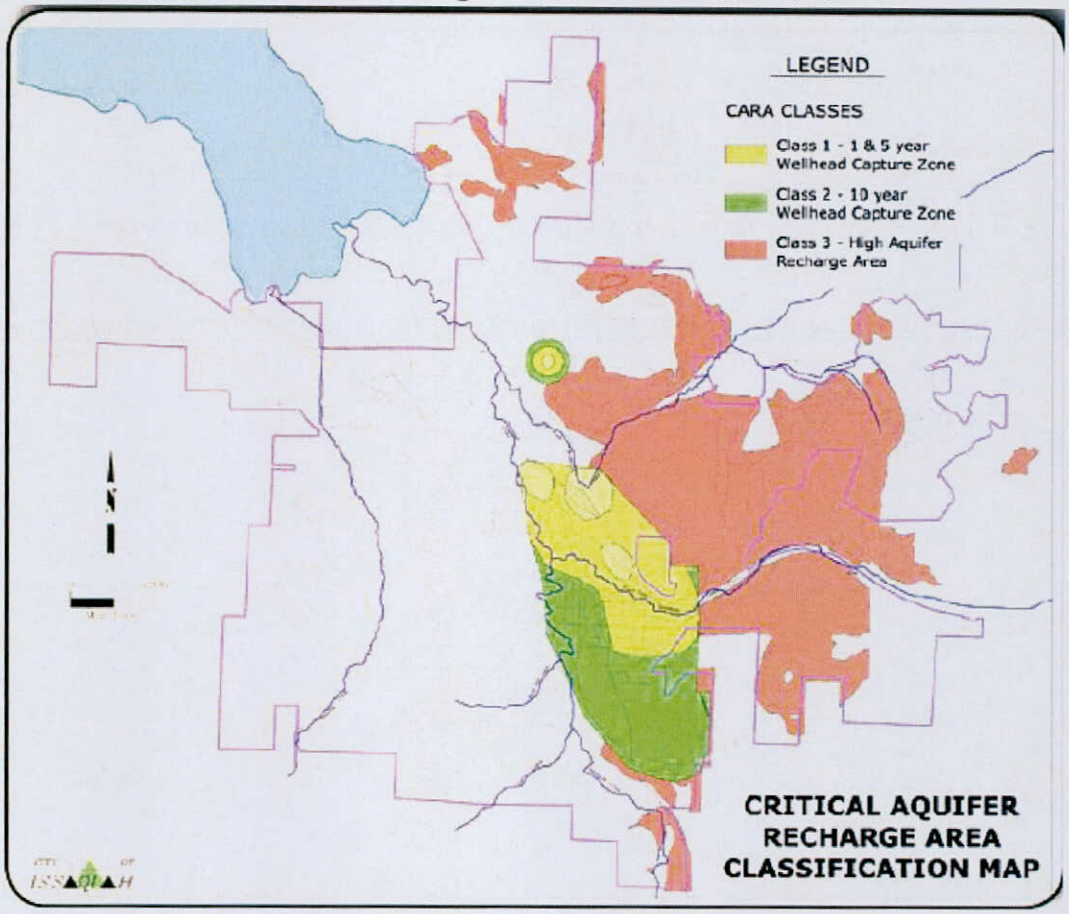



圖 2.1-4 美國華盛頓州 Issaquah 市之重要地下水補注保護區劃設

於地方政府的執行層面，其保護區劃設以華盛頓州 King County 為例，如圖 2.1-5 及圖 2.1-6 所示，為「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)，以利地下水保護及計畫執行。

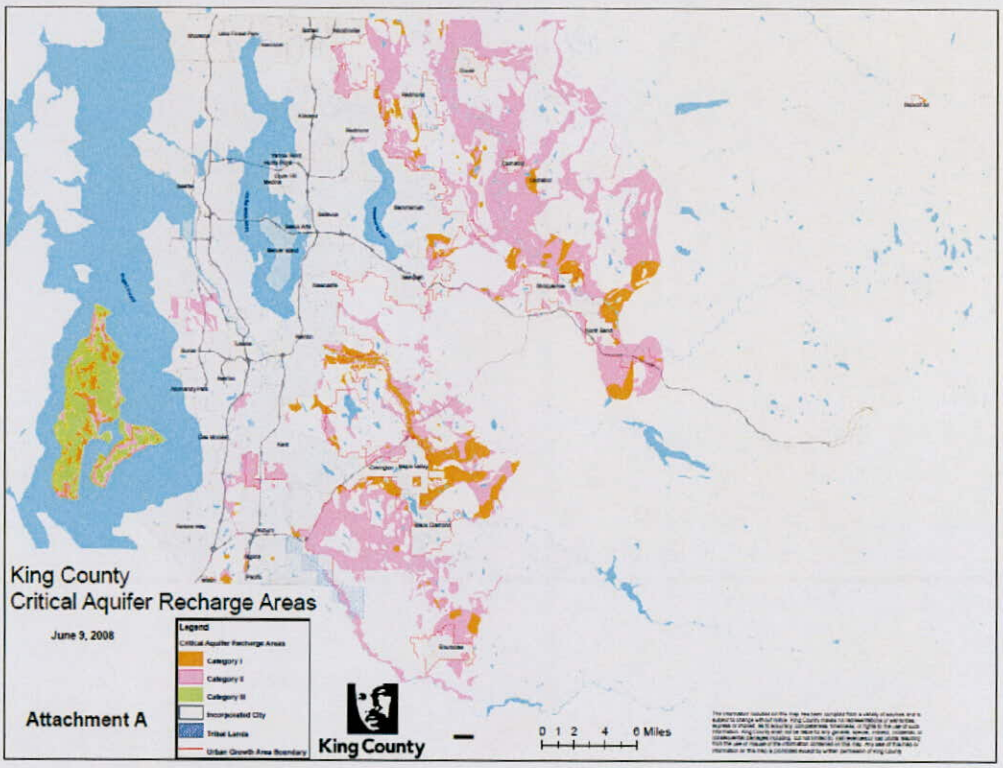



圖 2.1-5 美國華盛頓州 King County 之重要地下水補注保護區劃設

資料來源：

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

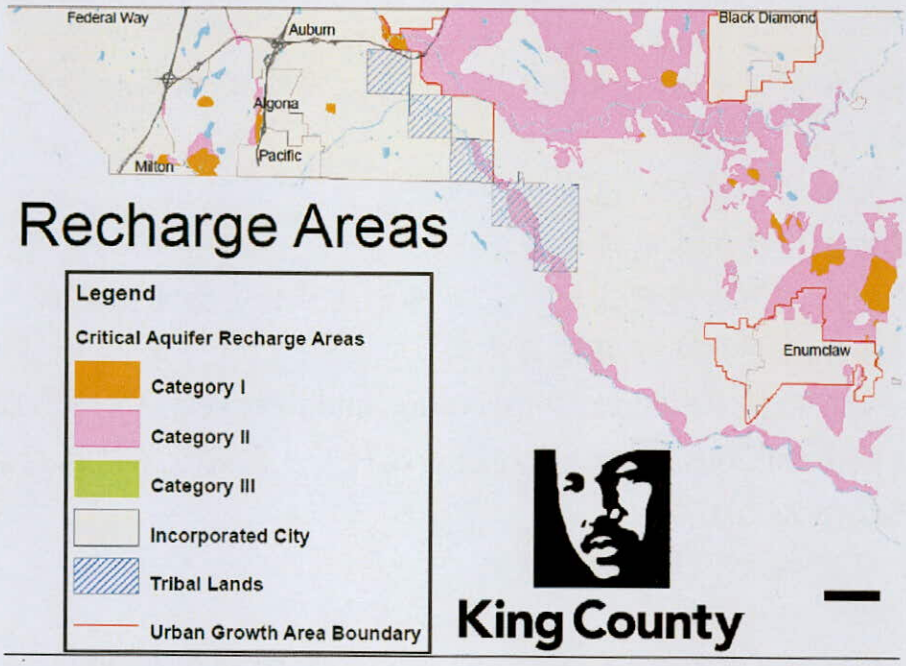



圖 2.1-6 美國華盛頓州 King County 重要地下水補注保護區劃設圖之局部放大

資料來源：

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

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

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，如圖 2.1-7 所示，再依據第 20 號水文圖－地下水污染敏感圖(Groundwater pollution susceptibility map)如圖 2.1-8 所示，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。

以下為該州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)危害物的定義依據 Resource Conservation and Recovery Act 第 312 條規定，當持有危害物(hazardous materials)超過一萬磅時，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。

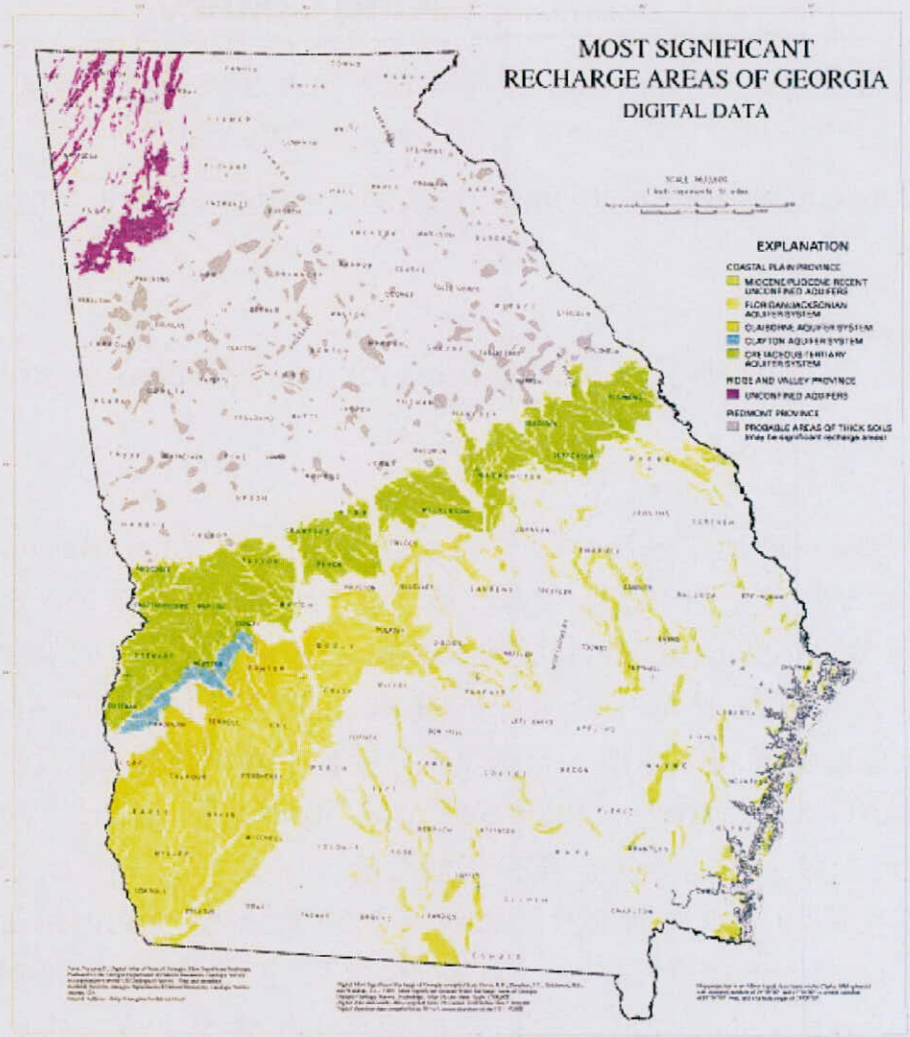



圖 2.1-7 美國喬治亞州的地下水補注區

(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)

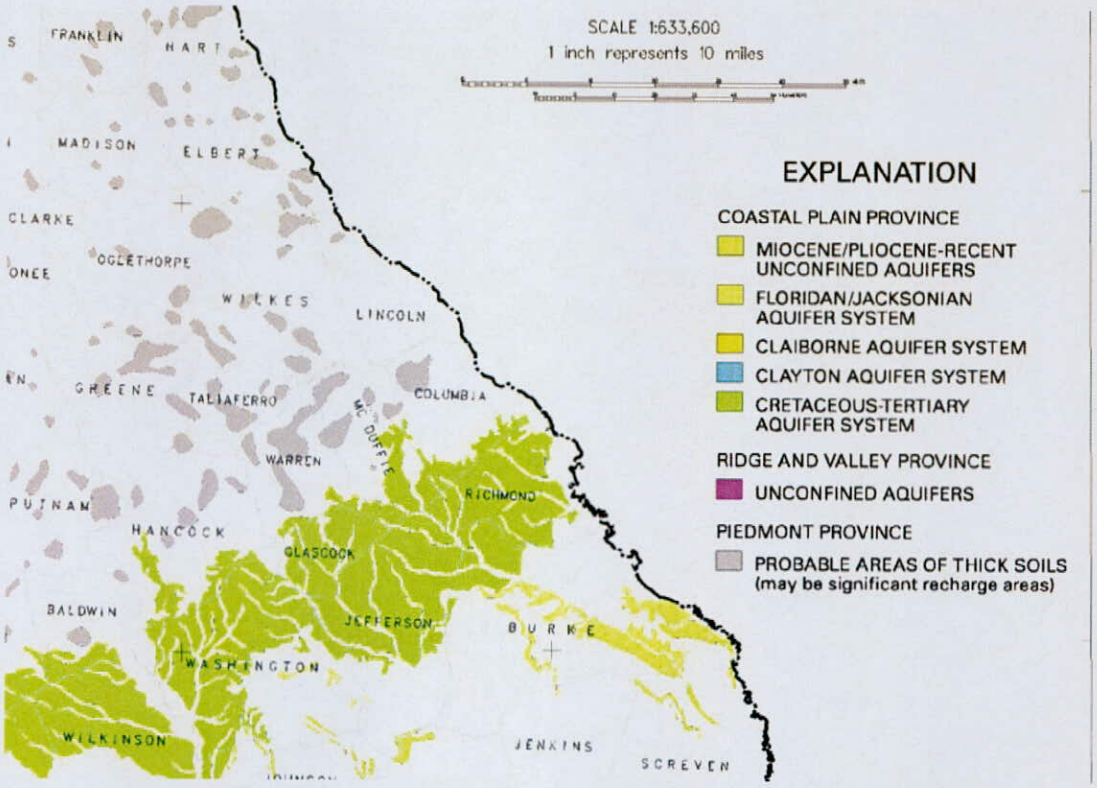



圖 2.1-8 美國喬治亞州的地下水補注區局部放大圖及圖例

(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)

### 2.1.3 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，目前僅公告地面水之保護區，並未保護地下水之水源，如圖 2.1-9 所示。若進一步探討屏東平原地下水源，依據屏東平原之地質條件初判，屏東平原東北及東南接近河川出山口之區域，應為全區地下水之主要補注來源，該處含水層由礫石及粗砂所組成，且含水層間無阻水層阻隔，若地面之污染向下滲漏，將於短時間內影響地下水水質。然根據環保署土壤及地下水污染整治網之公告(http://sgw.epa.gov.tw/public/index.asp)，屏東地區共有 10 處污染列管場址，如表 2.1-1 所示，其中位於長治鄉的場址，接近水文地質通透性良好區域，可能屬於地下水主要補注區範圍，若汙染物向下滲流，將對地下水水質造成相當程度之影響。

國外眾多案例已顯示，事後的清理除了曠日費時，其費用也比事前管制高出許多，因此為保護珍貴的地下水資源，特別是飲用水水源，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」，管制其土地利用，以防範地下水資源遭受污染。

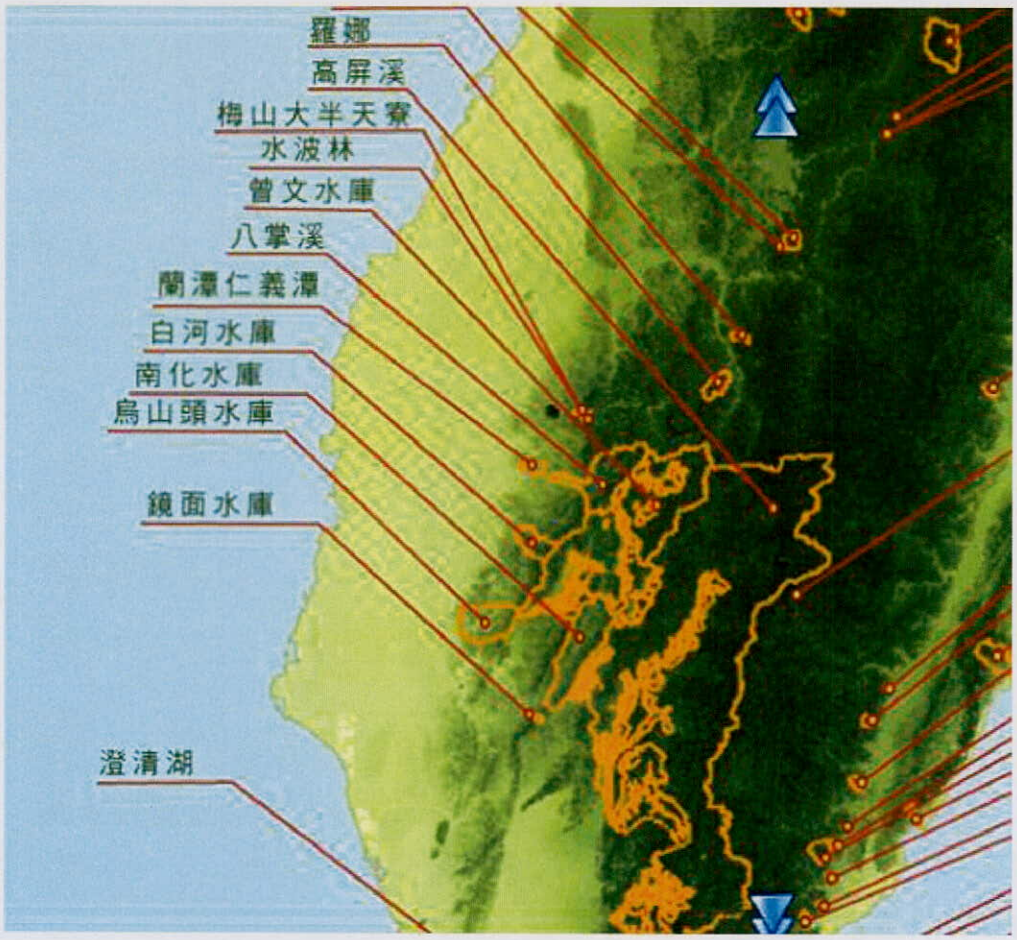



圖 2.1-9 環保署公告之飲用水水源水質保護區

(網址：http://wsserver.epa.gov.tw/)

表 2.1-1 環保署公告之屏東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 |
|---|---|---|---|---|---|
| 川流加油站 | X：203762<br>Y：2483375 | 屏東縣佳冬鄉昌隆村大豐路 786 號 | 加油站 | 2008/9/4 | 苯;總石油碳氫化合物/苯;甲苯;奈 |
| 加祿加油站 | 無坐標資料 | 屏東縣枋山鄉加祿村加祿路 157 號 | 加油站 | 2008/11/24 | 總石油碳氫化合物/無 |
| 內埔加油站 | 無坐標資料 | 屏東縣內埔鄉東寧村南寧路 422 號 | 加油站 | 2008/10/15 | 總石油碳氫化合物/無 |
| 全部實業股份有限公司 | 無坐標資料 | 屏東縣麟洛鄉中山路 563 號 | 工廠 | 2009/8/21 | 鉛;總石油碳氫化合物/無 |
| 屏東縣九如鄉九清段 1340 地號 | 無坐標資料 | 屏東縣九如鄉九清段 1340 地號 | 農地 | 2009/6/1 | 鉻;鎳;鋅;總石油碳氫化合物/無 |
| 屏東縣長治鄉長興段 1357-13 號(現為榮興段 161 地號) | X：205075<br>Y：2508188.9 | 屏東縣長治鄉長興段 1357-13 號(現為榮興段 161 地號) | 非法棄置場址 | 2010/4/22 | 無/苯 |
| 屏東縣長治鄉番子寮段 243-110 部分地號 | X：204387.2<br>Y：2509104.3 | 屏東縣長治鄉番子寮段 243-110 部分地號 | 非法棄置場址 | 2010/7/13 | 鉻;鎳;銅;鋅;鉛/無 |
| 屏東縣長治鄉榮華段 1682 部分地號 | X：204666.8<br>Y：2508953.1 | 無 | 非法棄置場址 | 2010/7/13 | 鉻;鎘;鎳;銅;鋅;鉛/無 |
| 屏東縣萬丹鄉新安段 1438 及 1439 地號(大鼎飼料廠) | X：197505<br>Y：2500959 | 屏東縣萬丹鄉新安段 1438、1439 地號(大鼎飼料廠) | 非法棄置場址 | 2005/11/28 | 鎘;鎳;鉻;銅;鉛;鋅;/無 |
| 屏東縣新園鄉新洋段 325、416、419、428、429、430、431、432-6(部分)地號 | X：194390.6<br>Y：2495493.4 | 屏東縣新園鄉新洋段 325、416、419、428、 429、430、431、432-6(部分)地號 | 非法棄置場址 | 2005/11/28 | 砷;鉻;銅;汞;鎳;鉛;鋅/無 |

## 2.2 研究流程

本計畫研究流程主要包含五大項目，分別為「地球物理補充調查」、「地球化學補充調查」、「水文地質鑽探及抽水試驗」、「補注潛勢與地下水水平衡分析」與「地下水主要補注區評估」。前三項主要為現地補充調查與試驗，以提升地下水主要補注區基本資料之質與量，並藉由各種調查與試驗成果，做為水文地質模型建置之依據。第四項則是藉由補注潛勢分析、地下水歷線法與地下水物質模式，評估研究區域之補注潛勢空間分布，統計研究區域現況地下水資源之補注量與抽水量等量值。第五項則進行地下水主要補注區範圍之評估。以下詳述五大項目之主要執行內容。

(一)地球物理補充調查

彙整現有探勘深度，在地下水區岩層基盤以上之近地表，進行地球物理資料探勘，對調查區域水文地質架構有初步了解，再藉由一維地電阻進行補注區邊界初步劃設，最後應用二維地電阻進行補注區邊界細部確認。

(二)地球化學補充調查

針對調查區域地面水與地下水進行水質採樣與分析，藉由兩者之水質分布，檢驗區域水文地質架構之合理性。之後再針對區域內觀測井，建立地下水溫度剖面與導電度剖面，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制，以提供地質敏感區劃定之重要參考。

(三)水文地質鑽探及抽水試驗

於調查區域增加水文地質鑽探，藉由岩心取樣、抽水試驗等分析，進一步釐定地下水層和阻水層之垂直及水平方向的延展變化，增加對區域水文地質模型之瞭解。

(四)補注潛勢與地下水水平衡分析

補注潛勢是以各式調查結果，綜合呈現補注潛勢的空間分布。另外，本計畫應用地下水歷線法與地下水數值模式，評估研究區域歷年之水平衡變化，並計算出研究區域年補注量與抽水量之時空變化。

(五)地下水主要補注區評估

地下水主要補注區評估流程如圖 2.2-1 所示，前述各項調查與分析結果皆可作為主要補注區劃分之依據，由地電阻調查結果並搭配電阻門檻值，可劃分出

高電阻區域；由水質調查結果，可依據地下水溶氧量之高低分布，劃分出高溶氧區域；由補注潛勢分析結果，可劃分出高補注潛勢區域。依據前述三種調查分析結果，綜合三種結果並搭配數位地表地形(DTM)與岩芯柱狀圖進行綜合分析與探討，如不同調查結果有不同結論時，則需以專家知識判斷，進一步分析局部區域之邊界。

此外，並應用前述建立之地下水數值模式，搭配前述劃設之主要補注區，探討地下水主要補注區若無妥善管理下，其對整體地下水系統在水量及水質上之影響。

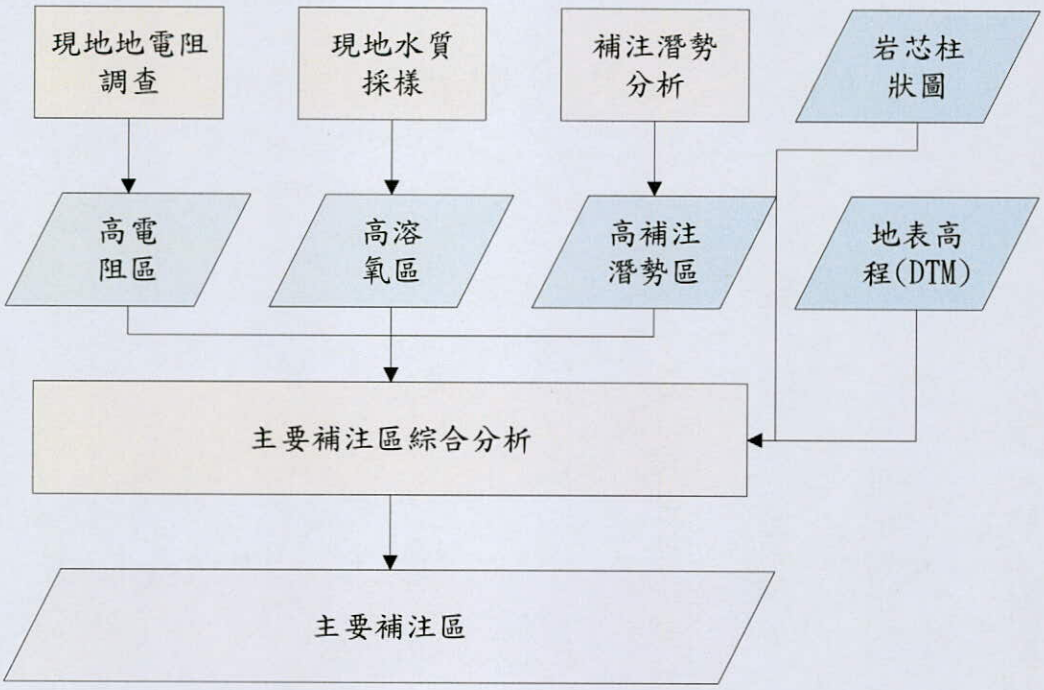



圖 2.2-1 主要補注區範圍建議評估流程

前述研究項目及相關工作細項之執行策略關係如圖 2.2-2 所示，其中「水文地質架構」為中央地質調查所於濁水溪沖積扇之調查成果，本計畫於此基礎上推動後續工作之進行，包括「地下水補注潛勢評估」、「現地補充調查試驗」、「水位歷線法」、「數值模式建置」、「補注量及抽水量推估」、「主要補注區之初步劃設」及「地下水資源影響評估」。圖中所描述之各個方塊代表各研究項目工作細項，各項目連線尾端之箭頭代表工作細項間之執行先後順序關係。由圖可知，在執行「主要補注區初步劃設」前需先進行「地下水補注潛試評估」及「現地補充調查試驗」兩項工作細項，其中「現地補充調查試驗」工作細項則包含「水質檢測」及「二維地電阻調查」兩種現地調查試驗項目，而二維地電阻在施測前，除參考地質調查所之水文地質架構資訊外，亦需參考「地下水

補注潛試評估」之分析成果，以規劃出合適之施測地點。之後利用上述「地下水補注潛試評估」、「二維地電阻調查」、「水質檢測」之成果，即高補注潛勢區域、高電阻區域、高溶氧區域，配合水文地質架構及地表地形，初步劃分出「主要補注區建議範圍」，詳細評估流程如圖 2.2-1。在執行「補注量及抽水量推估」時，本計畫以「水位歷線法」推估垂向補注量、總抽水量及邊界交換量，再以「數值模式建置」建立地下水數值模式並推估淺層含水層淨補注量、深層含水層之各分層抽水量及海岸側向流入量，之後綜合分析兩方法之推估成果，求得各進出地下水系統之水量，以利後續之水平衡分析。此外本計畫利用「數值模式建置」及「主要補注區初步劃設」之分析成果，執行「地下水資源影響評估」，分析主要補注區對濁水溪沖積扇地下水量及水質之影響。

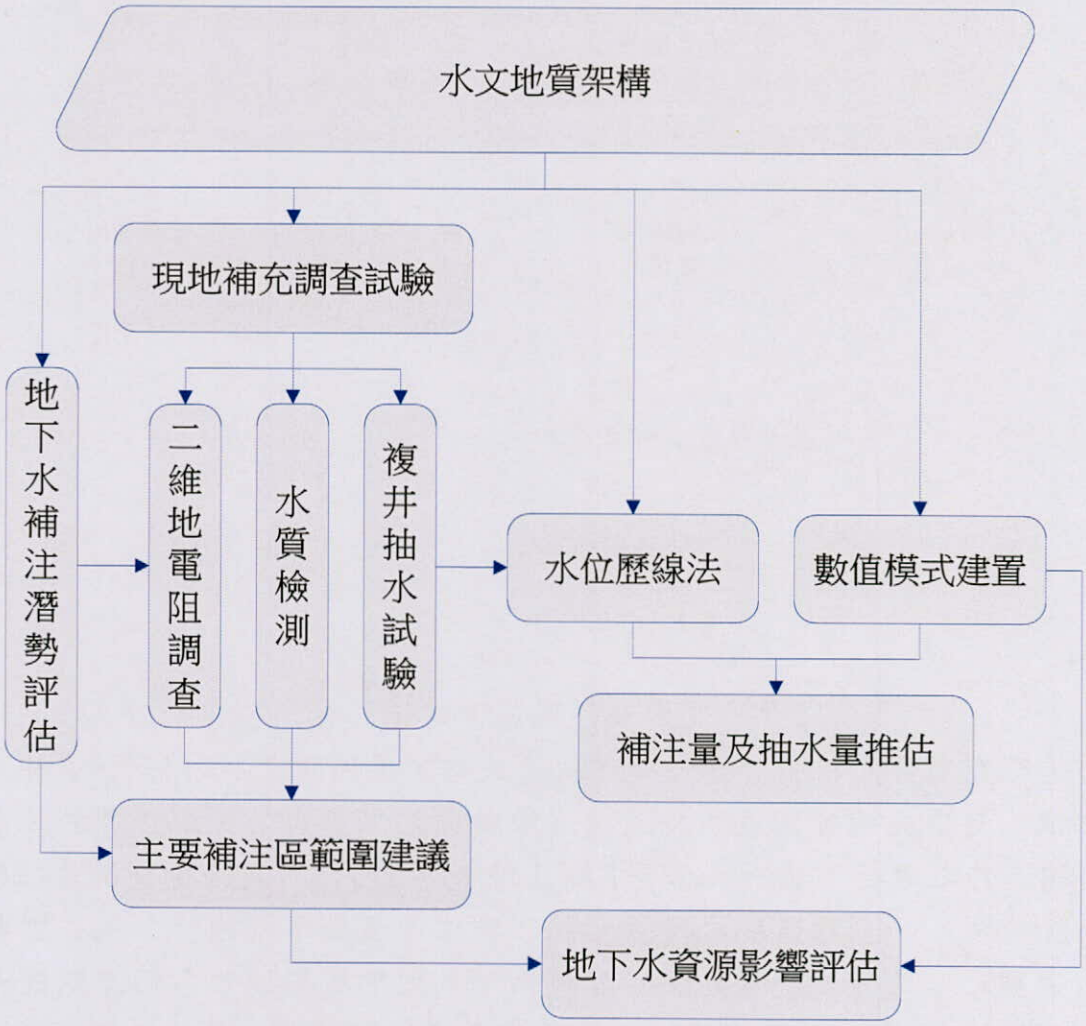



圖 2.2-2 各工作項目之相互關係圖

# 第三章 區域概述與資料蒐集

## 3.1 區域概述

本計畫期程自 98 年度至 101 年度，計完成濁水溪沖積扇與屏東平原地下水區，地下水補注區劃分及地下水流模式的建立與分析，並已於 98 及 99 年度完成濁水溪沖積扇，100 及 101 年度完成屏東平原之分析工作。以下將針對屏東平原之地下水及水文地質進行摘要描述。

### 一、區域範圍

屏東平原位於臺灣之西南端，北與阿里山山脈的南端相隔，西接嶺口丘陵地，南接臺灣海峽，東以潮州斷層與中央山脈南端大武山山脈相隔，海拔 100 公尺以下之平原地帶面積約 1231.26 平方公里。本計畫參考中央地質調查所規劃之地下水區，其南北長約 50 公里，東西寬約 20 公里，地勢由東北向西南緩斜，內有高屏溪、東港溪及林邊溪流域等主要河川貫穿本區，注入臺灣海峽。

### 二、水文地質架構

屏東平原深約 220 公尺內之水文地質分層，由上而下可劃分含水層一、阻水層一、含水層二、阻水層二、含水層三之 1、阻水層三及含水層三之 2 等七層。含水層極為發達，厚度大且延展遍佈全區；阻水層則間夾於含水層中，厚度遠小於含水層並且僅分布於平原南段，因此含水層只於南側有顯著之分隔，而北及東側則合而為一。本計畫依據中央地質調查所 - 台灣地區地下水觀測網第一期計畫-屏東平原水文地質調查研究總報告，所繪製九條水文地質剖面為水文地質架構建置基礎，其中林園-枋山剖面如圖 3.1-1 所示，而屏東平原各阻水層分布區示意如圖 3.1-2 所示。

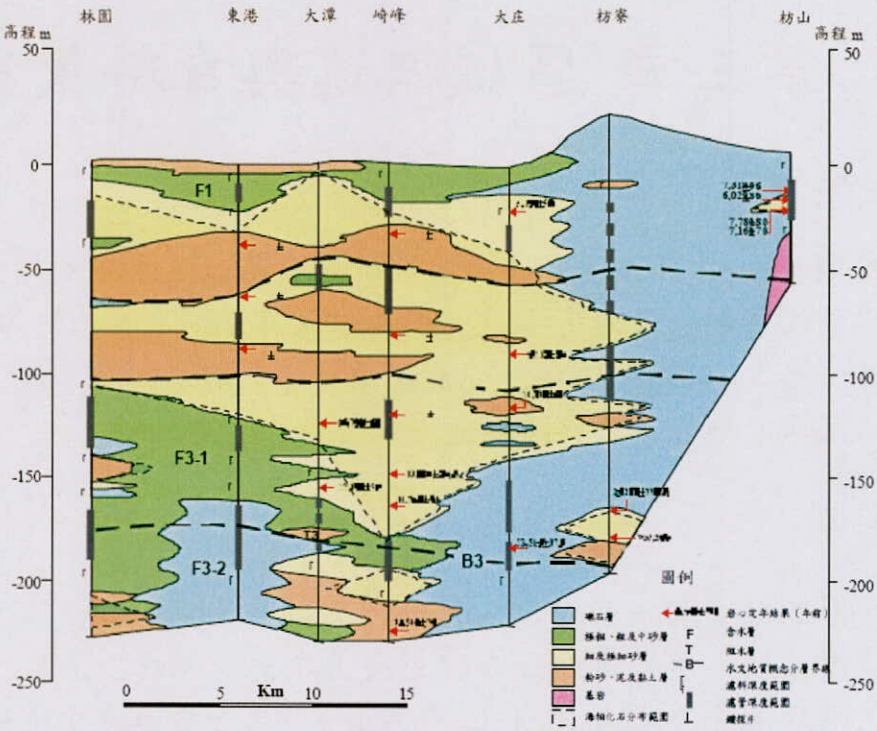



圖 3.1-1 林園-枋山水文地質剖面


圖 3.1-2 屏東平原各阻水層分布區示意圖

## 三、地下水觀測

屏東平原屬於「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」的辦理期程之第一階段(81年度至87年度)，因該沿海地區地層下陷較為嚴重，因此優先規劃實施。目前已建置地下水觀測站53站(132口)，抽水試驗站9站(23口)，水文地質調查站52站。圖4.1-9為屏東平原地下水觀測網分布圖。

## 四、水文地質參數

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

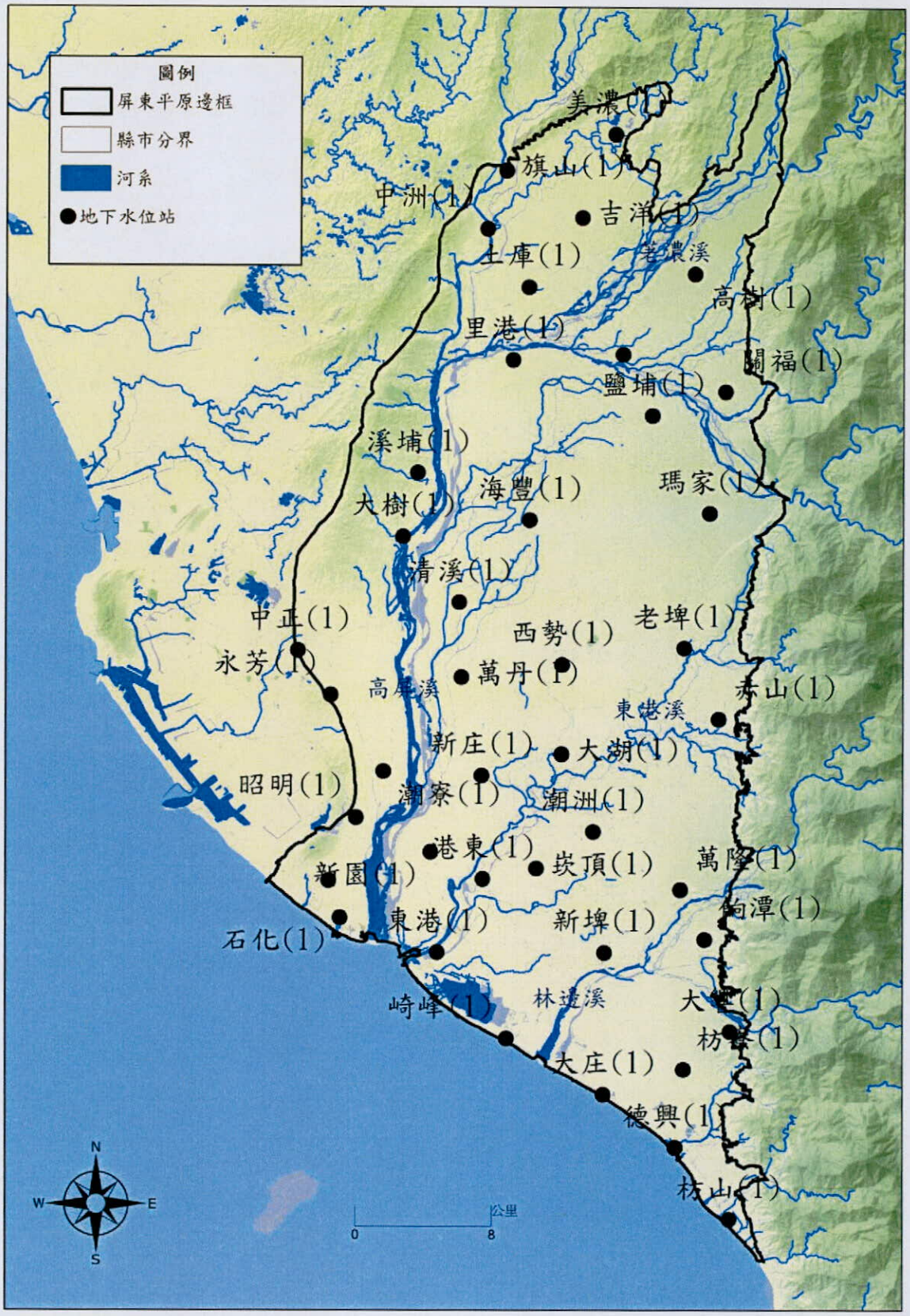



圖 3.1-3 屏東平原地下水觀測網站井分布圖

## 3.2 資料蒐集

本計畫為了對屏東平原進行補注潛勢評估及補注量推估，蒐集屏東平原各項資料，如地下水位、雨量、儲水係數、透水係數、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

本計畫自臺灣地區地下水觀測網第一期計畫-屏東平原水文地質調查研究總報告，蒐集位於含水層 1(F1)、含水層 2(F2)及含水層 3(F3)深度內之地下水觀測井各約 43 口、28 口及 35 口之導水係數、透水係數等資料，並由經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統取得各井每日地下水位資料，整理如表 3.2-1 至表 3.2-3 所示。其各井空間分佈圖如圖 3.2-1 至圖 3.2-3 所示。

其中吉洋工作站為替代吉洋站而選用為本計畫應用之觀測井，原因為兩站只相鄰數百公尺，另外吉洋工作站開孔深度為地下 10 米深遠比吉洋站 70 米深來的淺的許多，對於後續資料分析及模式建置助益較大，且兩站地下水位相當近似如圖 3.2-4 所示，故本計畫中將以吉洋工作站替代原吉洋站為該區域觀測井資料。

表 3.2-1 含水層 1(F1)43 口地下水觀測井資料列表

| 井名 | Tmx(TWD67) | Tmy(TWD67) | T($m^2$/min) | K(m/min) | 蒐集資料區段 |
|---|---|---|---|---|---|
| 中正(1) | 185015 | 2503504 | 0.1166 | 0.006478 | 1999~2010 |
| 石化(1) | 187485 | 2487965 | 0.2669 | 0.01019 | 1999~2010 |
| 林園(1) | 186809 | 2490130 | 0.4032 | 0.01614 | 1999~2010 |
| 潮寮(1) | 190004 | 2496500 | 4.072 | 0.1314 | 1999~2010 |
| 永芳(1) | 186942 | 2500950 | 0.568 | 0.03156 | 1999~2010 |
| 昭明(1) | 188414 | 2493802 | 0.0028 | 0.0001074 | 1999~2010 |
| 溪埔(1) | 191978 | 2513893 | 0.7586 | 0.04212 | 1999~2010 |
| 大樹(1) | 191135 | 2510159 | 0.859 | 0.03582 | 1999~2010 |
| 土庫(1) | 198425 | 2524645 | 4:63 | 0.08602 | 1999~2010 |
| 中洲(1) | 195993 | 2528009 | 0.6914 | 0.01278 | 1999~2010 |
| 旗山(1) | 197100 | 2531368 | 0.47 | 0.0348 | 1999~2010 |
| 吉洋工作站(1) | 201510 | 2528640 | 8.1103 | 0.0588 | 1999~2010 |
| 美濃(1) | 185015 | 2503504 | 0.0144 | 0.0012 | 1999~2010 |
| 新威(1) | 203424 | 2533457 | 0.0001 | 0.0000042 | 1999~2010 |
| 清溪(1) | 210915 | 2533502 | 0.2733 | 0.0114 | 1999~2010 |

表 3.2-1 含水層 1(F1)43 口地下水觀測井資料列表(續)

| 井名 | Tmx(TWD67) | Tmy(TWD67) | T($m^2$/min) | K(m/min) | 蒐集資料區段 |
|---|---|---|---|---|---|
| 清溪(1) | 210915 | 2533502 | 0.2733 | 0.0114 | 1999~2010 |
| 海豐(1) | 194408 | 2506330 | 2.41 | 0.1608 | 1999~2010 |
| 潮州(1) | 198476 | 2511130 | 0.3346 | 0.1032 | 1999~2010 |
| 東港(1) | 202232 | 2492984 | 0.6899 | 0.04056 | 1999~2010 |
| 新庄(1) | 193156 | 2485971 | 0.7103 | 0.02088 | 1999~2010 |
| 萬丹(1) | 195738 | 2496246 | 0.4682 | 0.01638 | 1999~2010 |
| 繁華(1) | 194540 | 2501970 | 1.5513 | 0.0648 | 1999~2010 |
| 九如(1) | 196776 | 2515370 | 0.9834 | 0.01788 | 1999~2010 |
| 里港(1) | 197514 | 2520447 | 1.9041 | 0.03342 | 1999~2010 |
| 鹽埔(1) | 205622 | 2517240 | 1.6603 | 0.1194 | 1999~2010 |
| 彭厝(1) | 201104 | 2515658 | 1.4629 | 0.0612 | 1999~2010 |
| 高樹(1) | 208068 | 2525407 | 2.9 | 0.03336 | 1999~2010 |
| 泰山(1) | 209266 | 2521392 | 0.9525 | 0.02268 | 1999~2010 |
| 新南(1) | 203915 | 2520763 | 0.5753 | 0.0636 | 1999~2010 |
| 關福(1) | 209883 | 2518620 | 1.531 | 0.02352 | 1999~2010 |
| 赤山(1) | 209521 | 2499542 | 0.0199 | 0.004476 | 1999~2010 |
| 建興(1) | 204395 | 2507086 | 1.5809 | 0.05268 | 1999~2010 |
| 老埤(1) | 207504 | 2503670 | 0.4703 | 0.04554 | 1999~2010 |
| 西勢(1) | 200397 | 2502704 | 0.2698 | 0.004956 | 1999~2010 |
| 大湖(1) | 200368 | 2497500 | 2.0402 | 0.0726 | 1999~2010 |
| 新埤(1) | 202895 | 2485957 | 0.1602 | 0.00798 | 1999~2010 |
| 萬隆(1) | 206802 | 2490112 | 6.0212 | 0.1158 | 1999~2010 |
| 大響(1) | 210206 | 2481360 | 4.2182 | 0.062032 | 1999~2010 |
| 餉潭(1) | 208707 | 2486714 | 1.7232 | 0.04788 | 1999~2010 |
| 枋寮(1) | 207476 | 2479160 | 15.107 | 0.3522 | 1999~2010 |
| 大庄(1) | 202810 | 2477706 | 0.0862 | 0.00261 | 1999~2010 |
| 德興(1) | 207000 | 2474613 | 1.196 | 0.03738 | 1999~2010 |
| 新園(1) | 192774 | 2491800 | 0.7449 | 0.0441 | 1999~2010 |

表 3.2-2 含水層 2(F2)28 口地下水觀測井資料列表

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

表 3.2-3 含水層 3(F3)35 口地下水觀測井資料列表

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

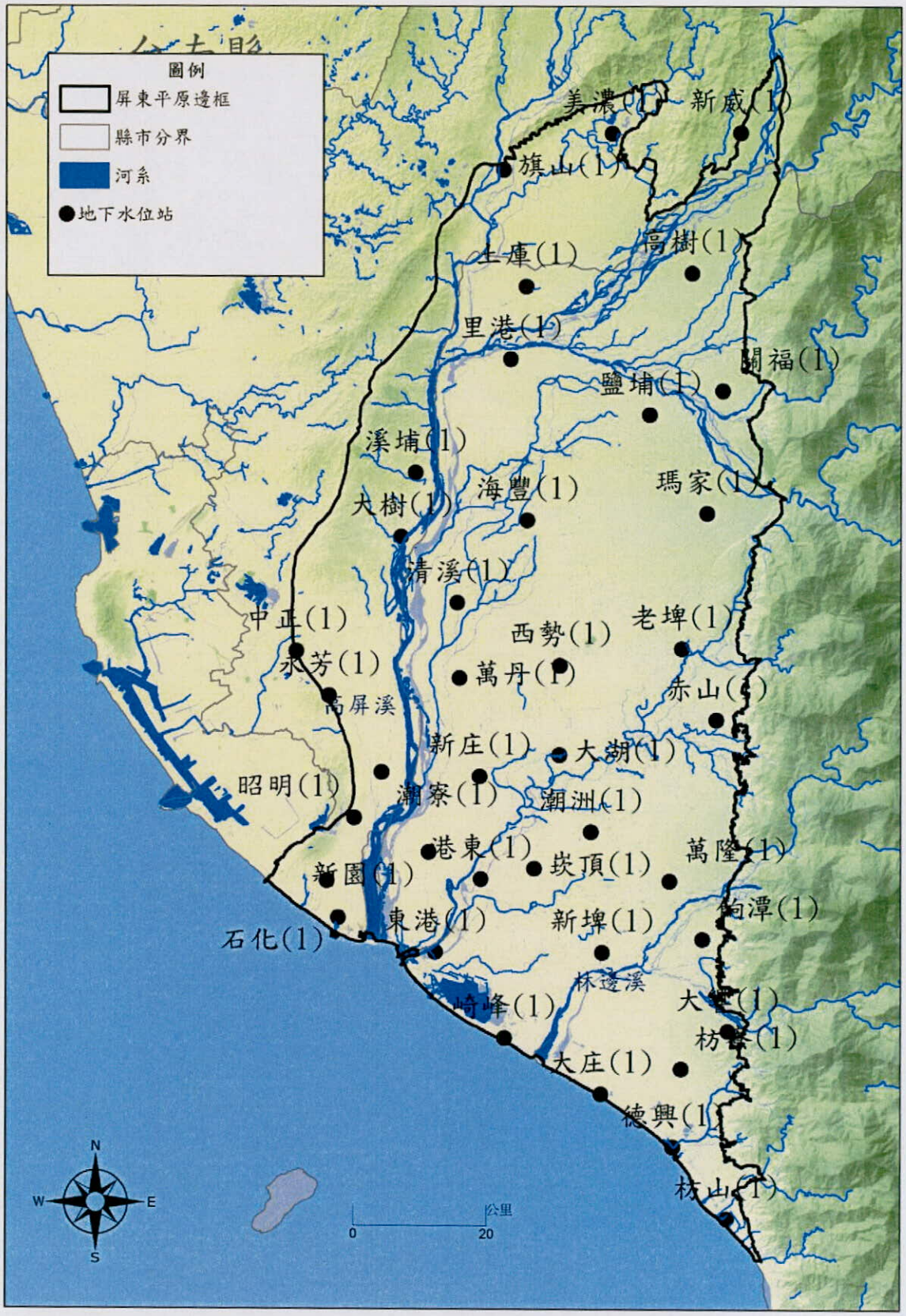



圖 3.2-1 含水層一(F1)43 口地下水觀測井分布圖

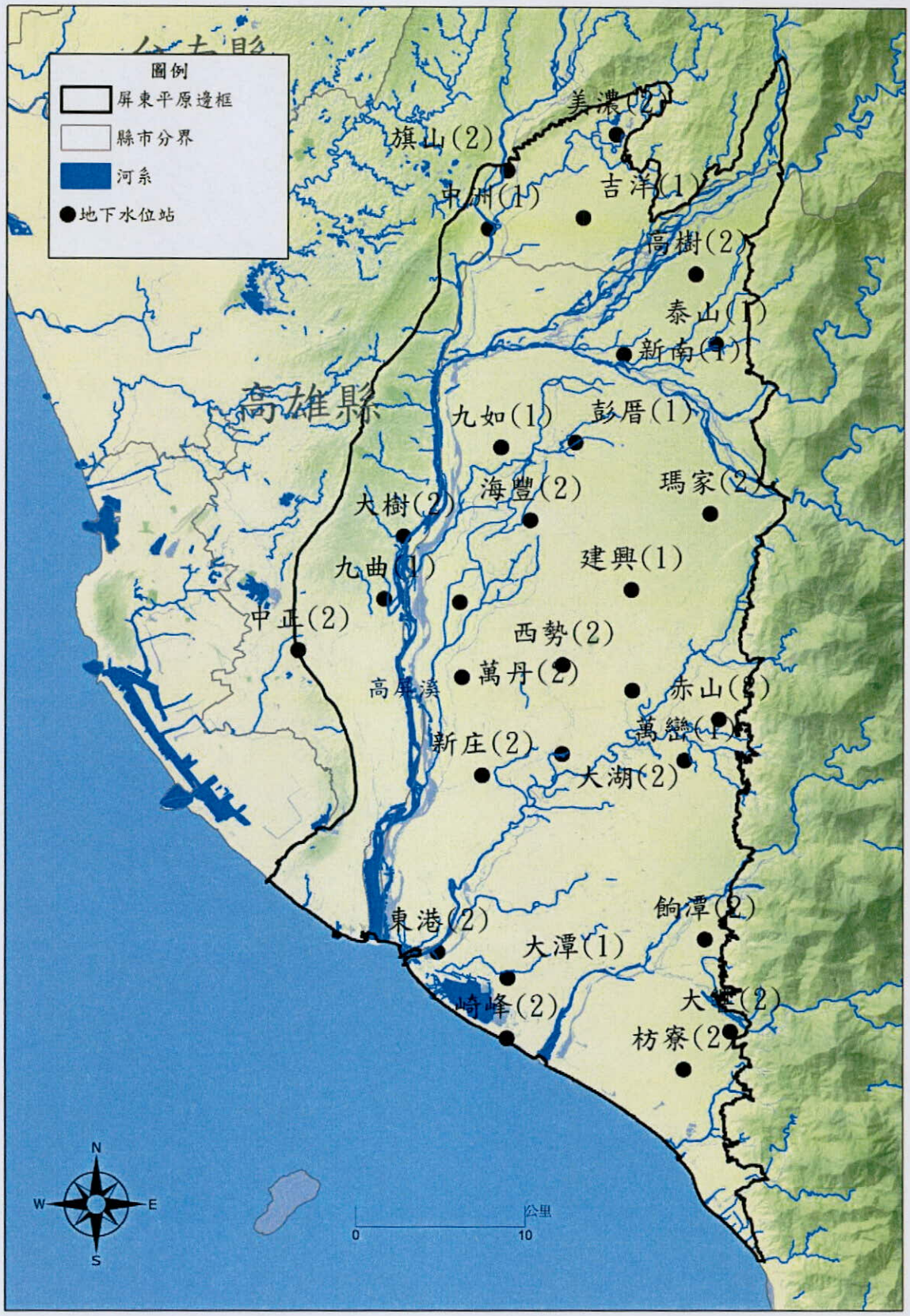



圖 3.2-2 含水層二(F2)地下水觀測井分布圖

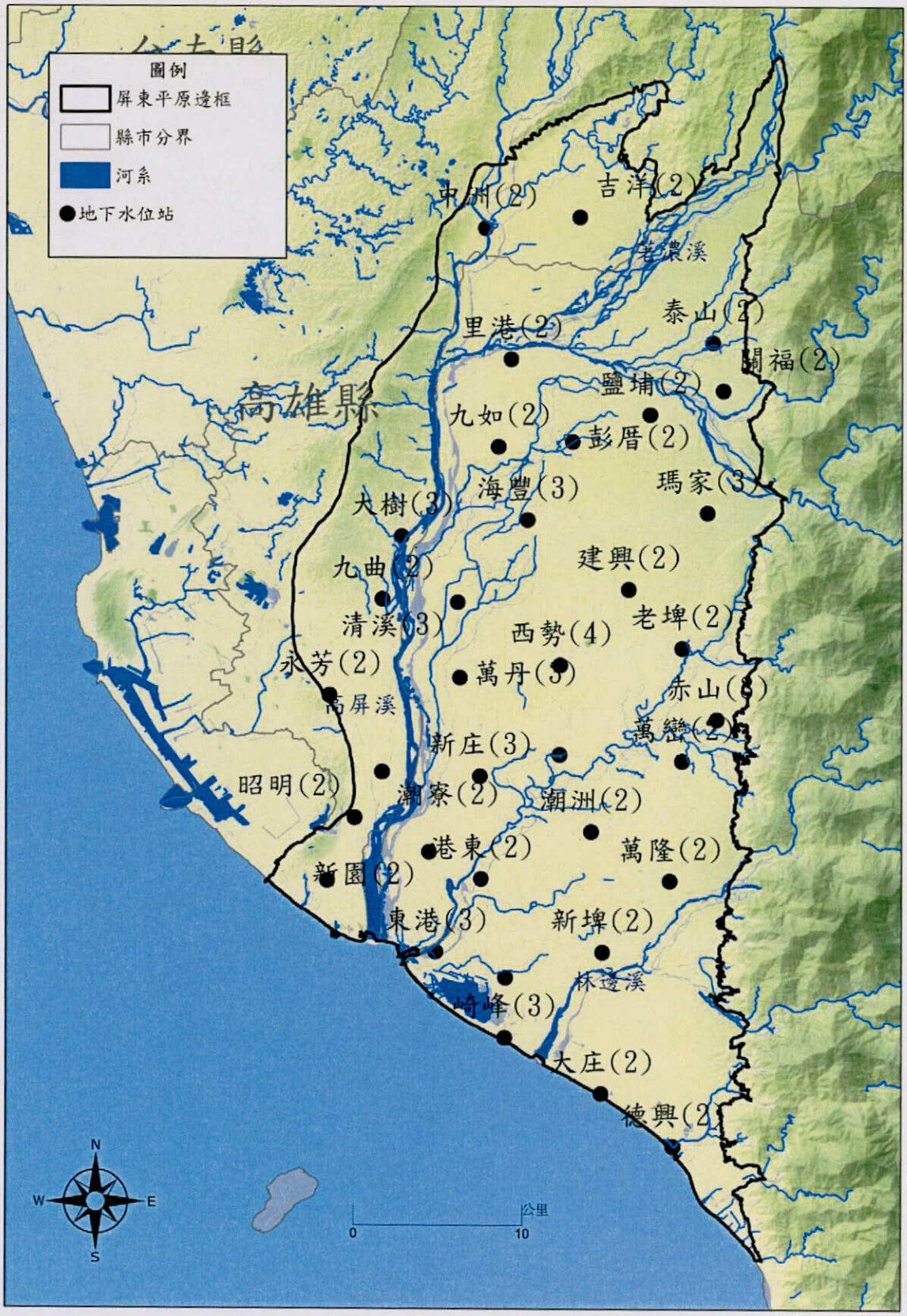



圖 3.2-3 含水層三(F3)地下水觀測井分布圖

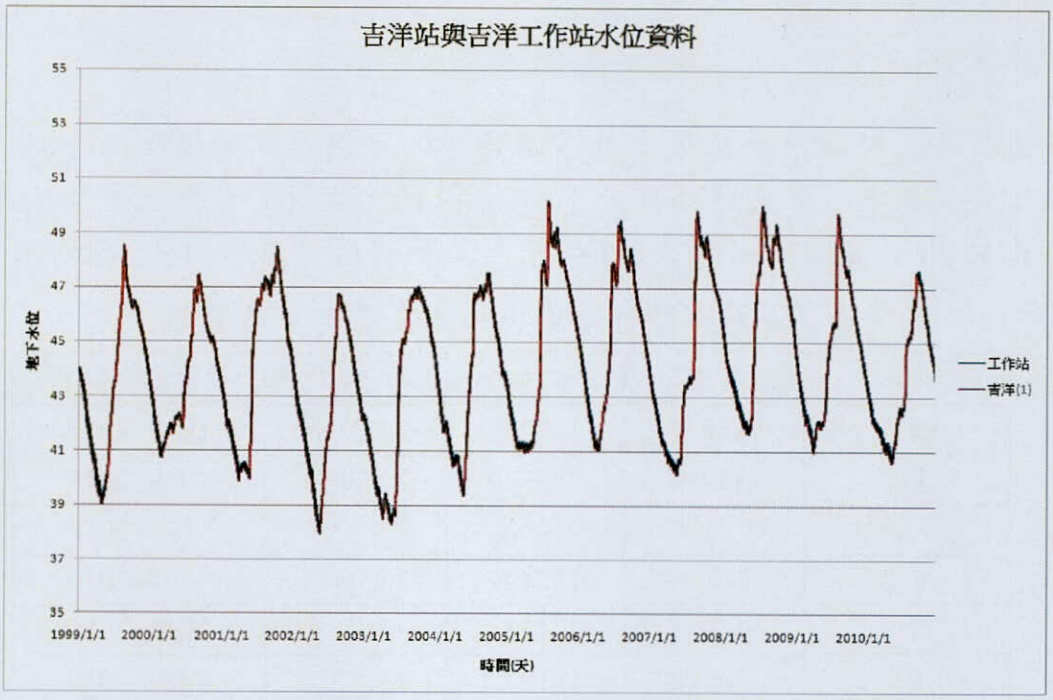



圖 3.2-4 吉洋站與吉洋工作站地下水位關係圖

## 二、儲水係數資料

本計畫參考江崇榮、黃智昭及陳瑞娥(2004)「中央地質調查所彙刊第十七號」，以及江崇榮、黃智昭及陳瑞娥(2002)「中央地質調查所屏東平原自然補助」之研究，以及屏東平原複井抽水試驗之實測儲水係數資料等，如表 3.2-4。

表 3.2-4 屏東平原複井抽水試驗實測儲水係數

| 井名 | Tmx(TWD67) | Tmy(TWD67) | 儲水係數 |
|---|---|---|---|
| 旗山(1) | 197100 | 2531368 | 0.193 |
| 潮寮(1) | 190004 | 2496500 | 0.071 |
| 大樹(1) | 191135 | 2510159 | 0.188 |
| 大樹(2) | 191135 | 2510159 | 0.0000429 |
| 大樹(3) | 191135 | 2510159 | 0.000144 |
| 大樹(4) | 191135 | 2510159 | 0.0004 |
| 海豐(1) | 194408 | 2506330 | 0.239 |
| 海豐(2) | 194408 | 2506330 | 0.0000712 |
| 海豐(3) | 194408 | 2506330 | 0.0000974 |
| 內埔(1) | 204588 | 2501296 | 0.00155 |
| 內埔(2) | 204588 | 2501296 | 0.00074 |
| 潮寮(2) | 190004 | 2496500 | 0.00164 |
| 潮寮(3) | 190004 | 2496500 | 0.000636 |
| 關福(2) | 209883 | 2518620 | 0.000294 |

## 三、雨量資料

中央氣象局於屏東平原設有許多雨量站，可提供詳細的降雨資料。其中中央氣象局於高雄市、屏東縣共有雨量站約 49 站，本計畫蒐集位於屏東平原及上游山區其中 20 站資料，如表 3.2-5 所示，其相關位置圖如圖 3.2-5 所示。

表 3.2-5 本計畫蒐集中央氣象局雨量站資訊

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

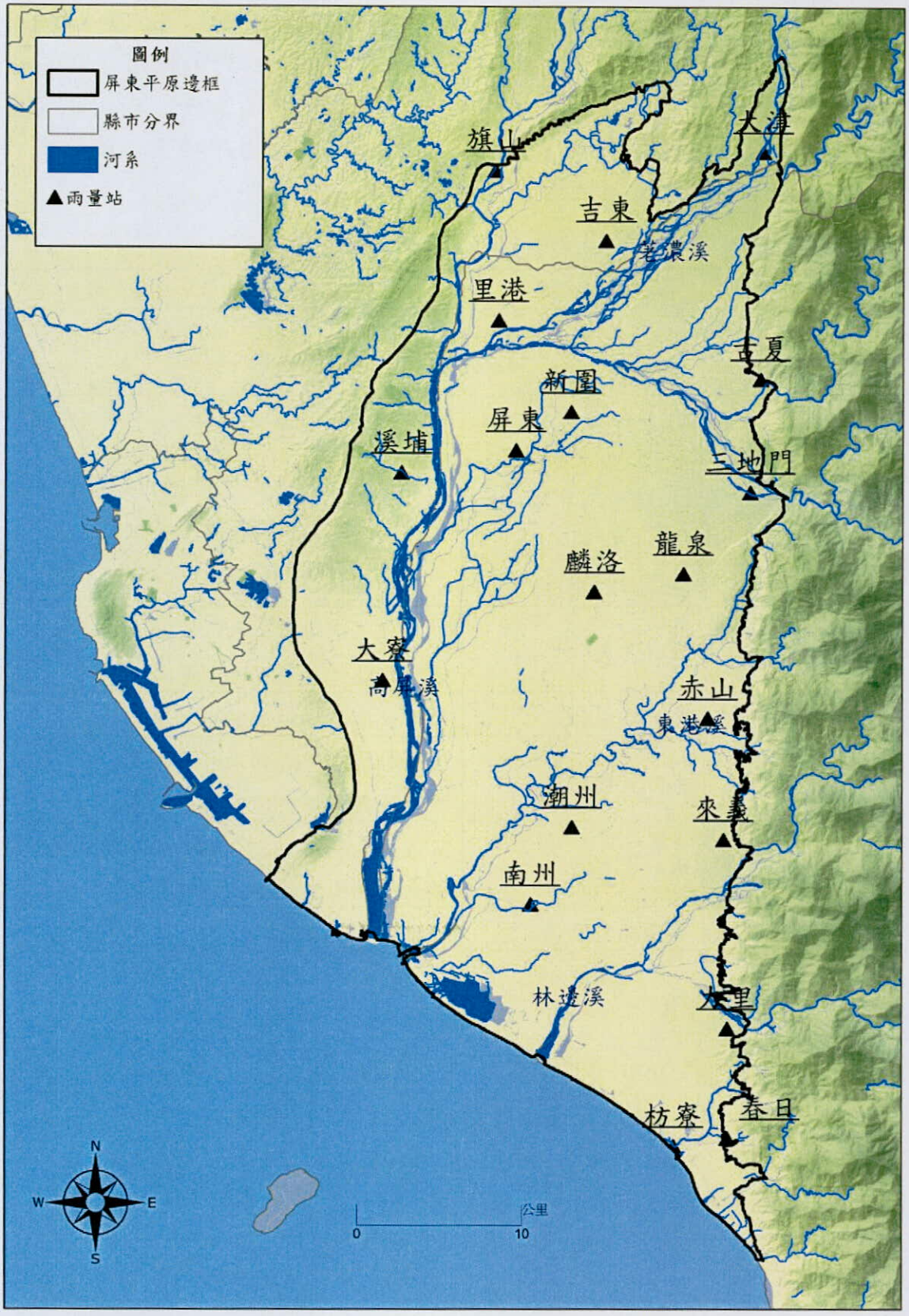



圖 3.2-5 中央氣象局屏東平原雨量站位置圖

## 四、GIS 圖層資料

本計畫進行屏東平原補注潛勢評估，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，本計畫蒐集之圖資來源如表 3.2-6 所示。

表 3.2-6 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 | 配合行政院農業委員會農業試驗所(1980 年)之圖層檔案，本計畫自行數化土壤種類後得到 | 台灣地區地下水觀測網第一期計畫-屏東平原水文地質研究總報告 |
| 降雨與地下水位相關性 | 本計畫製作 | 降雨量：中央氣象局<br>地下水位：經濟部水利署 |
| 平均年降雨量 | 本計畫製作 | 中央氣象局、經濟部水利署 |
| 單位蓄水量變化 | 本計畫製作 | 地下水位：經濟部水利署<br>儲水係數：中央地質調查所彙刊第十九號 |
| 透水係數 | 本計畫製作 | K 值：台灣地區地下水觀測網第一期計畫-屏東平原水文地質研究總報告 |
| 河系密度 | 經濟部水利署 | 經濟部水利署 |

## 五、地下水位資料檢核

本計畫將資料由 1999 至 2010 年的資料進行檢驗時，發現屏東平原各觀測站淺層水井僅有少量的水井有連續性資料缺漏情況，如表 3.2-7 所示，表中呈現各水井各年缺漏百分比，可知 1999~2010 年的缺漏百分比大約在 3%以下，整體資料完整度相當好。

表 3.2-7 1999-2010 年淺層水井地下水位原始資料缺漏統計表

| 站名 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 中正(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 石化(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 15% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 林園(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 潮寮(1) | 0% | 1% | 0% | 22% | 12% | 14% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 永芳(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 昭明(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 溪埔(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 0% | 0% | 0% | 12% | 0% |
| 大樹(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 中洲(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 旗山(1) | 0% | 1% | 3% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 吉洋工作站(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 0% | 5% | 14% | 12% | 15% |
| 美濃(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 18% | 12% | 28% | 16% |
| 新威(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 39% | 8% | 15% |
| 清溪(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 海豐(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% | 0% |
| 潮州(1) | 0% | 6% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 6% | 0% | 0% | 2% | 3% |
| 東港(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% | 0% | 2% | 0% |
| 新庄(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% | 0% | 0% |
| 萬丹(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 繁華(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 14% | 0% |
| 九如(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 土庫(1) | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 7% | 1% | 0% | 1% | 3% |
| 里港(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 鹽埔(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 彭厝(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 24% |
| 高樹(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% |
| 泰山(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 13% | 17% |
| 新南(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 關福(1) | 42% | 1% | 0% | 0% | 0% | 34% | 12% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 赤山(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% | 0% | 0% | 7% | 0% |

表 3.2-7 1999-2010 年淺層水井地下水位原始資料缺漏統計表(續)

| 站名 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 建興(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 老埤(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 5% | 0% | 0% |
| 西勢(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 大湖(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 新埤(1) | 1% | 1% | 0% | 0% | 19% | 8% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 萬隆(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 7% | 13% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 大嚮(1) | 1% | 0% | 4% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 22% | 8% |
| 餉潭(1) | 21% | 2% | 7% | 5% | 5% | 0% | 3% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 枋寮(1) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 4% |
| 大庄(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 8% |
| 德興(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% | 8% |
| 新園(1) | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 12% |
| 平均 | 2% | 1% | 0% | 1% | 1% | 2% | 1% | 1% | 1% | 2% | 3% | 3% |

# 第四章 現地調查與分析

## 4.1 地電阻調查與分析

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沖積扇補注區邊界，沿扇頂至扇尾方向，選擇適當地點，完成數條二維地電阻影像剖面測線，以及沿測線之高解析度地電阻補充探查工作，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)，依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。

### 4.1.1 二維地電阻原理及施測方式

**一、地電阻率測勘原理**

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明顯的層間電阻率對比，或是地下有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 4.1-1)，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)。

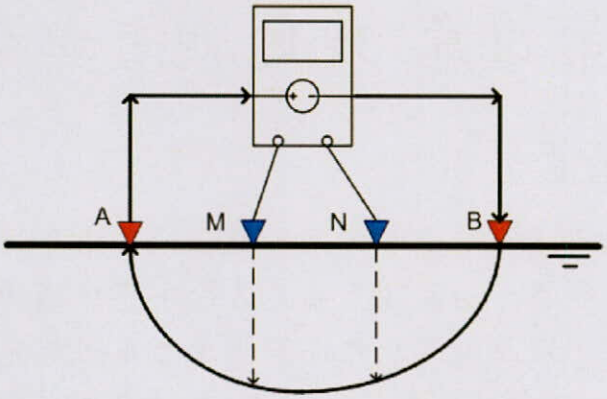



圖 4.1-1 地電阻探測儀器示意圖

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 =I R .....(式 4.1-1)

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($\rho$))有關，可進一步表示為

$$R = \rho \frac{l}{A}$$ .....(式 4.1-2)

$$\rho = R \frac{A}{l}$$ .....(式 4.1-3)

上式中，R 為電阻，$\rho$ 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 4.1-2)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，若在均質的地表定義極薄的殼層為 dr。

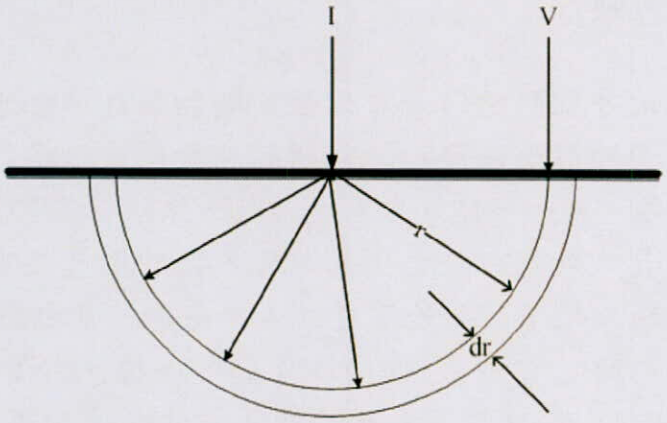



圖 4.1-2 電流流動示意圖

則透過歐姆定律(4.1-1)式定義電位差穿過此殼層電位差為

$$dv = I(R) = I\left(\rho \frac{l}{A}\right) = I\left(\rho \frac{dr}{2\pi r^2}\right)$$ .....(式 4.1-4)

故距單電流極 D 之任一點其電位為

$$V=\int_D^{\infty}dv=\frac{I\rho}{2\pi}\int_D^{\infty}\frac{dr}{r^2}=\frac{\rho I}{2\pi D} \quad \text{(式 4.1-5)}$$

以上述公式為基礎，地電阻法(Geoelectric Resistivity Method)測勘之基本原理為：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 4.1-3，據此即可計算該地層的視電阻率（Apparent Resistivity）由式(4.1-5)推出

$$\Delta V=\left(V_{\overline{AM}}-V_{\overline{AN}}\right)-\left(V_{\overline{BM}}-V_{\overline{BN}}\right)=\frac{\rho I}{2\pi}\left[\left(\frac{1}{\overline{AM}}-\frac{1}{\overline{BM}}\right)-\left(\frac{1}{\overline{AN}}-\frac{1}{\overline{BN}}\right)\right]$$

$$\rho=\frac{\Delta V 2\pi}{I}\left[\left(\frac{1}{\overline{AM}}-\frac{1}{\overline{BM}}\right)-\left(\frac{1}{\overline{AN}}-\frac{1}{\overline{BN}}\right)\right]^{-1}$$

(式 4.1-6)

令

$$K=2\pi\left[\left(\frac{1}{\overline{AM}}-\frac{1}{\overline{BM}}\right)-\left(\frac{1}{\overline{AN}}-\frac{1}{\overline{BN}}\right)\right]^{-1}$$

式(4.1-6) 可進一步縮寫為下式：

$$\rho=\frac{\Delta V}{I}K \quad \text{(式 4.1-7)}$$

其中，ΔV 為電位差 $V_{\overline{AM}},V_{\overline{BM}},V_{\overline{AN}},V_{\overline{BM}}$ 為電流極對電位極的絕對電位，$\overline{AM},\overline{BM},\overline{AN},\overline{BN}$ 為電極至電極間的距離，K 為幾何排列因子(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，上述的作法又稱為“地電阻率的剖面影像法”。

## 二、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。

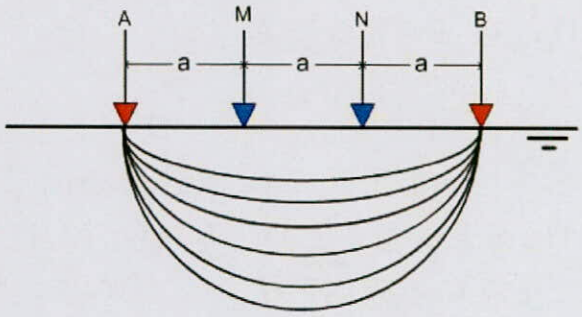



圖 4.1-3 溫奈排列（Wenner Array）示意圖

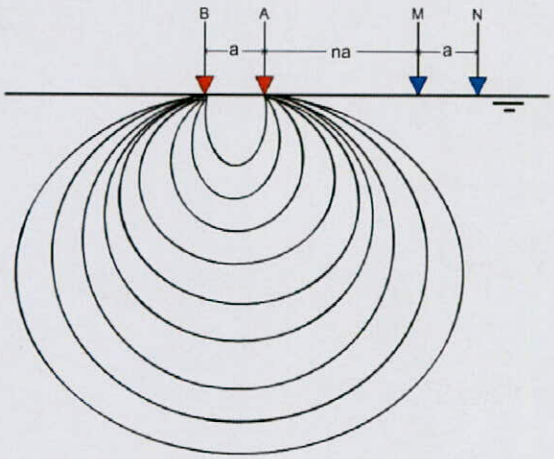



圖 4.1-4 雙偶極排列（Dipole-dipole Array）示意圖

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。

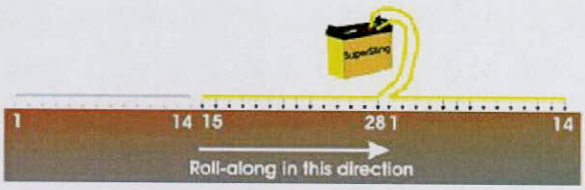



圖 4.1-5 二維地電阻剖面影像探測示意圖

本計畫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。本計畫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 2DTM。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。

### 4.1.2 施測結果與分析

本調查工作採用地電阻調查方法。由於地電阻方法須經由串接之電極纜線進行施測，在實際施測的做法上，本計畫先經由地質鑽井岩心與地表調查等資料初步判定沖積扇補注區邊界之大致分佈區間，先選定於初判邊界的一側施作地電阻，如果施測結果出現連續低電阻反應(連續泥層)代表此測線位於扇尾的低電阻(非補注區)範圍，第二條測線施測地點移至預測邊界東側，結果若為高電阻值反應(砂或礫石)，則代表此測線位為於高電阻(扇頂補注區)的範圍，第三條測線則再選定於第一條和第二條測線之間進行施測，如此反覆進行夾擠施測(如圖 4.1-6)，藉以找出高電阻區域邊界(砂泥漸變帶)的詳細範圍。

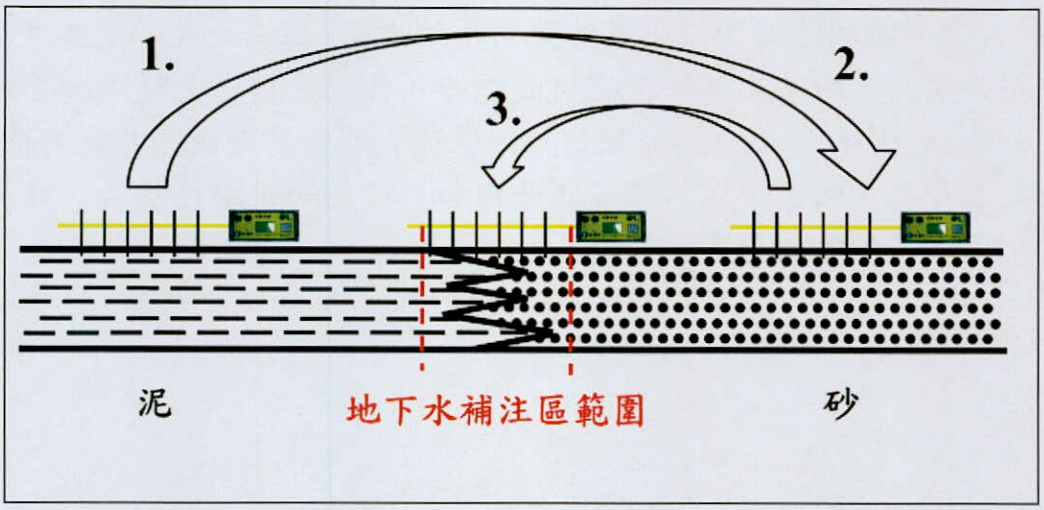



圖 4.1-6 地電阻平移式陣列施測方式示意圖

本計畫中的測線所使用最多 40 個電極，電極間距 10 公尺，每一條單獨測線最長可達到 400 公尺長，在選擇單一施測場址上，盡量選擇直線可達 400 多公尺的地方，並避開可能造成資料干擾的物體，如人造建築、水井、金屬網、電線桿、高壓電塔等，但由於實際上不太可能避開所有可能干擾物，因此另將

測線上可能造成干擾的物體，記錄在筆記上供後續資料處理時移除干擾參考。

100 年度至 101 年度的地電阻調查，主要施測目的為協助劃定屏東平原地區之補注區邊界。100 年度調查工作於屏東平原完成四組分區測線，總長共計 7610 公尺，均位於現有之屏東地區地下水觀測井附近。以流域地形大致分為分別為(1)北測區(荖濃-隘寮溪沖積扇)，包含吉洋(N1)、 土庫(N2)、里港(N3)、九如(N4)、彭厝(N5)、九如-海豐(N6)、彭厝-海豐(N7)、海豐-建興(N8)、建興(N9)、建興-西勢(N10)、以及內埔(N11)；與(2)南測區(林邊-力力溪沖積扇)，包括新庄(S1)、大湖(S2)、萬巒(S3)、 萬巒-萬隆(S4)、潮州(S5)、大潭(S6)、新埤(S7)、新埤-萬隆(S8)、萬隆(S9)、以及大響二(S10) (圖 4.1-7)。

由於屏東平原為數個發源於東側中央山脈南段之河流沖積扇所共同沖積而成，與濁水溪沖積扇相比，本區各個沖積扇空間分布之坡度較陡，範圍均較小，也因此礫、砂、泥之分佈之幾何型態，不若濁水溪主要沖積扇沉積物之空間分布規律。往往由很粗之礫石堆積物，很快變成礫泥或砂泥互層之扇央沉積物，因此經由岩芯與觀測井資料對比後，本區推測淺部補注區邊界，應位於扇頂之高電阻率(>70 Ohm-m)之礫石層，到低電阻率(具有 50-60 Ohm-m 以下電阻率)之砂泥或礫泥互層之邊界上。根據上述測線比對與分析後，本計畫判斷屏東平原之補注區邊界可大分為南、北兩個分區，而萬巒、內埔地下水觀測井附近之區域可能位於兩大分區間之漸變帶。因此根據地電阻施測的結果判斷，本區之補注區邊界大致可分為兩大沖積扇劃設(如圖 4.1-7)，北側荖濃-隘寮溪沖積扇補注區邊界，自吉洋觀測井之西側與里港觀測井之東邊，往南至九如觀測井之東側、海豐觀測井東側，向東南延續至建興觀測井西側，最後經老埤觀測井西側至東側大武山區；南側林邊-力力溪沖積扇補注區邊界則由萬巒觀測井之南側往西南，至潮州觀測井之東側後，從萬隆觀測井與新埤觀測井中繼續往南，最後經大響二觀測井之西方至屏東平原最南側。

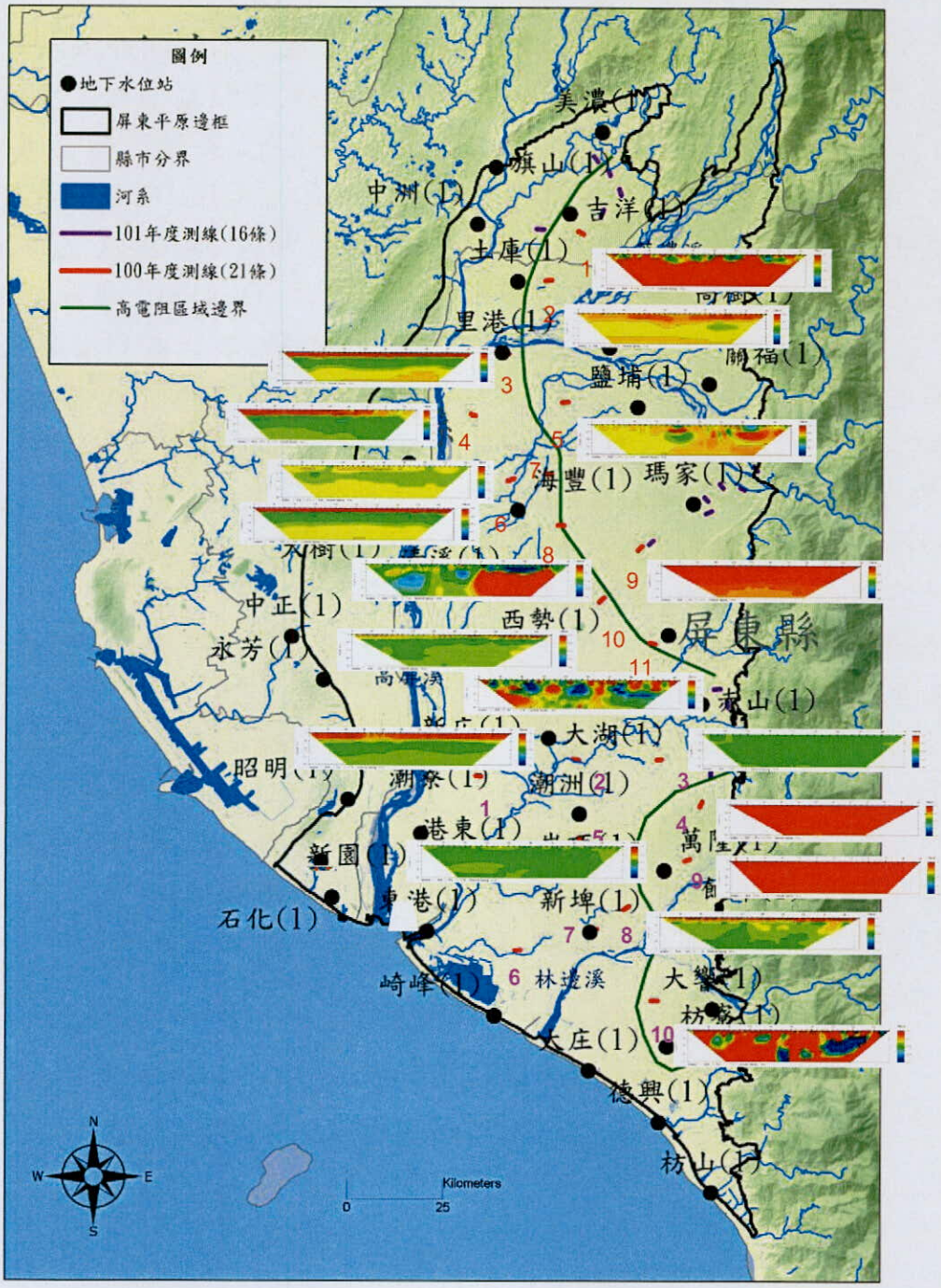



圖 4.1-7 本計畫 100 年度於屏東平原完成之地電阻測線

(紅色數字編號代表 N1~N11 的荖濃-隘寮溪沖積扇測線位置，綠色數字編號代表 S1~S10 的林邊-力力溪沖積扇測線，粉紅色線代表根據地電阻施測結果研判之高電阻區域邊界位置)

101年度調查工作則於屏東平原初估邊界(如圖4.1-8)之部分地區增加測線，於旗山、美濃、吉洋、萬巒、赤山、內埔、老埤等地下水觀測井測站連線附近，以確立高電阻區域邊界之空間分布。共新增位於兩大沖積扇間之老埤邊界(N12)、赤山(N13)、萬巒邊界(S11) 測線，以及位於荖濃-隘寮溪沖積扇北側的吉洋B(N14)、美濃A(N15)、美濃B(N16)、美濃C(N17)、美濃D(N18)等測線。本年度於荖濃-隘寮溪沖積扇北側的吉洋B(N14)、美濃A(N15)、美濃B(N16) 、美濃C(N17)之地電阻剖面均呈現高電阻率反應，而美濃 D(N18)地電阻剖面出現 30公尺~40公尺深之低電阻反應，依照與岩芯比對結果，本計畫判斷屏東平原北區的高電阻區域邊界在美濃C(N17)測線以西與美濃D側線(N18)以東之間。而屏科大附近依據地表高程變化資料，建興以東至大武山間高層有劇烈變化，由海拔50公尺爬深至130公尺以上，屬臺地或階地地形，故本年度在建興觀測井之東北方增加屏科A測線(N-19)，以及建興觀測井東側增加屏科B測線(N-20)，此兩測線之地電阻剖面均呈現高電阻率反應，應屬高電阻區域邊界內。因此本計畫研判屏東平原兩大沖積扇中間的邊界，自北方往南劃過建興觀測井西側後，仍轉向東南至大武山區(如圖4.1-9)。

另外，本年度也在關福、瑪家地下水觀測井之間進行時序之測量(瑪家一(A)、瑪家二(B)、隘寮溪南岸(C)、隘寮溪北岸(D)、瑪家三(E))，期望在此利用地電阻影像得到枯豐期之地下水位變化，進而推知由潮州斷層流入的山邊側流量。本計畫在四月(枯水期)與七月(豐水期)進行施測，施作總長度共2920公尺。上述測線都明顯看出，豐水期電阻率剖面與枯水期電阻率比較後，較低之電阻明顯從40公尺深抬升至30公尺深，推測為其水位變化所影響。

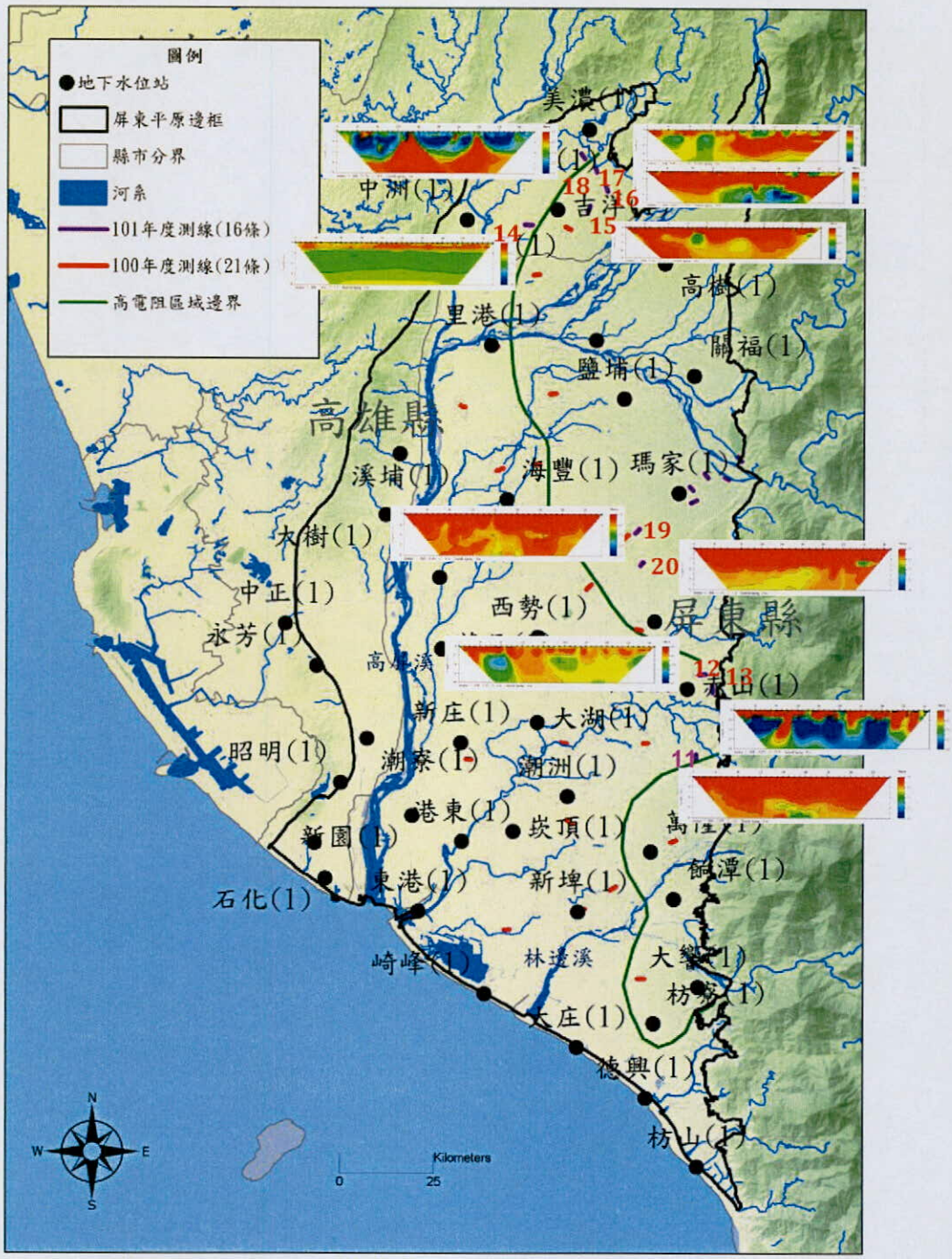



圖 4.1-8 本計畫 101 年度於屏東平原新增之地電阻測線

(紅色數字編號代表 N12~N20 的荖濃-隘寮溪沖積扇測線位置，綠色數字編號代表 S11 萬巒邊界測線，粉紅色線代表根據地電阻施測結果研判之高電阻區域邊界位置)

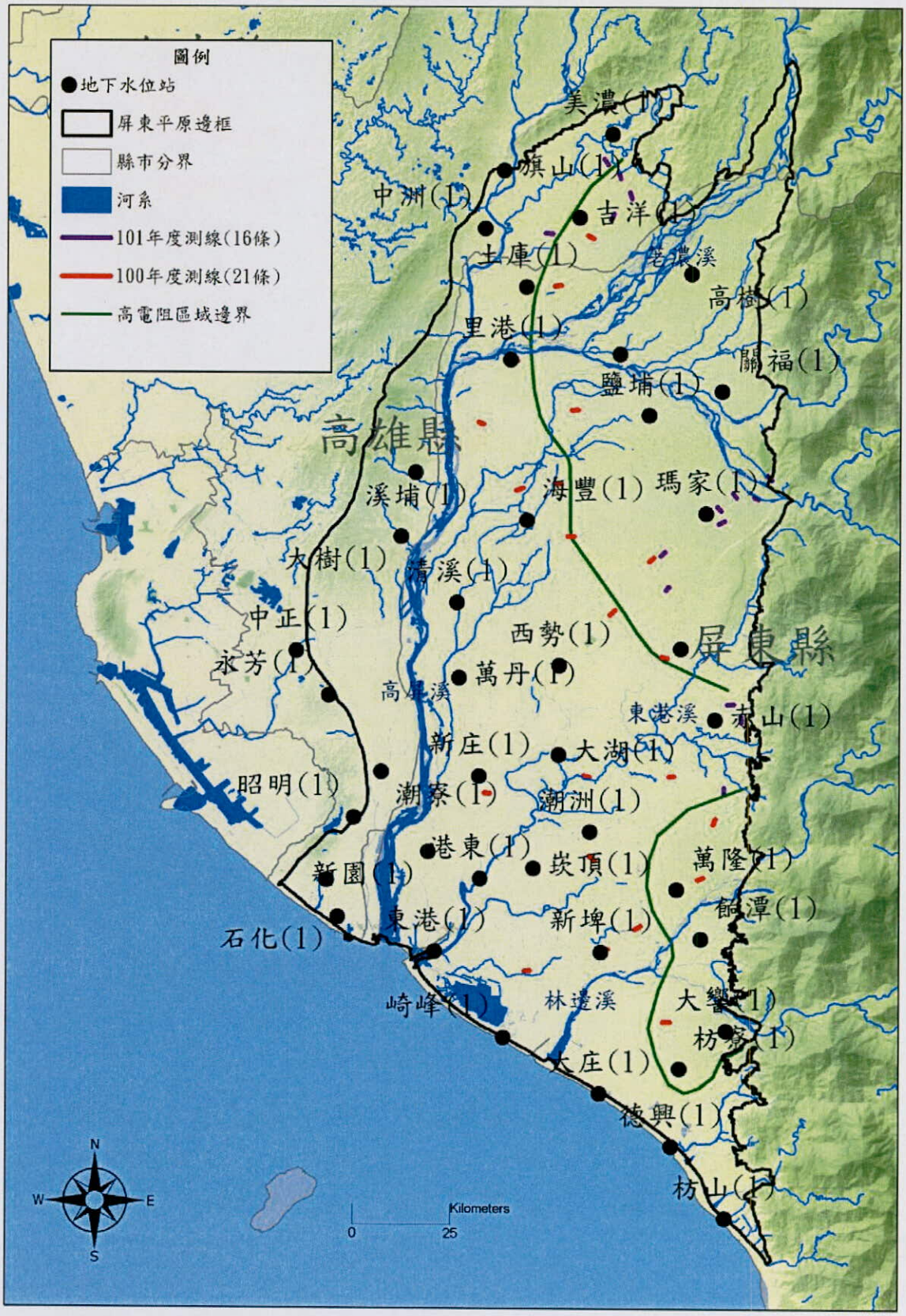



圖 4.1-9 本計畫之屏東平原高電阻區域邊界

## 4.2 水質調查與分析

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(江崇榮等人,2006)。補注區的西邊界約沿著田中、柑園、莿桐、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)，台灣目前雖已有地質法在做地下水區的保育工作，仍需極需進行此基礎調查研究。

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。本計畫 2009-2010 年調查濁水溪扇頂之地下水水質，100 年調查屏東之北部荖濃溪及隘寮溪扇頂及邊界地區，101 年調查屏東平原之南部—林邊溪及力力溪扇頂至扇尾地區(圖 4.2-1)。

大區域的地下水常有氧化還原帶的分布。缺氧的水體受微生物還原作用，原有之溶氧消耗盡後，因能量多寡，依次會將硝酸鹽、硫酸鹽等還原為氮氣及硫離子，還原反應由溶氧還原至甲烷生成依次發生。地下水由補注區到受壓含水層，水中物質會因空氣被地層隔絕，沿流徑之地層沉積物中有機質因長時間降解(放出電子)，消耗許多有氧物質(例如溶氧)，故含水層由上游往下游，產生還原帶(Chapelle, 2001)，例如溶氧還原帶、硝酸鹽還原帶、鐵還原帶、硫酸根還原帶、甲烷生成帶等(圖 4.2-2)。

區域性大範圍的地下水質調查，可以依此分類各還原帶。以濁水溪地區為例：扇頂為地下水補注區，地下水中含溶氧及硝酸鹽，基本上氨及硫離子濃度很微量。扇中及扇尾進入受壓水層，不含溶氧，氨及硫離子濃度升高。進入最扇尾有些觀測井已可測到甲烷氣。本計畫之工作項目之一，即調查地下水之溶氧及硝酸鹽濃度，以釐清溶氧帶及硝酸鹽還原帶之分布位置，以供地下水補注區及保護區劃設之參考。

屏東地區地層以多個沖積扇組成，標高由東向西降低，扇頂處以厚層礫石層為主，分別向西、西北、西南扇狀展開，地層向西砂、泥層厚度漸厚，層次漸多。地下水的流向，基本受到沖積扇地層控制，流向有兩個主要分量，由東向西

(沖積扇)及由北向南(由陸至海), 合成區域流向為由東北向西南流。

屏東地區的水文地質概況如圖 4.2-3, 該剖面由東北向西南, 顯示深度約 250 公尺內的地質概況(經濟部中央地質調查所,1997)。東北部地層(萬隆)分層較不明顯, 主要的阻水層(泥層)可能只有一至二層, 地下水上下流通限制較少。西南部地層(港東至林園)分層明顯, 大致有二層主要的阻水層(泥層), 地下水上下流通已受限制。若以深度作為分層參考，第一含水層的深度約在 0-60m, 第二含水層的深度約在 60-120m, 第三含水層的深度約在 120-250m, 第三含水層又可分為兩段, 但需注意, 不同含水層分層深度隨區域而變。

導電度分布：屏東平原的地下水導電度約 137~50400 $\mu$S/cm，靠山區的地下水水質較淡，靠海側的地下水有些已經鹽化，如東港、崎峰等。

硝酸鹽濃度：屏東地區地下水的硝態氮濃度也以補注區的地下水中最高。若以 0.5 mg/L 為界, 顯示第一含水層的分布最廣, 達平原的 1/2 面積, 往第二含水層分布面積仍可達 1/3, 至第三含水層分布較局限，只有在隘寮溪及林邊溪兩沖積扇的扇頂部份。根據地下水工程處的調查(1961)，本區 40 年前地下水的硝態氮濃度約在 0.2mg/L 以下。近年高濃度的硝酸態氮，可能源自農田化肥、生活污水及畜牧廢水。

成果有八個部份：(1)了解地下水之氧化還原帶，以協助補注區之判斷；(2)瞭解扇頂水質地化特性；(3)瞭解地面水之水質；(4)地下水導電度現況及歷年變化趨勢；(5)導電度垂向剖面；(6)地下水硝酸鹽濃度現況及歷年變化趨勢。(7)沿海地下水鹽化；(8)地下水之氨態氮分布。

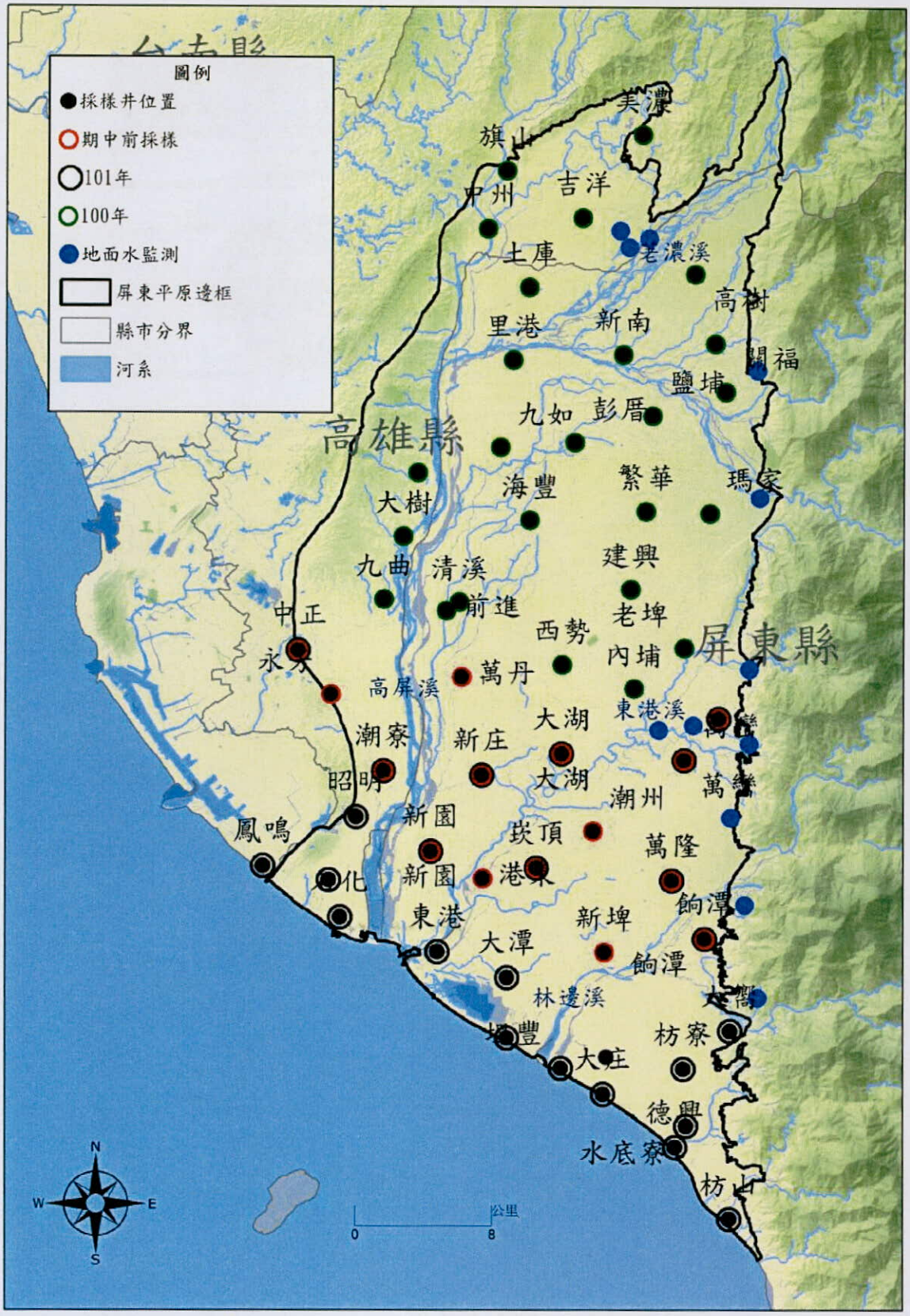



圖 4.2-1 研究區域及採樣井位置

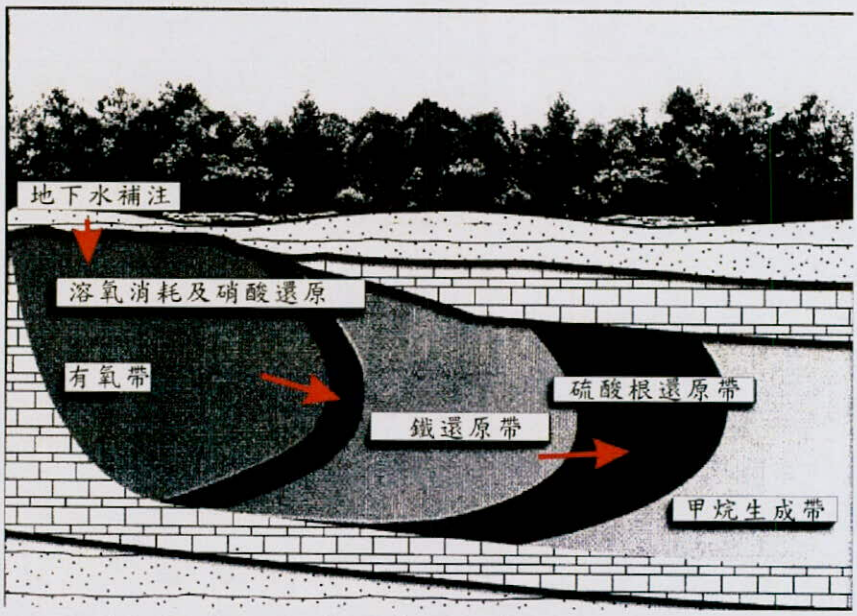



圖 4.2-2 地下水還原系列示意圖(Chapelle,2001)

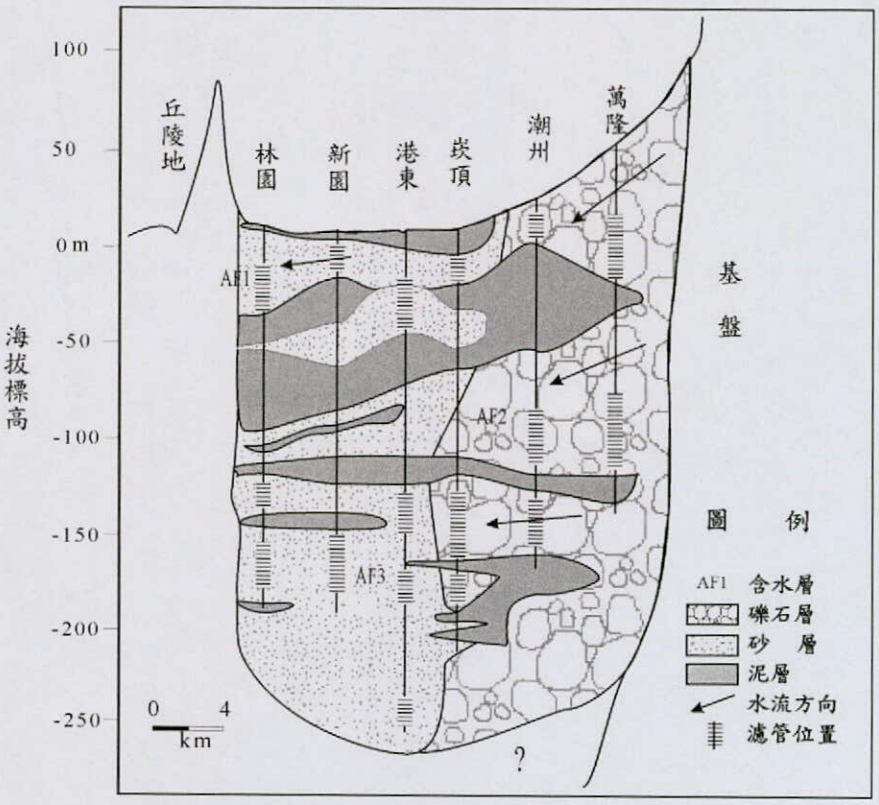



圖 4.2-3 水文地質剖面

### 4.2.1 調查方法

**地下水採樣與化驗：**研究方法為文獻資料收集、統計分析、地下水水質採樣分析、地面水水質採樣分析及水質地化理論探討等。本計畫的採樣點，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，1997；台糖公司地下水中心，1999-2004)。地下水採樣共 128 口井(表 4.2-1 及表 4.2-2)，12 處地面水(每個沖積扇各 3 點、4 個沖積扇共 12 點)，共 42 個水樣(圖 4.2-1)。

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、氧化還原電位等。使用美國 Hydrolab 水質測棒，經校正後放入井內濾水管深度量測(圖 4.2-4)。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 4.2-3)。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 4.2-4)。


圖 4.2-4 美國 Hydrolab 水質測棒

表 4.2-1 屏東地區之地下水觀測站

| 編號 | 年度 | 縣市 | 站名 | 住址 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 84 | 屏東市 | 清溪 | 屏東市清溪里建國路 291 號 (省第七河川局) |
| 2 | 85 | 屏東市 | 海豐 | 屏東市海豐里海豐街 3 號(海豐國小) |
| 3 | 87 | 屏東市 | 前進 | 屏東市台糖屏東總廠六塊厝農場(農場內) |
| 4 | 78 | 屏東縣 | 塭豐 | 屏東縣佳冬鄉塭豐海堤邊側 |
| 5 | 78 | 屏東縣 | 水底寮 | 屏東縣枋寮水底寮天時村 |
| 6 | 79 | 屏東縣 | 土庫 | 屏東縣里港鄉土庫村(三和國小) |
| 7 | 84 | 屏東縣 | 里港 | 屏東縣里港鄉過江村過江路 41 號 (里港國小) |
| 8 | 84 | 屏東縣 | 瑪家 | 屏東縣瑪家鄉三和村三和巷 16 號 (瑪家國中) |
| 9 | 84 | 屏東縣 | 建興 | 屏東縣內埔鄉建興村建興路 216 號 (榮華國小) |
| 10 | 84 | 屏東縣 | 西勢 | 屏東縣竹圍鄉西勢村光明路 8 號 (西勢國小) |
| 11 | 84 | 屏東縣 | 新庄 | 屏東縣萬丹鄉新庄村 43 號 (新庄國小) |
| 12 | 84 | 屏東縣 | 新園 | 屏東縣新園鄉媽祖路 49 號 (新園國小) |
| 13 | 84 | 屏東縣 | 萬巒 | 屏東縣萬巒鄉佳佐村佳佐路 59 號 (佳佐國小) |
| 14 | 84 | 屏東縣 | 新埤 | 屏東縣新埤鄉新埤村新華路 165 號 (新埤國小) |
| 15 | 84 | 屏東縣 | 萬隆 | 屏東縣新埤鄉萬隆村中山路 26 號 (萬隆國小) |
| 16 | 84 | 屏東縣 | 大潭 | 屏東縣東港鎮大潭里大潭路 93 號 (大潭國小) |
| 17 | 84 | 屏東縣 | 崎峰 | 屏東縣林邊鄉崎峰村裕後路 2 號 (崎峰國小) |
| 18 | 85 | 屏東縣 | 高樹 | 屏東縣高樹鄉高樹村華光路 32 號(高樹國小) |
| 19 | 85 | 屏東縣 | 泰山 | 屏東縣高樹鄉泰山村產業路 225 號(高泰國中) |
| 20 | 85 | 屏東縣 | 鹽埔 | 屏東縣鹽埔鄉鹽南村光復路 90 號(鹽埔國小) |
| 21 | 85 | 屏東縣 | 九如 | 九如鄉東寧村九如路二段 226 號(九如國小) |
| 22 | 85 | 屏東縣 | 萬丹 | 屏東縣萬丹鄉社皮村 73 號(社皮國小) |
| 23 | 85 | 屏東縣 | 老埤 | 屏東縣內埔鄉老埤村壽比路 116 號(泰安國小) |
| 24 | 85 | 屏東縣 | 內埔 | 屏東縣內埔鄉內埔村廣濟路 2 號(內埔國小) |
| 25 | 85 | 屏東縣 | 潮洲 | 屏東縣潮洲鎮光春里光春路 311 號(光春國小) |
| 26 | 85 | 屏東縣 | 崁頂 | 屏東縣崁頂鄉崁頂村中正路 119 號(崁頂國小) |
| 27 | 85 | 屏東縣 | 大響 | 屏東縣新埤鄉新力路 830 號(臺糖大響營農場) |
| 28 | 85 | 屏東縣 | 枋寮 | 枋寮鄉太源村太源路 36 號(東海國小太源分校) |
| 29 | 85 | 屏東縣 | 枋山 | 屏東縣枋山鄉加祿村會社 28 號(加祿國小) |
| 30 | 85 | 屏東縣 | 東港 | 東港鎮興東里中正路一段 10 號(東港國小) |
| 31 | 85 | 屏東縣 | 大庄 | 屏東縣枋寮鄉大庄村下寮遊樂區(海鷗公園) |
| 32 | 87 | 屏東縣 | 赤山 | 屏東縣萬巒鄉赤山村建興路 40 號(赤山國小) |
| 33 | 87 | 屏東縣 | 德興 | 屏東縣枋寮鄉枋寮村德興路 197 號(德興國小) |
| 34 | 87 | 屏東縣 | 新南 | 屏東縣高樹鄉新南村興店路 5 號(新南國小) |

表 4.2-1 屏東地區之地下水觀測站(續)

| 編號 | 年度 | 縣市 | 站名 | 住址 |
|---|---|---|---|---|
| 35 | 87 | 屏東縣 | 彭厝 | 屏東縣鹽埔鄉洛陽村七份路 21 號(彭厝國小) |
| 36 | 87 | 屏東縣 | 大湖 | 屏東縣竹田鄉泗洲村洲中路 40 號(大湖國小) |
| 37 | 87 | 屏東縣 | 關福 | 屏東縣高樹鄉廣福村中央路 60 號(關福國小) |
| 38 | 87 | 屏東縣 | 餉潭 | 屏東縣新埤鄉南州糖廠興華農場(農場內) |
| 39 | 87 | 屏東縣 | 繁華 | 屏東縣長治鄉繁華村水源路 96 號(繁華國小) |
| 40 | 87 | 屏東縣 | 港東 | 屏東縣崁頂鄉復興路 96 號(港東國小) |
| 41 | 79 | 高雄縣 | 石化 | 林園鄉仙尾村石化三路(林園石化工業區) |
| 42 | 79 | 高雄縣 | 吉洋 | 美濃鎮吉東里(高雄農田水利會吉洋工作站) |
| 43 | 84 | 高雄縣 | 溪埔 | 高雄縣大樹鄉溪埔村 23 號 (溪埔國小) |
| 44 | 84 | 高雄縣 | 九曲 | 高雄縣大樹鄉九曲村九曲路 15 號 (九曲國小) |
| 45 | 84 | 高雄縣 | 林園 | 高雄縣林園鄉林園村忠孝西路 20 號 (林園國小) |
| 46 | 85 | 高雄縣 | 中州 | 高雄縣旗山鎮中洲里(堤防樁 1K+100) |
| 47 | 85 | 高雄縣 | 永芳 | 高雄縣大寮鄉永芳村鳳林三路 499 號(永芳國小) |
| 48 | 85 | 高雄縣 | 潮寮 | 高雄縣大寮鄉潮寮路 61 號(潮寮國中) |
| 49 | 85 | 高雄縣 | 美濃 | 高雄縣美濃鎮東門里民族路 36 巷 2 號(東門國小) |
| 50 | 87 | 高雄縣 | 旗山 | 高雄縣旗山鎮旗山糖廠(糖廠內) |
| 51 | 87 | 高雄縣 | 新威 | 高雄縣六龜鄉新興村新威路 212 號(新威國小) |
| 52 | 87 | 高雄縣 | 中正 | 高雄縣鳳山市勝利路 2 號(中正國小) |
| 53 | 87 | 高雄縣 | 大樹 | 高雄縣大樹鄉中興南路新立巷 2 號(大樹國小) |
| 54 | 87 | 高雄縣 | 吉洋 | 高雄縣美濃鎮吉東里(水利會吉洋工作站) |
| 55 | 87 | 高雄縣 | 鳳鳴 | 高雄縣小港區鳳鳴路 191 號(鳳鳴國小) |
| 56 | 87 | 高雄縣 | 昭明 | 高雄縣大寮鄉鳳林一路 300 巷 80 號(昭明國小) |

表 4.2-2 研究採樣之觀測井

| 編號 | 井號 | 站名 | 濾水管 | | 靜水位 | X | Y | Z | 分層 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 起點 m | 終點 m | m | m | m | m | |
| 1 | 13250111 | 枋山(1) | 3 | 36 | 6.17 | 210142 | 2470440 | 6.89 | 1 |
| 2 | 13160411 | 德興(1) | 6 | 18 | 4.27 | 207000 | 2474613 | 3.58 | 1 |
| 3 | 13160421 | 德興(2) | 111 | 126 | 19.78 | 207000 | 2474613 | 3.58 | 3-1 |
| 4 | 13160431 | 德興(3) | 162 | 174 | 9.78 | 207000 | 2474613 | 3.58 | 3-2 |
| 5 | 131613T1 | 水底寮 | 28 | 70 | 3.57 | 207650 | 2475845 | 7.96 | 1 |
| 6 | 13160311 | 大庄(1) | 28 | 40 | 11.50 | 202810 | 2477706 | 2.90 | 1 |
| 7 | 13160321 | 大庄(2) | 151 | 193 | 14.91 | 202810 | 2477706 | 2.9 | 3-1 |
| 8 | 13160211 | 枋寮(1) | 40 | 94 | 36.11 | 207476 | 2479160 | 31.52 | 1 |
| 9 | 13160221 | 枋寮(2) | 111 | 135 | 34.70 | 207476 | 2479160 | 31.52 | 2 |
| 10 | 132113T1 | 塭豐 | 31 | 52 | 10.38 | 200355 | 2479195 | 2.690 | 1 |
| 11 | 13190111 | 崎峰(1) | 14 | 26 | 4.43 | 197199 | 2480945 | 3.47 | 1 |
| 12 | 13190121 | 崎峰(2) | 51 | 72 | 12.17 | 197199 | 2480945 | 3.47 | 2 |
| 13 | 13190131 | 崎峰(3) | 114 | 132 | 10.43 | 197199 | 2480945 | 3.47 | 3-1 |
| 14 | 13190141 | 崎峰(4) | 181 | 202 | 4.68 | 197199 | 2480945 | 3.47 | 3-2 |
| 15 | 132151 | 佳冬(4) | 156 | 180 | 3.97 | 203012 | 2479839 | 7.223 | 3-1 |
| 16 | 13150311 | 大鬱(1) | 47 | 65 | 41.78 | 210206 | 2481360 | 44.87 | 1 |
| 17 | 13150321 | 大鬱(2) | 92 | 110 | 41.41 | 210206 | 2481360 | 44.87 | 2 |
| 18 | 13030111 | 大潭(1) | 48 | 60 | 6.75 | 197221 | 2484469 | 3.42 | 2 |
| 19 | 13030121 | 大潭(2) | 161 | 188 | 2.10 | 197221 | 2484469 | 3.42 | 3-2 |
| 20 | 13030211 | 東港(1) | 9 | 18 | 2.64 | 193156 | 2485971 | 3.00 | 1 |
| 21 | 13030221 | 東港(2) | 72 | 84 | 4.99 | 193156 | 2485971 | 3.00 | 2 |
| 22 | 13030231 | 東港(3) | 126 | 138 | 4.03 | 193156 | 2485971 | 3.00 | 3-1 |
| 23 | 13030241 | 東港(4) | 165 | 195 | 5.36 | 193156 | 2485971 | 3.00 | 3-2 |
| 24 | 12020111 | 石化(1) | 12 | 47 | 4.19 | 187485 | 2487965 | 3.99 | 1 |
| 25 | 12020121 | 石化(2) | 74 | 104 | 4.19 | 187485 | 2487965 | 3.99 | 2 |
| 26 | 13180211 | 港東(1) | 30 | 48 | 4.45 | 195798 | 2490241 | 4.37 | 1 |
| 27 | 13180221 | 港東(2) | 123 | 141 | 5.60 | 195798 | 2490241 | 4.37 | 2 |
| 28 | 13180231 | 港東(3) | 168 | 186 | 6.40 | 195798 | 2490241 | 4.37 | 3-2 |
| 29 | 13180241 | 港東(4) | 240 | 264 | 6.73 | 195798 | 2490241 | 4.37 | 4 |
| 30 | 13170111 | 新園(1) | 6 | 24 | 8.92 | 192774 | 2491800 | 5.98 | 1 |
| 31 | 13170121 | 新園(2) | 165 | 189 | 9.13 | 192774 | 2491800 | 5.98 | 3-2 |
| 32 | 1202011 | 林園(1) | 24 | 42 | 4.39 | 186809 | 2490130 | 5.04 | 1 |
| 33 | 1202021 | 林園(2) | 114 | 138 | 3.13 | 186809 | 2490130 | 5.04 | 3-1 |

表 4.2-2 研究採樣之觀測井(續)

| 編號 | 井號 | 站名 | 濾水管 | | 靜水位 | X | Y | Z | 分層 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 起點 m | 終點 m | m | m | m | m | |
| 34 | 1202031 | 林園(3) | 168 | 192 | 3.42 | 186809 | 2490130 | 5.04 | 3-2 |
| 35 | 12030311 | 昭明(1) | 22 | 34 | 2.43 | 188414 | 2493802 | 8.91 | 1 |
| 36 | 12030321 | 昭明(2) | 108 | 132 | 1.45 | 188414 | 2493802 | 8.91 | 2 |
| 37 | 12030331 | 昭明(3) | 174 | 192 | 1.59 | 188414 | 2493802 | 8.91 | 3-1 |
| 38 | 12030341 | 昭明(4) | 216 | 228 | 1.98 | 188414 | 2493802 | 8.91 | 3-2 |
| 39 | 64110111 | 鳳鳴(1) | 24 | 48 | 9.60 | 182982 | 2490949 | 10.56 | 1 |
| 40 | 12030111 | 潮寮(1) | 6 | 21 | 8.02 | 190004 | 2496500 | 9.02 | 1 |
| 41 | 12030121 | 潮寮(2) | 110 | 140 | 8.02 | 190004 | 2496500 | 9.02 | 3-1 |
| 42 | 12030131 | 潮寮(3) | 182 | 194 | 8.57 | 190004 | 2496500 | 9.02 | 3-2 |
| 43 | 12030211 | 永芳(1) | 38 | 56 | 10.67 | 186942 | 2500950 | 18.56 | 1 |
| 44 | 12030221 | 永芳(2) | 133 | 145 | 22.52 | 186942 | 2500950 | 18.56 | 3-1 |
| 45 | 12030231 | 永芳(3) | 190 | 214 | 23.08 | 186942 | 2500950 | 18.56 | 3-2 |
| 46 | 12010111 | 中正(1) | 27 | 45 | 9.85 | 185015 | 2503504 | 16.34 | 2 |
| 47 | 12010121 | 中正(2) | 89 | 113 | 20.58 | 185015 | 2503504 | 16.34 | 3-1 |
| 48 | 13050111 | 新庄(1) | 9 | 36 | 5.67 | 195738 | 2496246 | 10.67 | 1 |
| 49 | 13050121 | 新庄(2) | 67 | 73 | 6.77 | 195738 | 2496246 | 10.67 | 2 |
| 50 | 13050131 | 新庄(3) | 96 | 126 | 6.88 | 195738 | 2496246 | 10.67 | 3-1 |
| 51 | 13180111 | 崁頂(1) | 18 | 30 | 6.35 | 198929 | 2490845 | 9.26 | 1 |
| 52 | 13180121 | 崁頂(2) | 142 | 166 | 1.70 | 198929 | 2490845 | 9.26 | 3-1 |
| 53 | 13180131 | 崁頂(3) | 186 | 198 | 1.46 | 198929 | 2490845 | 9.26 | 3-2 |
| 54 | 13020111 | 潮州(1) | 12 | 24 | 4.91 | 202232 | 2492984 | 16.66 | 1 |
| 55 | 13020121 | 潮州(2) | 118 | 184 | 6.45 | 202232 | 2492984 | 16.66 | 3-1 |
| 56 | 13150111 | 新埤(1) | 12 | 24 | 3.47 | 202895 | 2485957 | 12.28 | 1 |
| 57 | 13150121 | 新埤(2) | 122 | 146 | 11.78 | 202895 | 2485957 | 12.28 | 3-1 |
| 58 | 13150131 | 新埤(3) | 165 | 177 | 4.85 | 202895 | 2485957 | 12.28 | 3-1 |
| 59 | 13150141 | 新埤(4) | 193 | 205 | 10.58 | 202895 | 2485957 | 12.28 | 3-2 |
| 60 | 13150211 | 萬隆(1) | 44 | 66 | 27.10 | 206802 | 2490112 | 44.78 | 1 |
| 61 | 13150221 | 萬隆(2) | 144 | 168 | 18.60 | 206802 | 2490112 | 44.78 | 3-1 |
| 62 | 13120111 | 萬巒(1) | 66 | 90 | 11.01 | 207502 | 2497136 | 29.32 | 2 |
| 63 | 13120121 | 萬巒(2) | 124 | 136 | 14.62 | 207502 | 2497136 | 29.32 | 3-1 |
| 64 | 13120211 | 赤山(1) | 33 | 45 | 3.15 | 209521 | 2499542 | 27.03 | 1 |
| 65 | 13120221 | 赤山(2) | 84 | 96 | 3.52 | 209521 | 2499542 | 27.03 | 2 |
| 66 | 13120231 | 赤山(3) | 158 | 191 | 0.19 | 209521 | 2499542 | 27.03 | 3-1 |

表 4.2-2 研究採樣之觀測井(續)

| 編號 | 井號 | 站名 | 濾水管 | | 靜水位 | X | Y | Z | 分層 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 起點 m | 終點 m | m | m | m | m | |
| 67 | 13140211 | 大湖(1) | 15 | 27 | 4.92 | 200368 | 2497500 | 11.09 | 1 |
| 68 | 13140221 | 大湖(2) | 61 | 73 | 0.00 | 200368 | 2497500 | 11.09 | 2 |
| 69 | 13140231 | 大湖(3) | 132 | 162 | -1.15 | 200368 | 2497500 | 11.09 | 3-1 |
| 70 | 13140241 | 大湖(4) | 208 | 217 | -3.46 | 200368 | 2497500 | 11.09 | 3-2 |
| 71 | 13150411 | 餉潭(1) | 24 | 60 | 19.13 | 208707 | 2486714 | 37.33 | 1 |
| 72 | 13150421 | 餉潭(2) | 84 | 96 | 16.65 | 208707 | 2486714 | 37.33 | 2 |
| 73 | 13050211 | 萬丹(1) | 18 | 36 | 9.22 | 194540 | 2501970 | 16.73 | 1 |
| 74 | 13050221 | 萬丹(2) | 66 | 90 | 9.59 | 194540 | 2501970 | 16.73 | 2 |
| 75 | 13050231 | 萬丹(3) | 132 | 174 | 10.07 | 194540 | 2501970 | 16.73 | 3-1 |
| 76 | 13010111 | 清溪(1) | 9 | 21 | 5.53 | 194408 | 2506330 | 19.65 | 1 |
| 77 | 13010121 | 清溪(2) | 66 | 90 | 5.42 | 194408 | 2506330 | 19.65 | 2 |
| 78 | 13010131 | 清溪(3) | 174 | 198 | 8.05 | 194408 | 2506330 | 19.65 | 3-1 |
| 79 | 13010311 | 前進(4) | 235 | 247 | 5.24 | 193652 | 2505845 | 18.25 | 3-2 |
| 80 | 12040211 | 九曲(1) | 99 | 114 | 23.03 | 190015 | 2506507 | 27.01 | 2 |
| 81 | 12040221 | 九曲(2) | 186 | 198 | 16.65 | 190015 | 2506507 | 27.01 | 3-2 |
| 82 | 12040311 | 大樹(1) | 18 | 36 | 13.46 | 191135 | 2510159 | 23.82 | 1 |
| 83 | 12040321 | 大樹(2) | 84 | 108 | 14.11 | 191135 | 2510159 | 23.82 | 2 |
| 84 | 12040331 | 大樹(3) | 141 | 168 | 12.23 | 191135 | 2510159 | 23.82 | 3-1 |
| 85 | 12040341 | 大樹(4) | 226 | 244 | 7.89 | 191135 | 2510159 | 23.82 | 3-2 |
| 86 | 12040111 | 溪埔(1) | 15 | 33 | 11.85 | 191978 | 2513893 | 29.14 | 1 |
| 87 | 12040121 | 溪埔(2) | 68 | 80 | 2.55 | 191978 | 2513893 | 29.18 | 2 |
| 88 | 12040131 | 溪埔(3) | 120 | 144 | -10.70 | 191978 | 2513893 | 29.18 | 3-1 |
| 89 | 13130211 | 內埔(1) | 94 | 142 | 3.87 | 204588 | 2501296 | 22.92 | 3-1 |
| 90 | 13130221 | 內埔(2) | 187 | 199 | -1.00 | 204588 | 2501296 | 22.92 | 3-2 |
| 91 | 13140111 | 西勢(1) | 15 | 33 | 3.29 | 200397 | 2502704 | 17.97 | 1 |
| 92 | 13140121 | 西勢(2) | 46 | 52 | 3.50 | 200397 | 2502704 | 17.97 | 2 |
| 93 | 13140131 | 西勢(3) | 67 | 73 | 1.91 | 200397 | 2502704 | 17.97 | 2 |
| 94 | 13140141 | 西勢(4) | 109 | 148 | 1.40 | 200397 | 2502704 | 17.97 | 3-1 |
| 95 | 13130311 | 老埤(1) | 24 | 42 | 10.34 | 207504 | 2503670 | 35.15 | 1 |
| 96 | 13130321 | 老埤(2) | 124 | 154 | 8.64 | 207504 | 2503670 | 35.15 | 3-1 |
| 97 | 13130111 | 建興(1) | 42 | 72 | 9.58 | 204395 | 2507086 | 36.98 | 2 |
| 98 | 13130121 | 建興(2) | 118 | 142 | 9.21 | 204395 | 2507086 | 36.98 | 3-1 |
| 99 | 13060111 | 繁華(1) | 70 | 94 | 23.68 | 205264 | 2511656 | 44.22 | 2 |

表 4.2-2 研究採樣之觀測井(續)

| 編號 | 井號 | 站名 | 濾水管 | | 靜水位 | X | Y | Z | 分層 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 起點 m | 終點 m | m | m | m | m | |
| 100 | 13060121 | 繁華(2) | 216 | 246 | 23.39 | 205264 | 2511656 | 44.22 | 3-2 |
| 101 | 13280111 | 瑪家(1) | 42 | 72 | 42.30 | 208976 | 2511539 | 81.75 | 1 |
| 102 | 13280121 | 瑪家(2) | 116 | 134 | 40.47 | 208976 | 2511539 | 81.75 | 2 |
| 103 | 13280131 | 瑪家(3) | 174 | 192 | 38.26 | 208976 | 2511539 | 81.75 | 3-1 |
| 104 | 13010211 | 海豐(1) | 14 | 26 | 4.56 | 198476 | 2511130 | 33.34 | 1 |
| 105 | 13010221 | 海豐(2) | 108 | 144 | 1.51 | 198476 | 2511130 | 33.34 | 3-1 |
| 106 | 13010231 | 海豐(3) | 187 | 202 | 5.82 | 198476 | 2511130 | 33.34 | 3-1 |
| 107 | 13080111 | 九如(1) | 64 | 106 | 7.82 | 196776 | 2515370 | 34.62 | 2 |
| 108 | 13080121 | 九如(2) | 180 | 204 | 13.21 | 196776 | 2515370 | 34.62 | 3-1 |
| 109 | 13100211 | 彭厝(1) | 83 | 107 | 3.08 | 201104 | 2515658 | 35.61 | 2 |
| 110 | 13100221 | 彭厝(2) | 192 | 204 | 2.07 | 201104 | 2515658 | 35.61 | 3-2 |
| 111 | 13100111 | 鹽埔(1) | 24 | 42 | 15.16 | 205622 | 2517240 | 58.10 | 1 |
| 112 | 13100121 | 鹽埔(2) | 106 | 160 | 15.59 | 205622 | 2517240 | 58.10 | 2 |
| 113 | 13090211 | 里港(1) | 33 | 36 | 9.18 | 197514 | 2520447 | 38.41 | 1 |
| 114 | 13090221 | 里港(2) | 144 | 174 | 10.87 | 197514 | 2520447 | 38.41 | 3-1 |
| 115 | 13110411 | 關福(1) | 48 | 72 | 12.97 | 209883 | 2518620 | 75.06 | 2 |
| 116 | 13110421 | 關福(2) | 162 | 186 | 14.21 | 209883 | 2518620 | 75.06 | 3-2 |
| 117 | 13110311 | 新南(1) | 86 | 110 | 7.89 | 203915 | 2520763 | 52.69 | 2 |
| 118 | 13110321 | 新南(2) | 220 | 238 | 8.00 | 203915 | 2520763 | 52.69 | 3-2 |
| 119 | 13110111 | 高樹(1) | 48 | 72 | 36.74 | 208068 | 2525407 | 87.62 | 1 |
| 120 | 13010121 | 高樹(2) | 114 | 138 | 35.21 | 208068 | 2525407 | 87.62 | 2 |
| 121 | 13110211 | 泰山(1) | 62 | 104 | 13.86 | 209266 | 2521392 | 67.25 | 2 |
| 122 | 13110221 | 泰山(2) | 165 | 189 | 18.36 | 209266 | 2521392 | 67.25 | 3-1 |
| 123 | 13090111 | 土庫 | 10 | 46 | 2.28 | 198425 | 2524645 | 40.93 | 1 |
| 124 | 12200111 | 吉洋 | 10 | 35 | 4.98 | 201510 | 2528640 | 54.10 | 1 |
| 125 | 12200311 | 吉洋(1) | 90 | 120 | 14.07 | 200032 | 2529333 | 54.53 | 2 |
| 126 | 12200321 | 吉洋(2) | 192 | 216 | 12.20 | 200032 | 2529333 | 54.53 | 3-1 |
| 127 | 12190111 | 中州(1) | 60 | 114 | 7.63 | 195993 | 2528009 | 39.44 | 2 |
| 128 | 12190121 | 中州(2) | 174 | 204 | 7.55 | 195993 | 2528009 | 39.44 | 3-1 |
| 129 | 12200211 | 美濃(1) | 30 | 36 | 3.88 | 205000 | 2533450 | 54.03 | 1 |
| 130 | 12200221 | 美濃(2) | 52 | 70 | 3.98 | 205000 | 2533450 | 54.03 | 2 |
| 131 | 12190211 | 旗山(1) | 8 | 20 | 10.26 | 197100 | 2531368 | 43.8 | 1 |
| 132 | 12190221 | 旗山(2) | 62 | 92 | 12.10 | 197100 | 2531368 | 43.8 | 2 |

表 4.2-3 檢驗方法與儀器偵測極限

| | 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 | ℃ |
| 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：發光光度計法 | APHA(19th) 3500-Na D | 0.50 | mg/l |
| 12 | K：發光光度計法 | 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 4.2-4 飲用水源及灌溉用水質標準

| 檢測項目 | 單位 | 環保署飲用水水源水質標準 甲 | 環保署飲用水水源水質標準 乙 | 灌溉用水水質標準 |
|---|---|---|---|---|
| 1. 水溫 T | ℃ | ----- | ----- | <35 |
| 2. 氫離子濃度 pH | ----- | ----- | ----- | 6.0-9.0 |
| 3. 氧化還原電位 ORP | mV(at25℃) | ----- | ----- | ----- |
| 4. 溶氧 DO | mg/L | ----- | ----- | >3 |
| 5. 導電度(at25℃) EC | μS/cm | ----- | ----- | 750 |
| 6. 總溶解固體 TDS | mg/L | ----- | 500 | ----- |
| 7. 鈣 Ca | mg/L | ----- | ----- | ----- |
| 8. 鎂 Mg | mg/l | ----- | ----- | ----- |
| 9. 硬度 Hard | mg/L | ----- | ----- | ----- |
| 10. 鉀 K | mg/L | ----- | ----- | ----- |
| 11. 鈉 Na | mg/L | ----- | ----- | ----- |
| 12. 總鹼度 Alk. | mg/L | ----- | ----- | ----- |
| 13. 氯鹽 $Cl^-$ | mg/L | ----- | 250 | 175 |
| 14. 硫酸根 $SO_4^{-2}$ | mg/L | ----- | 250 | 200 |
| 15. 硝酸鹽氮 $NO_3^-$-N | mg/L | ----- | 10.0 | ----- |

*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

本計畫收集扇頂區的歷年水質數據，例如早期的地下水勘測隊(1961)、地下水觀測網的新建井水質化驗(謝永旭與蘇苗彬，1994-2003)、水利署的常態性水質監測(台糖公司地下水中心，1999-2004；農業工程研究中心，2007)、加上本計畫所檢驗的數據，以探討水質之時間演變。

**趨勢分析**：使用 Mann-Kendall 法(Kendall, 1975)。顯著值 S 以公式 4.2-1 定義之：

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sign(x_j - x_k)$$

……(式 4.2-1)

$sign(X_j-X_k)=1$ 若 $X_j-X_k>0$

$sign(X_j-X_k)=0$ 若 $X_j-X_k=0$

$$sign(X_j-X_k)=-1 \quad 若\ X_j-X_k<0$$

Xj 為時間 j 之數值、Xk 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：

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

……(式 4.2-2)

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 $Z=(S-1)/[VAR(S)]^{1/2}$

若 S<0 則 $Z=(S+1)/[VAR(S)]^{1/2}$

……(式 4.2-3)

分布機率 f(z)

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

……(式 4.2-4)

一般以 90－95%為顯著水平，本計畫以 90%為判斷是否有顯著趨勢。

### 4.2.2 資料分析結果

**一、地下水之溶氧及硝酸鹽帶**

本年度採樣之地下水溶氧及硝酸鹽濃度如表 4.2-5，空間分布如圖 4.2-5。圖中藍虛線部分為任一層含水層之溶氧>1mg/l，此區域由高樹、新南至大響及枋寮等。大致上與扇頂區的範圍一致(除了大湖、新庄等 4 口井)，但地下水保護區的劃設應以地質鑽探的資料為主，沒有上覆泥層、且有巨厚的含水層，應為優先保護的區域。此區域往往也是地下水中的溶氧帶，但並不必然完全重疊。因為溶氧的分布，除了從補注水源攜帶來，也受到地層中的有機質降解而消耗。地質鑽探資料目前並沒有有機質的含量，學界對於地層中有機質含量與溶氧消耗之間的關係研究仍缺乏。

硝酸鹽帶的分布通常比溶氧帶更往下游，在扇頂區的西側及溪南側，硝酸鹽可能來自化學氮肥或生活汙水，但在缺氧環境下會還原成亞硝酸鹽及氮氣，因此硝酸鹽的濃度除了受到來源區濃度的影響，地層的氧化還原環境也會影響其濃度。一般而言，硝酸鹽濃度高的地層，應離補注區較近。

表 4.2-5 100-101 年度地下水之溶氧等基本水質

| 編號 | 站名 | 導電度 | pH | 溶氧 | 氧化還原電位 | 硝態氮 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | μS/cm | | mg/l | mV | mg/l |
| 1 | 枋山(1) | 642 | 7.05 | 1.45 | 88 | 1.25 |
| 2 | 德興(1) | 28100 | 7.69 | 0.37 | -206 | 1.47 |
| 3 | 德興(2) | 2111 | 7.55 | 0.43 | -340 | 0.42 |
| 4 | 德興(3) | 3210 | 7.45 | 0.33 | -125 | 0.47 |
| 6 | 大庄(1) | 846 | 7.74 | 0.22 | -247 | 0.73 |
| 7 | 大庄(2) | 412 | 7.62 | 0.28 | -222 | 0.03 |
| 8 | 枋寮(1) | 402 | 7.23 | 2.46 | 75 | 1.78 |
| 9 | 枋寮(2) | 487 | 7.30 | 3.54 | 91 | 0.16 |
| 11 | 崎峰(1) | 51900 | 6.91 | 0.25 | -365 | 0.37 |
| 12 | 崎峰(2) | 3050 | 7.69 | 0.22 | -147 | 0.65 |
| 13 | 崎峰(3) | 825 | 7.84 | 0.43 | -134 | 0.70 |
| 14 | 崎峰(4) | 2780 | 7.21 | 0.35 | -164 | 2.64 |
| 16 | 大響(1) | 415 | 7.44 | 6.58 | 125 | 3.15 |
| 17 | 大響(2) | 298 | 7.34 | 5.47 | 142 | 0.67 |
| 18 | 大潭(1) | 933 | 7.58 | 0.37 | -136 | 1.13 |
| 19 | 大潭(2) | 15500 | 6.59 | 0.31 | -175 | 1.15 |
| 20 | 東港(1) | 2700 | 8.22 | 0.46 | -184 | 0.67 |
| 21 | 東港(2) | 15800 | 7.03 | 0.32 | -152 | 0.80 |
| 22 | 東港(3) | 1860 | 7.31 | 0.44 | -185 | 1.20 |
| 23 | 東港(4) | 50900 | 7.13 | 0.13 | -111 | 0.59 |
| 24 | 石化(1) | 5610 | 7.36 | 0.28 | -192 | 2.44 |
| 25 | 石化(2) | 1415 | 7.39 | 0.37 | -124 | 1.34 |
| 26 | 港東(1) | 2620 | 7.77 | <0.2 | 50 | 1.14 |
| 27 | 港東(2) | 2720 | 7.63 | <0.2 | -165 | 0.18 |
| 28 | 港東(3) | 30300 | 6.47 | <0.2 | -134 | 0.58 |
| 29 | 港東(4) | 14200 | 6.86 | <0.2 | -157 | 0.91 |
| 30 | 新園(1) | 1106 | 7.08 | 2.75 | 40 | 5.66 |
| 31 | 新園(2) | 49800 | 7.05 | 0.56 | -152 | 1.41 |
| 32 | 林園(1) | 940 | 7.44 | 0.27 | -124 | 0.46 |
| 33 | 林園(2) | 26900 | 6.73 | 0.14 | -136 | 3.34 |
| 34 | 林園(3) | 30000 | 6.80 | 0.35 | -147 | 2.92 |

表 4.2-5 100-101 年度地下水之溶氧等基本水質(續)

| 編號 | 站名 | 導電度 | pH | 溶氧 | 氧化還原電位 | 硝態氮 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | μS/cm | | mg/l | mV | mg/l |
| 35 | 昭明(1) | 625 | 7.41 | 0.23 | -115 | 0.16 |
| 36 | 昭明(2) | 1204 | 7.30 | 0.48 | -241 | 0.13 |
| 37 | 昭明(3) | 628 | 7.47 | 0.32 | -223 | 0.12 |
| 38 | 昭明(4) | 1429 | 7.41 | 0.17 | -247 | 0.56 |
| 39 | 鳳鳴(1) | 1024 | 7.70 | 0.15 | -69 | 2.19 |
| 40 | 潮寮(1) | 1032 | 7.44 | 0.45 | -150 | 0.23 |
| 41 | 潮寮(2) | 733 | 7.55 | 1.42 | 78 | 1.56 |
| 42 | 潮寮(3) | 593 | 7.66 | 1.85 | 85 | 1.53 |
| 43 | 永芳(1) | 1166 | 7.39 | 0.42 | -83 | 1.71 |
| 44 | 永芳(2) | 492 | 7.69 | <0.2 | -150 | 0.24 |
| 45 | 永芳(3) | 568 | 7.23 | <0.2 | -243 | 0.17 |
| 46 | 中正(1) | 613 | 7.34 | 0.22 | -106 | 0.10 |
| 47 | 中正(2) | 659 | 7.31 | <0.2 | -147 | 0.15 |
| 48 | 新庄(1) | 971 | 7.26 | 1.55 | 58 | 0.64 |
| 49 | 新庄(2) | 485 | 7.52 | 1.06 | -56 | 0.73 |
| 50 | 新庄(3) | 502 | 7.61 | <0.2 | -138 | 0.39 |
| 51 | 崁頂(1) | 363 | 7.70 | 0.76 | -135 | 0.51 |
| 52 | 崁頂(2) | 369 | 7.62 | 0.82 | -186 | 0.85 |
| 53 | 崁頂(3) | 341 | 7.75 | 0.61 | -102 | 0.52 |
| 54 | 潮州(1) | 750 | 7.43 | <0.2 | -165 | 0.23 |
| 55 | 潮州(2) | 360 | 7.45 | <0.2 | -134 | 1.12 |
| 56 | 新埤(1) | 482 | 7.36 | <0.2 | -113 | 0.27 |
| 57 | 新埤(2) | 348 | 7.57 | <0.2 | -143 | 0.34 |
| 58 | 新埤(3) | 346 | 7.53 | <0.2 | -167 | 0.53 |
| 59 | 新埤(4) | 364 | 7.59 | <0.2 | -127 | 0.43 |
| 60 | 萬隆(1) | 332 | 7.56 | 3.52 | 155 | 1.11 |
| 61 | 萬隆(2) | 345 | 7.28 | 6.32 | 75 | 0.19 |
| 62 | 萬巒(1) | 449 | 7.24 | 4.12 | 68 | 5.21 |
| 63 | 萬巒(2) | 487 | 7.14 | <0.2 | -154 | 0.83 |
| 64 | 赤山(1) | 359 | 7.35 | 0.32 | -167 | 0.85 |
| 65 | 赤山(2) | 448 | 7.34 | 0.21 | -178 | 0.33 |
| 66 | 赤山(3) | 790 | 7.25 | <0.2 | -214 | 0.12 |

表 4.2-5 100-101 年度地下水之溶氧等基本水質(續)

| 編號 | 站名 | 導電度 | pH | 溶氧 | 氧化還原電位 | 硝態氮 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | μS/cm | | mg/l | mV | mg/l |
| 67 | 大湖(1) | 346 | 6.96 | 0.88 | -65 | 0.89 |
| 68 | 大湖(2) | 361 | 7.23 | 0.64 | -132 | 0.35 |
| 69 | 大湖(3) | 599 | 7.24 | 4.67 | 86 | 5.80 |
| 70 | 大湖(4) | 501 | 7.57 | <0.2 | -158 | 0.57 |
| 71 | 餉潭(1) | 253 | 7.62 | 0.84 | -12 | 2.53 |
| 72 | 餉潭(2) | 487 | 7.46 | 0.67 | -134 | 0.34 |
| 73 | 萬丹(1) | 830 | 7.45 | <0.2 | -180 | 0.32 |
| 74 | 萬丹(2) | 540 | 7.68 | <0.2 | -134 | 0.16 |
| 75 | 萬丹(3) | 355 | 7.88 | <0.2 | -206 | 0.27 |
| 76 | 清溪(1) | 541 | 7.38 | 0.37 | -172 | 0.10 |
| 77 | 清溪(2) | 645 | 7.50 | 0.21 | -191 | 0.43 |
| 78 | 清溪(3) | 425 | 7.67 | 0.45 | -126 | 0.21 |
| 80 | 九曲(1) | 435 | 7.49 | 0.31 | -149 | 0.35 |
| 81 | 九曲(2) | 440 | 7.43 | 0.18 | -146 | 0.01 |
| 82 | 大樹(1) | 557 | 6.82 | 0.58 | -57 | 2.33 |
| 83 | 大樹(2) | 208 | 6.82 | 0.35 | -134 | 2.27 |
| 84 | 大樹(3) | 396 | 7.10 | 0.26 | -172 | 0.30 |
| 85 | 大樹(4) | 308 | 7.15 | 0.09 | -191 | 0.01 |
| 86 | 溪埔(1) | 277 | 6.55 | 0.67 | 60 | 4.06 |
| 87 | 溪埔(2) | 275 | 6.83 | 0.85 | 75 | 0.23 |
| 88 | 溪埔(3) | 375 | 7.20 | 0.36 | -115 | 1.14 |
| 89 | 內埔(1) | 361 | 7.43 | 0.89 | 85 | 1.48 |
| 90 | 內埔(2) | 446 | 7.47 | 0.23 | -148 | 0.34 |
| 91 | 西勢(1) | 523 | 7.50 | 1.15 | 64 | 1.66 |
| 92 | 西勢(2) | 472 | 7.67 | 0.39 | -116 | 0.73 |
| 93 | 西勢(3) | 822 | 7.21 | 0.15 | -171 | 0.32 |
| 94 | 西勢(4) | 555 | 7.41 | 0.08 | -165 | 2.92 |
| 95 | 老埤(1) | 195 | 6.52 | 4.21 | 151 | 2.15 |
| 96 | 老埤(2) | 402 | 7.42 | 0.28 | -204 | 0.32 |
| 97 | 建興(1) | 639 | 7.31 | 5.63 | 179 | 5.85 |
| 98 | 建興(2) | 484 | 7.52 | 4.69 | 112 | 3.09 |
| 99 | 繁華(1) | 640 | 7.41 | 3.65 | 156 | 4.63 |

表 4.2-5 100-101 年度地下水之溶氧等基本水質(續)

| 編號 | 站名 | 導電度 | pH | 溶氧 | 氧化還原電位 | 硝態氮 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | μS/cm | | mg/l | mV | mg/l |
| 100 | 繁華(2) | 460 | 7.47 | 3.22 | 145 | 0.82 |
| 101 | 瑪家(1) | 594 | 7.30 | 6.32 | 285 | 2.41 |
| 102 | 瑪家(2) | 481 | 7.28 | 3.21 | 167 | 2.11 |
| 103 | 瑪家(3) | 310 | 7.08 | 1.54 | 172 | 1.10 |
| 104 | 海豐(1) | 721 | 7.42 | 0.24 | -178 | 0.12 |
| 105 | 海豐(2) | 369 | 7.50 | 0.18 | -147 | 1.44 |
| 106 | 海豐(3) | 487 | 7.47 | 0.31 | -145 | 0.07 |
| 107 | 九如(1) | 547 | 7.36 | 0.27 | -148 | 0.39 |
| 108 | 九如(2) | 685 | 7.65 | 0.24 | -264 | 0.06 |
| 109 | 彭厝(1) | 456 | 7.48 | 3.58 | 212 | 4.62 |
| 110 | 彭厝(2) | 315 | 7.40 | 2.87 | 145 | 4.11 |
| 111 | 鹽埔(1) | 597 | 7.48 | 5.98 | 147 | 1.25 |
| 112 | 鹽埔(2) | 421 | 7.38 | 4.78 | 175 | 3.80 |
| 113 | 里港(1) | 546 | 7.42 | 4.98 | 145 | 1.88 |
| 114 | 里港(2) | 598 | 7.55 | 0.14 | -147 | 0.41 |
| 115 | 關福(1) | 453 | 7.42 | 3.57 | 158 | 0.84 |
| 116 | 關福(2) | 384 | 7.48 | 0.32 | -174 | 0.29 |
| 117 | 新南(1) | 582 | 7.54 | 4.65 | 174 | 3.19 |
| 118 | 新南(2) | 521 | 7.76 | 6.58 | 199 | 1.45 |
| 119 | 高樹(1) | 572 | 7.46 | 6.45 | 145 | 0.77 |
| 120 | 高樹(2) | 539 | 7.43 | 2.57 | 152 | 1.09 |
| 121 | 泰山(1) | 225 | 6.97 | 3.72 | 188 | 4.63 |
| 122 | 泰山(2) | 195 | 7.06 | 5.44 | 225 | 1.37 |
| 123 | 土庫 | 621 | 7.28 | 0.11 | -174 | 0.02 |
| 124 | 吉洋 | 776 | 7.65 | 0.29 | -157 | 3.50 |
| 125 | 吉洋(1) | 597 | 7.58 | 0.01 | -135 | 1.05 |
| 126 | 吉洋(1) | 574 | 7.72 | 0.23 | -174 | 0.43 |
| 127 | 中州(1) | 554 | 7.53 | 0.21 | -142 | 1.45 |
| 128 | 中州(2) | 591 | 7.62 | 0.24 | -124 | 0.49 |
| 129 | 美濃(1) | 550 | 7.75 | 0.61 | -87 | 0.64 |
| 130 | 美濃(2) | 568 | 7.34 | 0.24 | -75 | 1.72 |
| 131 | 旗山(1) | 901 | 7.08 | 0.35 | -144 | 6.75 |
| 132 | 旗山(2) | 512 | 7.44 | 0.25 | -114 | 0.36 |

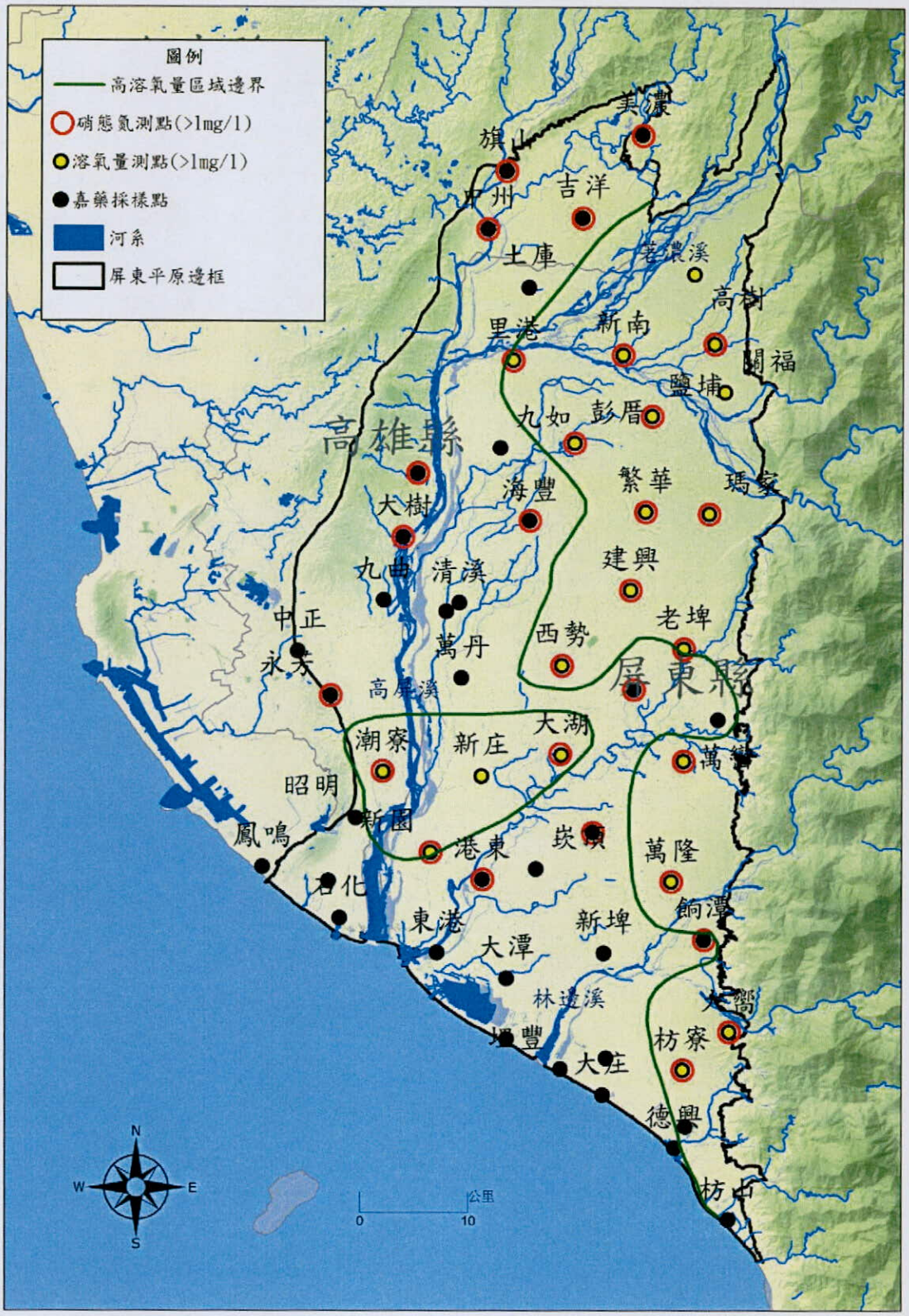



圖 4.2-5 屏東平原地下水之溶氧與硝態氮濃度分布，綠色線以東為溶氧大於 1mg/l 的區域

## 二、扇頂水質地化特性

扇頂地下水水之主要離子成份如表 4.2-6，離子百分比如表 4.2-7。扇頂地下水總數 26 樣本中大都以碳酸氫鈣水質為主(圖 4.2-6)，碳酸氫根約占 50-70%、鈣離子約占 50-75%。只有 4 個樣本有明顯不同，其中枋寮二以碳酸氫鈉為主，碳酸氫根 77%、鈉離子 86%；萬隆(2)、萬鑾(2)及吉洋(2)以以碳酸氫鈣鈉為主，碳酸氫根 70-96%、鈣離子 30-60%、鈉離子 30-50%。

此現象應為陽離子交換的結果。地下水補注後，因流徑變長，水中的鈣離子會與地層中的鈉離子交換，因二價的陽離子，比一價的鈉離子更容易被地層吸附。萬隆(2)、萬鑾(2)及吉洋(2)的深度都比一號井來得深，因此流徑也都比較長，所以可能發生陽離子交換作用。

表 4.2-6 扇頂地下水之主要離子成份(mg/l)

| 編號 | 井名 | 導電度 | 碳酸氫根 | 氯離子 | 硫酸根 | 鈣離子 | 鎂離子 | 鈉離子 | 鉀離子 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 枋寮(1) | 406 | 197 | 7.20 | 39.8 | 51.9 | 22.6 | 9.30 | 1.90 |
| 9 | 枋寮(2) | 416 | 198 | 15.8 | 25.7 | 9.20 | 2.70 | 96.7 | 2.20 |
| 16 | 大響(1) | 260 | 97 | 4.30 | 27.7 | 36.9 | 11.80 | 6.20 | 2.10 |
| 17 | 大響(2) | 260 | 102 | 4.40 | 28.3 | 35.0 | 11.40 | 8.70 | 2.10 |
| 60 | 萬隆(1) | 308 | 120 | 4.30 | 39.2 | 51.2 | 11.70 | 5.50 | 1.70 |
| 61 | 萬隆(2) | 329 | 132 | 6.00 | 33.1 | 26.6 | 11.40 | 33.9 | 1.30 |
| 62 | 萬巒(1) | 456 | 161 | 7.70 | 39.1 | 68.7 | 19.80 | 10.8 | 3.10 |
| 63 | 萬巒(2) | 453 | 254 | 4.60 | 1.80 | 46.1 | 10.50 | 52.4 | 2.70 |
| 97 | 建興(1) | 670 | 282 | 8.70 | 63.4 | 107 | 21.10 | 13.7 | 1.90 |
| 98 | 建興(2) | 431 | 147 | 4.90 | 68.4 | 76.2 | 13.00 | 8.60 | 2.60 |
| 99 | 繁華(1) | 497 | 173 | 6.50 | 64.5 | 85.4 | 15.60 | 8.00 | 1.40 |
| 100 | 繁華(2) | 421 | 166 | 4.00 | 59.9 | 65.2 | 14.80 | 14.1 | 1.60 |
| 101 | 瑪家(1) | 428 | 192 | 5.80 | 74.0 | 62.4 | 18.40 | 8.30 | 1.80 |
| 102 | 瑪家(2) | 374 | 141 | 4.50 | 66.3 | 60.9 | 13.10 | 8.40 | 3.80 |
| 103 | 瑪家(3) | 392 | 133 | 4.30 | 68.4 | 66.5 | 11.90 | 8.50 | 1.60 |
| 109 | 彭厝(1) | 412 | 134 | 5.90 | 57.1 | 66.7 | 14.80 | 8.50 | 1.40 |
| 110 | 彭厝(2) | 270 | 94.0 | 4.90 | 30.5 | 40.0 | 9.30 | 10.3 | 1.60 |
| 111 | 鹽埔(1) | 382 | 131 | 4.10 | 63.8 | 63.7 | 14.10 | 6.40 | 1.20 |
| 112 | 鹽埔(2) | 339 | 111 | 4.40 | 48.5 | 51.2 | 13.70 | 7.50 | 1.20 |
| 117 | 新南(1) | 529 | 198 | 6.90 | 92.3 | 91.3 | 16.10 | 14.3 | 1.70 |
| 118 | 新南(2) | 485 | 163 | 5.50 | 86.9 | 82.2 | 14.90 | 13.3 | 1.70 |
| 119 | 高樹(1) | 588 | 189 | 7.50 | 123 | 102.1 | 18.00 | 15.5 | 1.60 |
| 120 | 高樹(2) | 534 | 168 | 6.60 | 106 | 90.5 | 17.00 | 14.3 | 3.00 |
| 124 | 吉洋 | 810 | 324 | 11.5 | 112 | 148.2 | 21.30 | 19.1 | 3.90 |
| 125 | 吉洋(1) | 516 | 182 | 6.90 | 93.2 | 86.3 | 16.10 | 16.4 | 1.80 |
| 126 | 吉洋(2) | 534 | 227 | 8.50 | 60.4 | 70.0 | 10.40 | 50.6 | 3.20 |

導電度 μS/cm 25℃

表 4.2-7 扇頂地下水之主要離子成份百分比

| 編號 | 井名 | 碳酸氫根 | 氯離子 | 硫酸根 | 鈣離子 | 鎂離子 | 鈉鉀離子 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 枋寮(1) | 76% | 5% | 19% | 53% | 38% | 9% |
| 9 | 枋寮(2) | 77% | 11% | 13% | 9% | 5% | 86% |
| 16 | 大響(1) | 70% | 5% | 25% | 59% | 31% | 10% |
| 17 | 大響(2) | 70% | 5% | 25% | 56% | 30% | 14% |
| 60 | 萬隆(1) | 68% | 4% | 28% | 67% | 26% | 7% |
| 61 | 萬隆(2) | 72% | 6% | 23% | 35% | 25% | 40% |
| 62 | 萬巒(1) | 72% | 6% | 22% | 61% | 29% | 10% |
| 63 | 萬巒(2) | 96% | 3% | 1% | 42% | 16% | 42% |
| 97 | 建興(1) | 75% | 4% | 21% | 69% | 23% | 8% |
| 98 | 建興(2) | 61% | 3% | 36% | 71% | 20% | 8% |
| 99 | 繁華(1) | 65% | 4% | 31% | 72% | 22% | 6% |
| 100 | 繁華(2) | 67% | 3% | 31% | 63% | 24% | 13% |
| 101 | 瑪家(1) | 65% | 3% | 32% | 62% | 30% | 8% |
| 102 | 瑪家(2) | 60% | 3% | 36% | 66% | 24% | 10% |
| 103 | 瑪家(3) | 59% | 3% | 38% | 70% | 21% | 9% |
| 109 | 彭厝(1) | 62% | 5% | 33% | 67% | 25% | 8% |
| 110 | 彭厝(2) | 67% | 6% | 27% | 61% | 24% | 15% |
| 111 | 鹽埔(1) | 60% | 3% | 37% | 68% | 25% | 7% |
| 112 | 鹽埔(2) | 62% | 4% | 34% | 63% | 28% | 9% |
| 117 | 新南(1) | 61% | 4% | 36% | 69% | 20% | 10% |
| 118 | 新南(2) | 58% | 3% | 39% | 69% | 21% | 10% |
| 119 | 高樹(1) | 53% | 4% | 44% | 70% | 20% | 10% |
| 120 | 高樹(2) | 54% | 4% | 43% | 68% | 21% | 11% |
| 124 | 吉洋 | 67% | 4% | 29% | 73% | 18% | 9% |
| 125 | 吉洋(1) | 58% | 4% | 38% | 67% | 21% | 12% |
| 126 | 吉洋(2) | 71% | 5% | 24% | 53% | 13% | 34% |

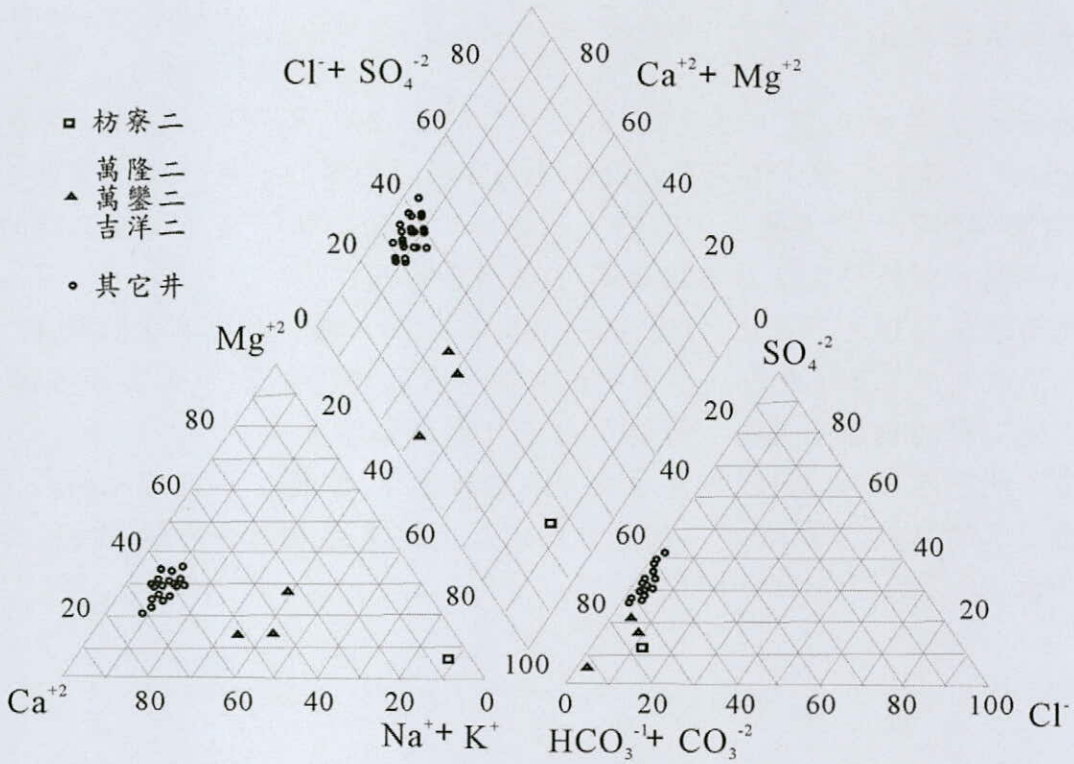



圖 4.2-6 扇頂地下水之主成份三角圖

## 三、地面水之水質

地面水的基本水質，溫度約 24-28℃、pH 約 7.1-7.9、氧化還原電位約 195-333mV、導電度約 156-773 μS/cm(表 4.2-8)。主要離子成分顯示，以碳酸氫鈣為主(圖 4.2-7)，只有萬金、萬巒、西方與來義的鈉離子稍高，前三點的硝酸鹽濃度也高，可能受生活汙水排放影響(表 4.2-9)。

地面水與扇頂地下水比較(圖 4.2-8；表 4.2-10)，地下水的硫酸根偏高，可能受到化學肥料的影響，或是沉積物中板岩屑含有的硫化金屬(例如黃鐵礦)氧化的結果；地面水的鈉離子偏高，可能是生活汙水的影響。

扇頂地下水中的溶氧及硝態氮應來自於地面水，根據本年度的地面水採樣，顯示地面水的溶氧約 3-7mg/l；硝態氮的濃度則以東港溪上游明顯濃度較高，約 1.4-3.3mg/l、其餘都在 1mg/l 以下。

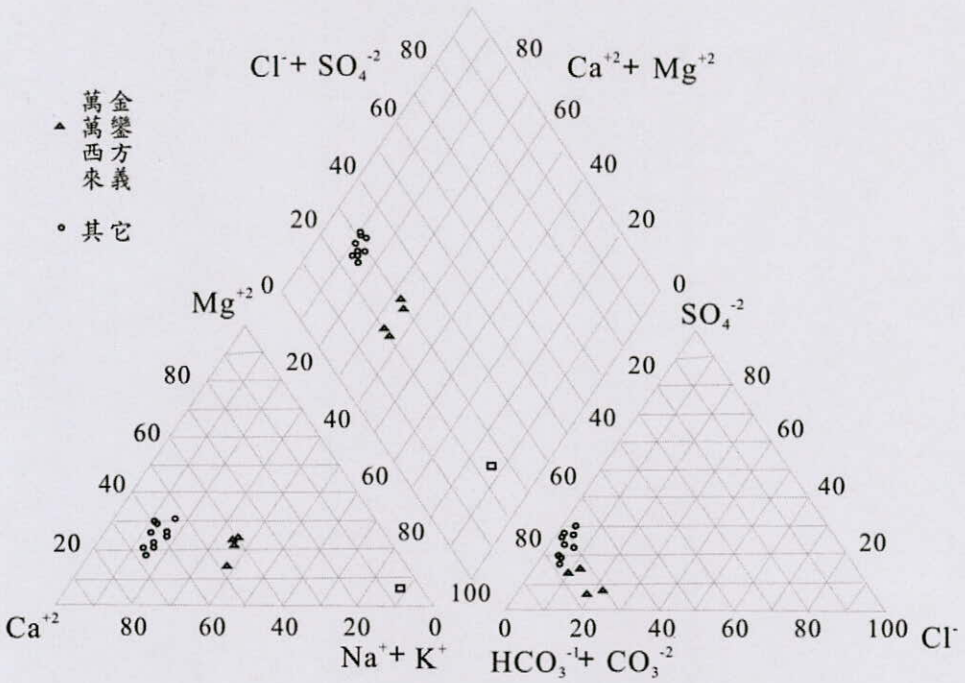



圖 4.2-7 地面水之主要離子分類

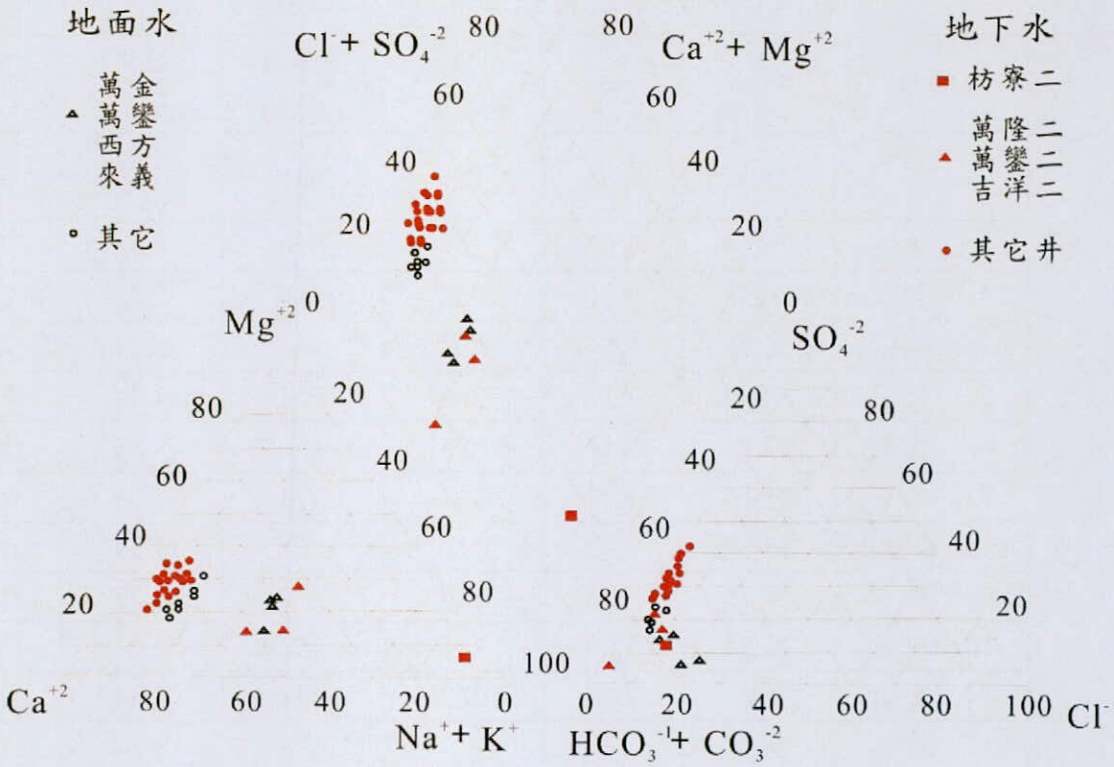



圖 4.2-8 地面水與地下水之主要離子

表 4.2-8 地面水之基本水質(2012 年)

| | 站名 | 溫度℃ | pH | 氧化還原電位 mV | 導電度 μS/cm | 溶氧 mg/l | 備註 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第一次採樣 3 月 | 1. 高美 | 25.18 | 7.33 | 195 | 635 | 6.23 | 溝渠 |
| | 2. 吉安 | 25.24 | 7.85 | 257 | 650 | 6.32 | 溝渠 |
| | 3. 福田 | 26.38 | 7.66 | 258 | 586 | 5.78 | 溝渠 |
| | 4. 山地門 | 26.75 | 7.54 | 263 | 564 | 6.14 | 隘寮溪 |
| | 5. 萬安 | 23.45 | 7.21 | 286 | 262 | 4.44 | 東港溪 |
| | 6. 文樂 | 27.23 | 7.14 | 296 | 156 | 5.75 | 林邊溪 |
| | 7. 萬金 | 25.15 | 7.74 | 333 | 773 | 4.95 | 東港溪 |
| | 8. 萬巒北 | 25.57 | 7.32 | 312 | 462 | 4.54 | 東港溪 |
| | 9. 西方 | 24.75 | 7.46 | 319 | 272 | 5.32 | 東港溪 |
| | 10. 來義 | 24.74 | 7.63 | 241 | 457 | 4.37 | 林邊溪 |
| | 11. 力力 | 26.62 | 7.48 | 282 | 448 | 5.34 | 力力溪 |
| | 12. 口社 | 無水 | | | | | 口社溪 |
| 第二次採樣 9 月 | 1. 高美 | 26.75 | 7.11 | 174 | 578 | 6.47 | 溝渠 |
| | 2. 吉安 | 28.32 | 7.78 | 268 | 514 | 6.58 | 溝渠 |
| | 3. 福田 | 28.45 | 7.62 | 219 | 574 | 5.46 | 溝渠 |
| | 4. 山地門 | 27.12 | 7.67 | 273 | 532 | 6.54 | 隘寮溪 |
| | 5. 萬安 | 28.21 | 7.35 | 284 | 247 | 4.12 | 東港溪 |
| | 6. 文樂 | 28.46 | 7.17 | 294 | 177 | 5.33 | 林邊溪 |
| | 7. 萬金 | 27.62 | 7.72 | 387 | 762 | 4.75 | 東港溪 |
| | 8. 萬巒北 | 26.47 | 7.82 | 346 | 475 | 4.47 | 東港溪 |
| | 9. 西方 | 26.78 | 7.57 | 341 | 287 | 5.67 | 東港溪 |
| | 10. 來義 | 25.26 | 7.49 | 247 | 491 | 4.55 | 林邊溪 |
| | 11. 力力 | 25.19 | 7.77 | 269 | 473 | 5.17 | 力力溪 |
| | 12. 口社 | 27.44 | 7.61 | 157 | 314 | 6.47 | 口社溪 |

表 4.2-9 地面水之硝態氮濃度(mg/l)

| 站名 | 2012 年 3 月 | 2012 年 9 月 | 備註 |
|---|---|---|---|
| 1. 高美 | 0.32 | 0.77 | 溝渠 |
| 2. 吉安 | 0.24 | 0.45 | 溝渠 |
| 3. 福田 | 0.16 | 0.98 | 溝渠 |
| 4. 山地門 | <0.05 | 0.58 | 隘寮溪 |
| 5. 萬安 | 1.29 | 1.74 | 東港溪 |
| 6. 文樂 | 0.57 | 0.32 | 林邊溪 |
| 7. 萬金 | 3.46 | 2.47 | 東港溪 |
| 8. 萬巒北 | 2.38 | 2.74 | 東港溪 |
| 9. 西方 | 2.29 | 1.36 | 東港溪 |
| 10. 來義 | 0.61 | 0.24 | 林邊溪 |
| 11. 力力 | 0.24 | 0.41 | 力力溪 |
| 12. 口社 | 無水 | 0.44 | 口社溪 |

表 4.2-10 主要離子成分

| | 地名 | 導電度 | 碳酸氫根 | 氯離子 | 硫酸根 | 鈣離子 | 鎂離子 | 鈉離子 | 鉀離子 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第一次 4 月 | 高美 | 635 | 255 | 10.6 | 66.1 | 85.4 | 13.4 | 18.6 | 2.7 |
| | 吉安 | 650 | 237 | 8.1 | 55.7 | 71.9 | 11.4 | 17.6 | 2.7 |
| | 福田 | 586 | 257 | 11.9 | 60.3 | 75.4 | 13.8 | 17.2 | 2.7 |
| | 山地門 | 564 | 220 | 12.1 | 61.5 | 78.4 | 13.7 | 14.8 | 2.7 |
| | 萬安 | 262 | 115 | 12.9 | 25.9 | 30.7 | 11.6 | 7.1 | 1.9 |
| | 文樂 | 156 | 55 | 3.6 | 9.4 | 14.9 | 1.7 | 2.9 | 0.7 |
| | 萬金 | 773 | 390 | 14.8 | 55.4 | 55.9 | 22.6 | 60.7 | 3.4 |
| | 萬巒北 | 462 | 256 | 14.3 | 31.8 | 45.2 | 13.5 | 45.1 | 3.7 |
| | 西方 | 272 | 115 | 9.9 | 25.4 | 35.1 | 4.8 | 18.6 | 2.4 |
| | 來義 | 457 | 185 | 9.7 | 35.7 | 35.7 | 11.4 | 36.1 | 2.1 |
| | 力力 | 448 | 185 | 9.3 | 30.7 | 51.4 | 14.2 | 9.8 | 2.4 |
| | 口社 | 無水 | | | | | | | |
| 第二次 9 月 | 高美 | 578 | 255 | 10.4 | 55.4 | 65.8 | 13.7 | 18.4 | 2.5 |
| | 吉安 | 514 | 230 | 8.57 | 55.7 | 61 | 9.47 | 17.6 | 2.5 |
| | 福田 | 574 | 256 | 11.6 | 60.8 | 75.1 | 14.7 | 14.6 | 2.47 |
| | 山地門 | 532 | 215 | 13.6 | 62.1 | 77.7 | 12.5 | 15.6 | 2.1 |
| | 萬安 | 247 | 128 | 15.9 | 26.4 | 29.4 | 12.2 | 9.7 | 2.7 |
| | 文樂 | 177 | 74.9 | 4.3 | 11.1 | 14.9 | 6.7 | 8.1 | 2.8 |
| | 萬金 | 762 | 382 | 14.6 | 47.3 | 64.2 | 21 | 55.3 | 3.7 |
| | 萬巒北 | 475 | 235 | 13.7 | 17.3 | 32.7 | 10.9 | 29.1 | 5.7 |
| | 西方 | 287 | 119 | 11.9 | 27.6 | 19.4 | 9.15 | 19.7 | 2.74 |
| | 來義 | 491 | 230 | 14.6 | 30.8 | 39.6 | 12.3 | 27.8 | 3.2 |
| | 力力 | 473 | 259 | 10.3 | 26.5 | 47.8 | 13.3 | 13.4 | 3.6 |
| | 口社 | 314 | 147 | 10.8 | 15.4 | 29.6 | 15.4 | 8.7 | 1.4 |

導電度 μS/cm at 25℃、其餘 mg/l

隘寮溪溪水的導電度變化：根據環保署位於隘寮沖積扇扇頂的隘寮堰監測數據，溪水的導電度約 200-700 μS/cm(圖 4.2-9)，導電度有明顯的季節變化，雨季的導電度明顯較低，應是地面逕流與雨水稀釋所致；旱季的導電度較高—應是山區地下水流入河水。隘寮溪由扇頂往下游，共有 5 個地面水的監測站，位於扇頂區的隘寮堰與南華橋(圖 4.2-10)，導電度的變化相近，但進入中下游後(里港橋等3站)，因有其他河流匯入(里港橋有荖濃溪匯入)，或有都市排水匯入(九如橋及昌濃橋)，溪水的導電度漸漸升高。

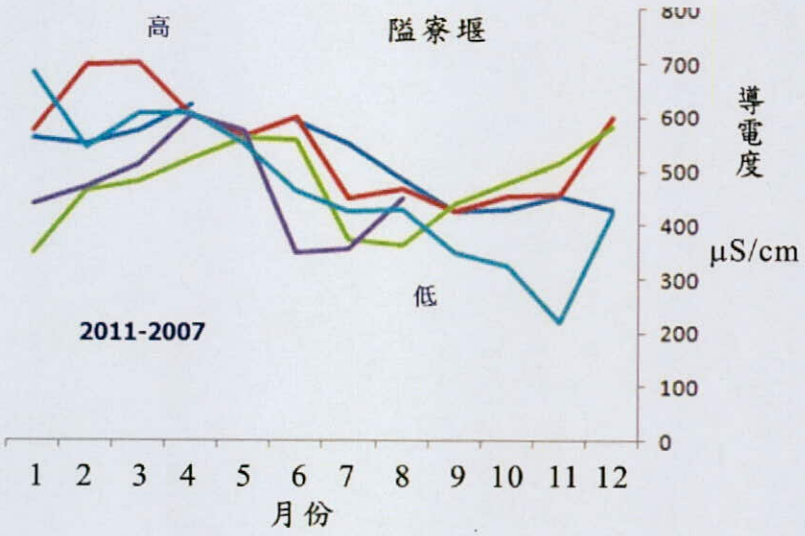



圖 4.2-9 隘寮堰 2007-2011 年地面水之導電度

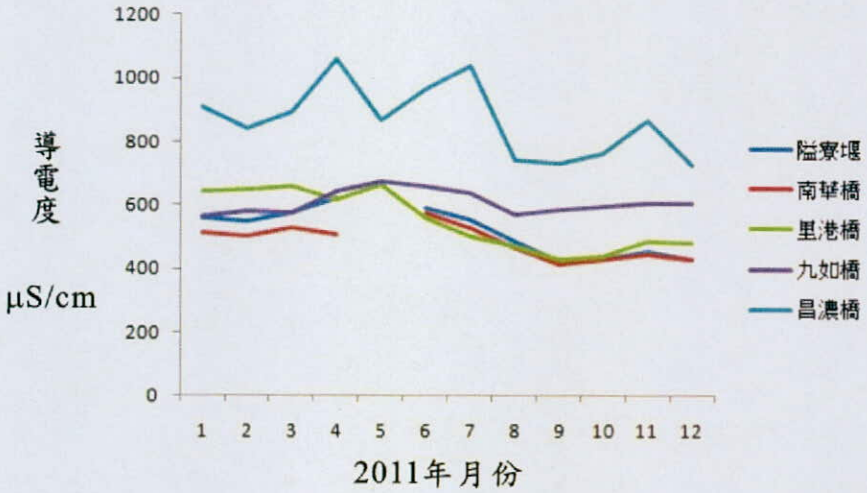



圖 4.2-10 隘寮溪-高屏溪流域地面水之導電度

比較隘寮沖積扇的地下水與溪水，發現兩者數值接近。2011 年隘寮堰的導電度為 420-620 μS/cm、平均為 516 μS/cm(圖 4.2-11)，鄰近的瑪家站地下水為 594-481-310 μS/cm(分別為第一、二、三含水層)，可以推論隘寮沖積扇的地下水應是隘寮溪補注為主，但是為何瑪家站的地下水有往深層變淡的趨勢，仍不清楚。

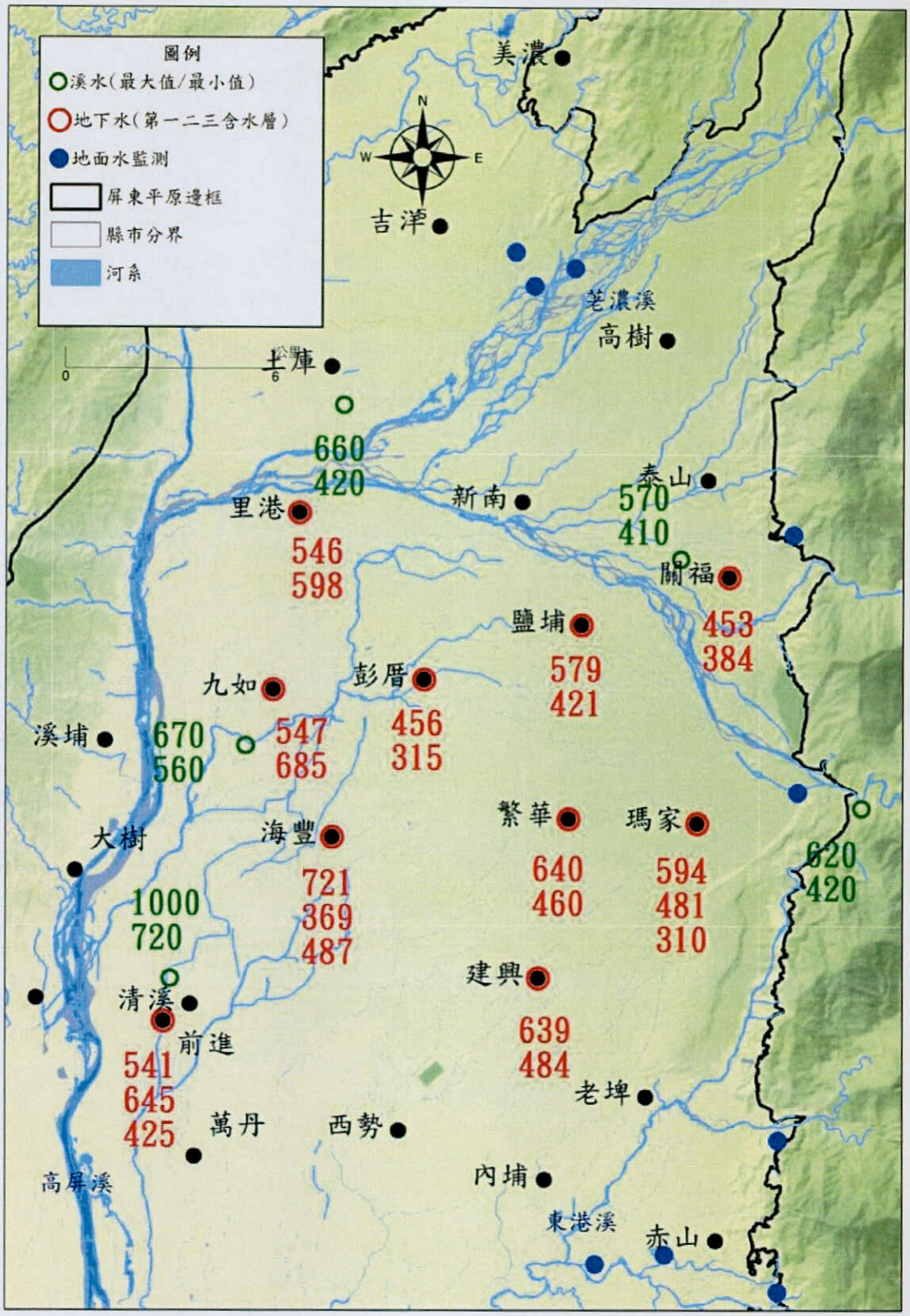



圖 4.2-11 隘寮溪流域地面水與地下水之導電度

## 四、地下水歷年導電度

扇頂區的地下水利年變化：地下水歷年的導電度如表 4.2-11 至表 4.2-13。可分為四部份討論：荖濃溪地區導電度約 400-1000 μS/cm(圖 4.2-12)、隘寮溪地區 200-700 μS/cm(圖 4.2-13)、林邊溪 200-500 μS/cm(圖 4.2-14)、力力溪 200-550 μS/cm(圖 4.2-14)。屏東扇頂區的地下水導電度都較低，只有一口井導電度偏高—吉洋，2011 年的導電度為 776 μS/cm，其餘井都小於 750 μS/cm(灌溉用水標準)。

經由 Mann-Kendall 趨勢統計，有 2 口井的導電度有增加的趨勢—大響(1)及瑪家(1)；有 2 口井的導電度有減少的趨勢—枋寮(2)及鹽埔(2)。比照濁水溪扇頂，屏東扇頂地區並沒有明顯的導電度升高現象(表 4.2-14)。

表 4.2-11 荖濃溪沖積扇地下水歷年導電度

| 年 | 新南(1) | 新南(2) | 高樹(1) | 高樹(2) | 吉洋(舊) | 吉洋(1) | 吉洋(2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1998 | 459 | 485 | 450 | 425 | 513 | 436 | 439 |
| 1999 | | | 497 | 474 | 771 | | |
| 2000 | 589 | 510 | 562 | 496 | 766 | 545 | 569 |
| 2001 | 566 | 505 | 553 | 498 | 993 | 513 | 556 |
| 2002 | 536 | 503 | 476 | 464 | 749 | 492 | 544 |
| 2003 | 432 | 485 | 545 | 481 | 818 | 494 | 522 |
| 2004 | 540 | 475 | 511 | 512 | 802 | 515 | 530 |
| 2005 | 526 | 468 | 561 | 503 | 806 | 516 | 535 |
| 2007 | 566 | 482 | 430 | 446 | | 458 | 440 |
| 2009 | 490 | 424 | | | 647 | | |
| 2011 | 582 | 521 | 572 | 539 | 776 | 597 | 574 |

表 4.2-12 隘寮溪沖積扇地下水歷年導電度

| 年 | 建興(1) | 建興(2) | 繁華(1) | 繁華(2) | 瑪家(1) | 瑪家(2) | 瑪家(3) | 彭厝(1) | 彭厝(2) | 鹽埔(1) | 鹽埔(2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1998 | 406 | 541 | 463 | 204 | 361 | 348 | 392 | 472 | 321 | 383 | 374 |
| 1999 | 618 | 413 | | | 418 | 397 | 388 | | | 424 | 399 |
| 2000 | 669 | 459 | 551 | 446 | 525 | 429 | 375 | 433 | 290 | 433 | 430 |
| 2001 | 666 | 454 | 544 | 443 | 508 | 444 | 259 | 424 | 283 | 444 | 387 |
| 2002 | 623 | 426 | 537 | 408 | 409 | 412 | 250 | 391 | 275 | 396 | 348 |
| 2003 | 680 | 438 | 478 | 415 | 438 | 412 | 211 | 404 | 267 | 378 | 344 |
| 2004 | 743 | 427 | 469 | 419 | 457 | 412 | 227 | 412 | 270 | 385 | 346 |
| 2005 | 646 | 422 | 462 | 398 | 511 | 408 | 386 | 416 | 278 | 386 | 343 |
| 2007 | | | 442 | 314 | | 389 | 365 | 376 | 257 | 428 | 292 |
| 2009 | 538 | 373 | | | | | | | | | |
| 2011 | 639 | 484 | 640 | 460 | 594 | 481 | 310 | 456 | 315 | 597 | 421 |

表 4.2-13 林邊溪與力力溪沖積扇地下水歷年導電度

| 年 | 枋寮(1) | 枋寮(2) | 大響(1) | 大響(2) | 萬隆(1) | 萬隆(2) | 萬巒(1) | 萬巒(2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1998 | 506 | 541 | 256 | 234 | 259 | 342 | 380 | 447 |
| 1999 | 444 | 489 | 257 | 262 | 326 | 344 | 437 | 444 |
| 2000 | 483 | 531 | 259 | 251 | 337 | 357 | 484 | 486 |
| 2001 | 393 | 491 | 265 | 274 | 344 | 349 | 373 | 476 |
| 2002 | 498 | 497 | 259 | 269 | 322 | 343 | 498 | 467 |
| 2003 | 448 | 474 | 260 | 252 | 293 | 328 | 456 | 476 |
| 2004 | 470 | 492 | 269 | 257 | 304 | 330 | 460 | 461 |
| 2005 | 459 | 463 | 262 | 264 | 317 | 333 | 459 | 455 |
| 2007 | 497 | 420 | 325 | 259 | 355 | 334 | 413 | 423 |
| 2009 | | | 177 | 187 | 288 | 309 | | |
| 2011 | 402 | 487 | 415 | 298 | 332 | 345 | 449 | 487 |

表 4.2-14 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 枋寮(1) | 10 | 393 | 506 | -7 | -0.5 | 0.59 | 無 |
| 枋寮(2) | 10 | 420 | 541 | -25 | -2.1 | 0.03 | 減少 |
| 大響(1) | 11 | 177 | 415 | 28 | 2.1 | 0.03 | 增加 |
| 大響(2) | 11 | 187 | 298 | 9 | 0.6 | 0.53 | 無 |
| 萬隆(1) | 11 | 259 | 355 | 3 | 0.1 | 0.88 | 無 |
| 萬隆(2) | 11 | 309 | 357 | -15 | -1.1 | 0.28 | 無 |
| 萬巒(1) | 10 | 373 | 498 | 3 | 0.18 | 0.86 | 無 |
| 萬巒(2) | 10 | 423 | 487 | 16 | 1.3 | 0.18 | 無 |
| 建興(1) | 10 | 406 | 680 | 7 | 0.5 | 0.59 | 無 |
| 建興(2) | 10 | 373 | 541 | -13 | -1 | 0.28 | 無 |
| 繁華(1) | 9 | 463 | 640 | -10 | -0.9 | 0.35 | 無 |
| 繁華(2) | 9 | 204 | 460 | -1 | -1.5 | 0.64 | 無 |
| 瑪家(1) | 9 | 361 | 594 | 18 | 1.7 | 0.08 | 增加 |
| 瑪家(2) | 10 | 348 | 481 | 6 | 0.4 | 0.65 | 無 |
| 瑪家(3) | 10 | 211 | 392 | -17 | -1.4 | 0.15 | 無 |
| 彭厝(1) | 9 | 376 | 472 | -10 | -0.9 | 0.35 | 無 |
| 彭厝(2) | 9 | 257 | 321 | -14 | -1.3 | 0.17 | 無 |
| 鹽埔(1) | 10 | 378 | 597 | 9 | 0.7 | 0.47 | 無 |
| 鹽埔(2) | 10 | 292 | 430 | -19 | -1.6 | 0.10 | 減少 |
| 新南(1) | 10 | 432 | 598 | 2 | 0.09 | 0.92 | 無 |
| 新南(2) | 10 | 424 | 521 | -16 | -1.3 | 0.17 | 無 |
| 高樹(1) | 10 | 430 | 572 | 9 | 0.7 | 0.47 | 無 |
| 高樹(2) | 10 | 425 | 539 | 19 | 1.6 | 0.11 | 無 |
| 吉洋 | 10 | 513 | 993 | 5 | 0.3 | 0.72 | 無 |
| 吉洋(1) | 9 | 436 | 597 | 10 | 0.9 | 0.34 | 無 |
| 吉洋(2) | 9 | 439 | 574 | 1 | 0.2 | 0.95 | 無 |

數據時間：1998－2011

S 統計值(Mann Kendall Statistic)，S 為正值為增加趨勢；負值為減少趨勢

Z 標準化(Normalized Test Statistic)

趨勢判定：90%顯著區間(level of significance)

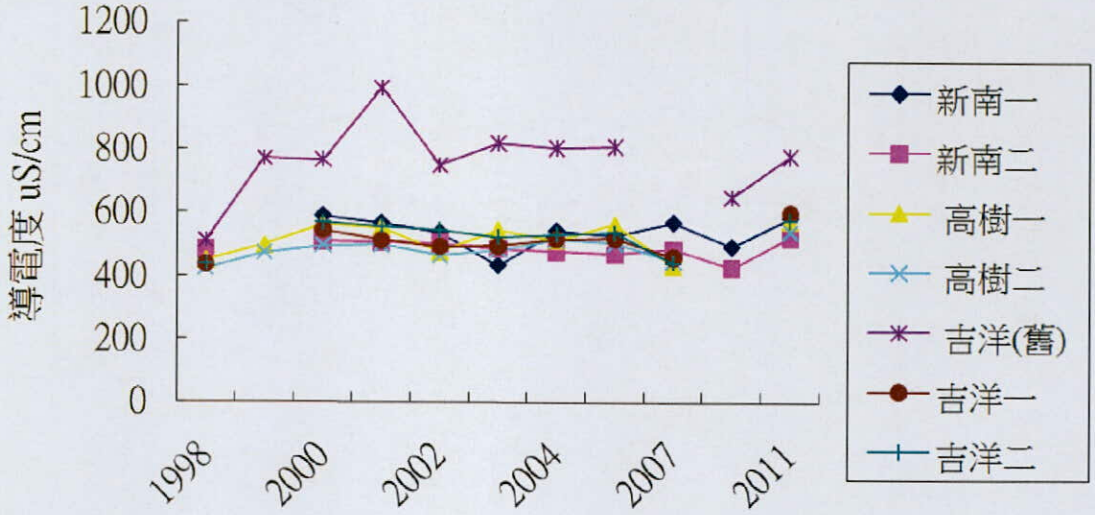
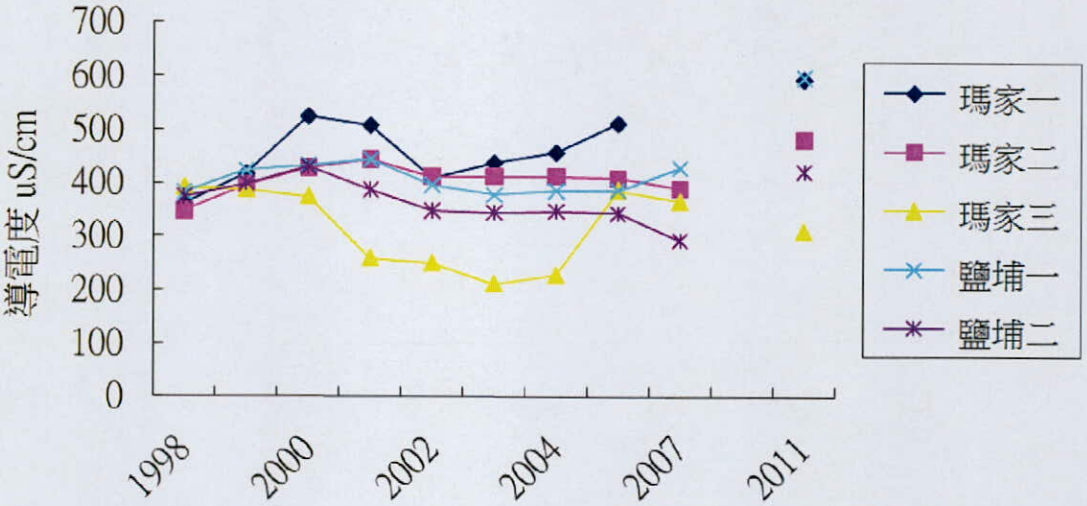



圖 4.2-12 荖濃溪沖積扇地下水歷年導電度



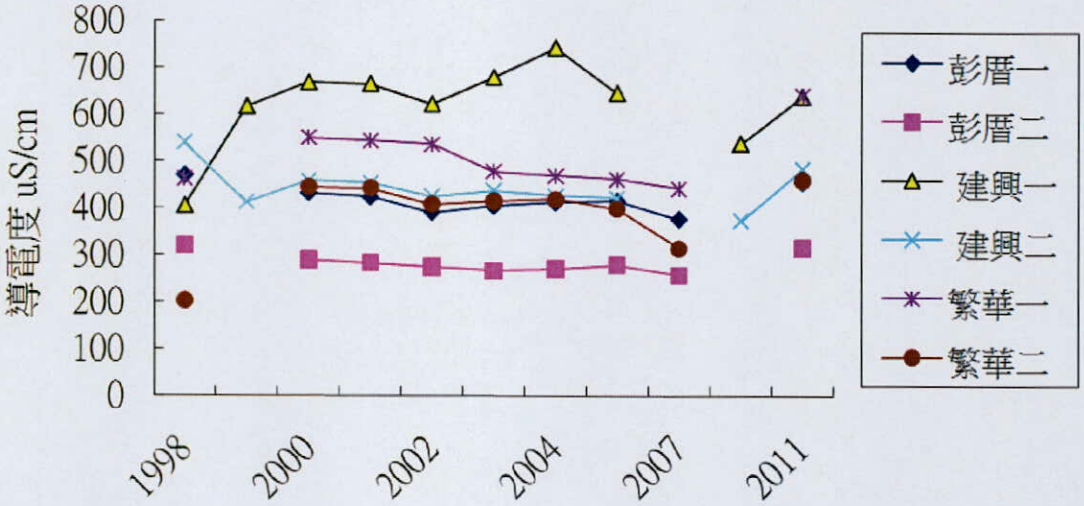




圖 4.2-13 隘寮溪沖積扇地下水歷年導電度

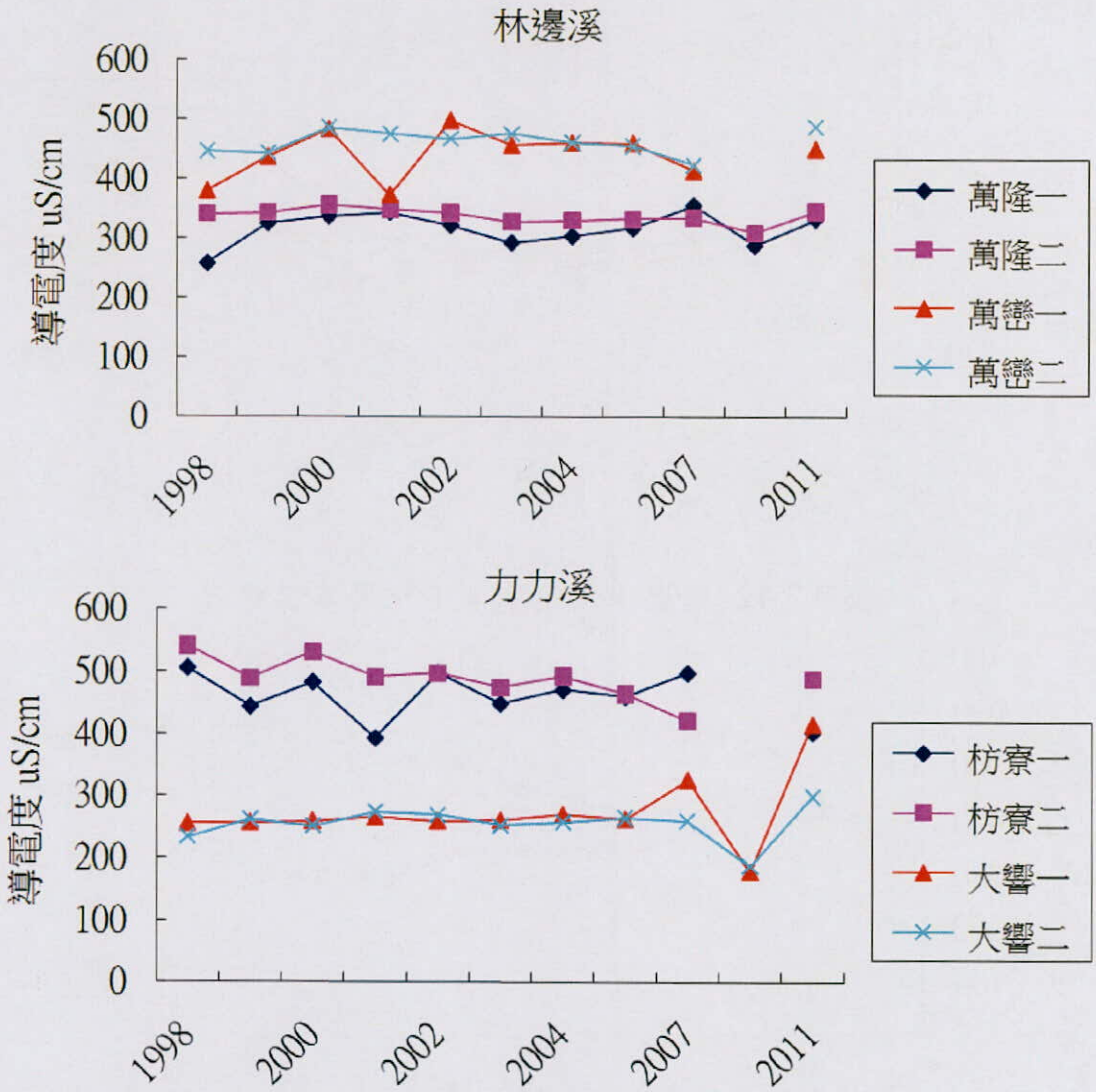
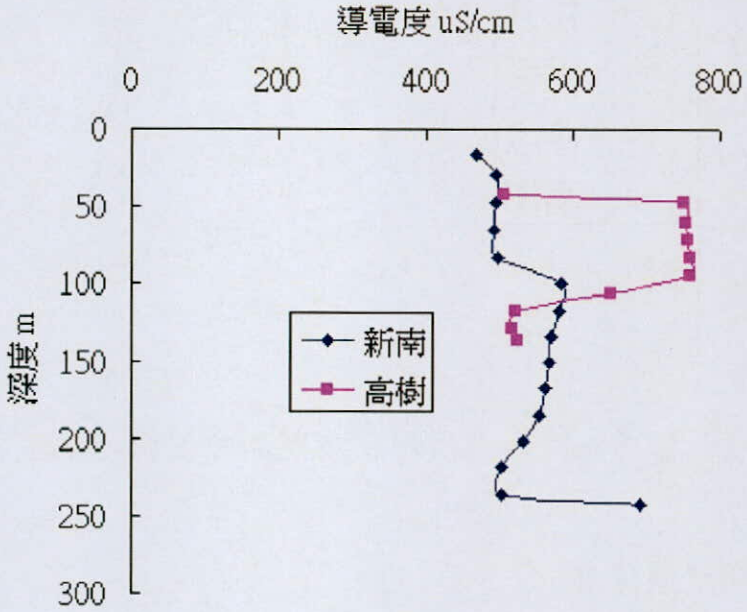



圖 4.2-14 林邊溪及力力溪沖積扇地下水歷年導電度

## 五、導電度垂向剖面

觀測井的垂向導電度分布，可能反應出不同的水質來源，荖濃溪地區垂向導電度以高樹(2)變化最大，導電度約 450-780 μS/cm、隘寮溪地區以鹽埔變化最大、約 300-580 μS/cm(圖 4.2-15)、林邊溪及力力溪地區以萬隆(2)變化最大、導電度約 220-500 μS/cm(圖 4.2-16)。屏東地區扇頂區的導電度皆不大。



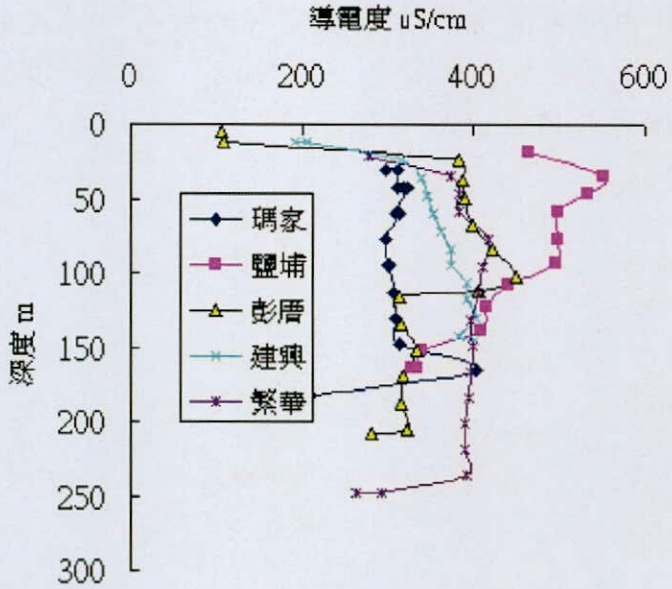




圖 4.2-15 荖濃溪及隘寮溪沖積扇觀測井垂向地下水導電度

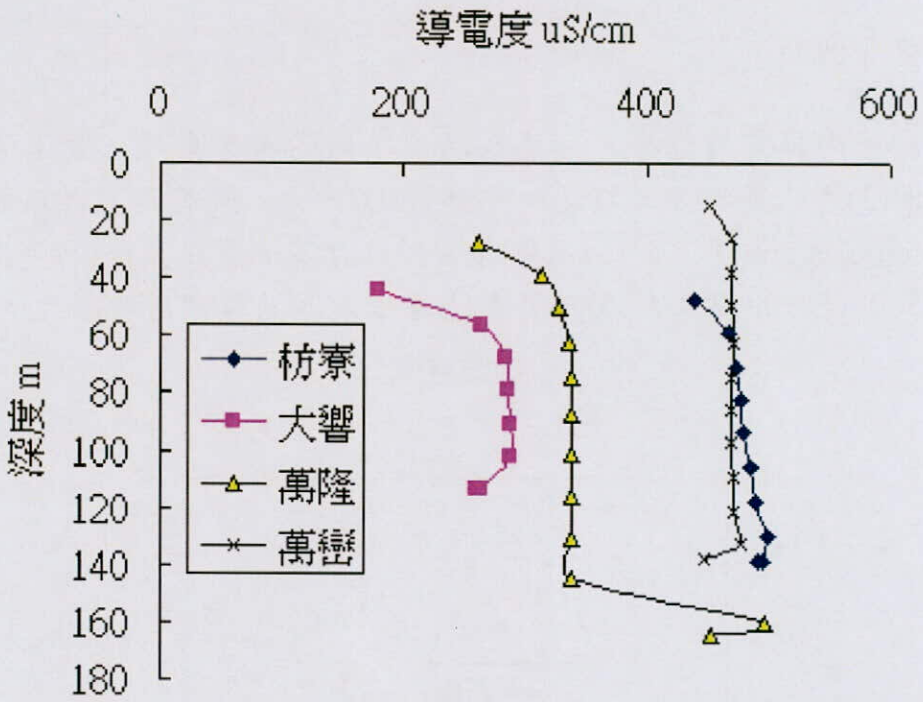



圖 4.2-16 林邊溪及力力溪沖積扇觀測井垂向地下水導電度

## 六、地下水歷年硝酸鹽濃度

地下水歷年的硝態氮濃度如表 4.2-15 至表 4.2-18。2011 年荖濃溪地區以吉洋最高、濃度為 3.50 mg/l；隘寮溪地區以建興一最高、濃度為 5.85 mg/l；林邊溪及力力溪地區以萬巒一最高、濃度為 5.21 mg/l。屏東地區扇頂區的硝態氮濃度皆小於 10mg/l(環保署飲用水源水質標準)。

表 4.2-15 100-101 年之溶氧與硝態氮(mg/l)

| 編號 | 站名 | 溶氧 | 硝態氮 | 編號 | 站名 | 溶氧 | 硝態氮 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 枋山(1) | 1.45 | 1.25 | 34 | 林園三 | 0.35 | 2.92 |
| 2 | 德興(1) | 0.37 | 1.47 | 35 | 昭明一 | 0.23 | 0.16 |
| 3 | 德興(2) | 0.43 | 0.42 | 36 | 昭明二 | 0.48 | 0.13 |
| 4 | 德興(3) | 0.33 | 0.47 | 37 | 昭明三 | 0.32 | 0.12 |
| 5 | 水底寮 | | | 38 | 昭明四 | 0.17 | 0.56 |
| 6 | 大庄(1) | 0.22 | 0.73 | 39 | 鳳鳴一 | 0.15 | 2.19 |
| 7 | 大庄(2) | 0.28 | 0.03 | 40 | 潮寮一 | 0.45 | 0.23 |
| 8 | 枋寮(1) | 2.46 | 1.78 | 41 | 潮寮二 | 1.42 | 1.56 |
| 9 | 枋寮(2) | 3.54 | 0.16 | 42 | 潮寮三 | 1.85 | 1.53 |
| 10 | 塭豐 | | | 43 | 永芳一 | 0.42 | 1.71 |
| 11 | 崎峰(1) | 0.25 | 0.37 | 44 | 永芳二 | <0.2 | 0.24 |
| 12 | 崎峰(2) | 0.22 | 0.65 | 45 | 永芳三 | <0.2 | 0.17 |
| 13 | 崎峰(3) | 0.43 | 0.70 | 46 | 中正一 | 0.22 | 0.10 |
| 14 | 崎峰(4) | 0.35 | 2.64 | 47 | 中正二 | <0.2 | 0.15 |
| 15 | 佳冬(4) | | | 48 | 新庄一 | 1.55 | 0.64 |
| 16 | 大嚮(1) | 6.58 | 3.15 | 49 | 新庄二 | 1.06 | 0.73 |
| 17 | 大嚮(2) | 5.47 | 0.67 | 50 | 新庄三 | <0.2 | 0.39 |
| 18 | 大潭(1) | 0.37 | 1.13 | 51 | 崁頂一 | 0.76 | 0.51 |
| 19 | 大潭(2) | 0.31 | 1.15 | 52 | 崁頂二 | 0.82 | 0.85 |
| 20 | 東港(1) | 0.46 | 0.67 | 53 | 崁頂三 | 0.61 | 0.52 |
| 21 | 東港(2) | 0.32 | 0.80 | 54 | 潮州一 | <0.2 | 0.45 |
| 22 | 東港(3) | 0.44 | 1.20 | 55 | 潮州二 | <0.2 | 0.43 |
| 23 | 東港(4) | 0.13 | 0.59 | 56 | 新埤一 | <0.2 | 0.27 |
| 24 | 石化(1) | 0.28 | 2.44 | 57 | 新埤二 | <0.2 | 0.34 |
| 25 | 石化(2) | 0.37 | 1.34 | 58 | 新埤三 | <0.2 | 0.53 |
| 26 | 港東(1) | <0.2 | 1.14 | 59 | 新埤四 | <0.2 | 0.43 |
| 27 | 港東(2) | <0.2 | 0.18 | 60 | 萬隆一 | 3.52 | 1.11 |
| 28 | 港東(3) | <0.2 | 0.58 | 61 | 萬隆二 | 6.32 | 0.19 |
| 29 | 港東(4) | <0.2 | 0.91 | 62 | 萬巒一 | 4.12 | 5.21 |
| 30 | 新園(1) | 2.75 | 5.66 | 63 | 萬巒二 | <0.2 | 0.83 |
| 31 | 新園(2) | 0.56 | 1.41 | 64 | 赤山一 | 0.32 | 0.85 |
| 32 | 林園(1) | 0.27 | 0.46 | 65 | 赤山二 | 0.21 | 0.33 |
| 33 | 林園(2) | 0.14 | 3.34 | 66 | 赤山三 | <0.2 | 0.21 |

表 4.2-15 100-101 年之溶氧與硝態氮(mg/l)(續)

| 編號 | 站名 | 溶氧 | 硝態氮 | 編號 | 站名 | 溶氧 | 硝態氮 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 67 | 大湖(1) | 0.88 | 0.89 | 100 | 繁華二 | 3.22 | 0.82 |
| 68 | 大湖(2) | 0.64 | 0.67 | 101 | 瑪家一 | 6.32 | 2.41 |
| 69 | 大湖(3) | 4.67 | 5.80 | 102 | 瑪家二 | 3.21 | 2.11 |
| 70 | 大湖(4) | <0.2 | 0.57 | 103 | 瑪家三 | 1.54 | 1.10 |
| 71 | 餉潭(1) | 0.84 | 0.33 | 104 | 海豐一 | 0.24 | 0.12 |
| 72 | 餉潭(2) | 0.67 | 0.35 | 105 | 海豐二 | 0.18 | 1.44 |
| 73 | 萬丹(1) | <0.2 | 0.32 | 106 | 海豐三 | 0.31 | 0.07 |
| 74 | 萬丹(2) | <0.2 | 0.16 | 107 | 九如一 | 0.27 | 0.39 |
| 75 | 萬丹(3) | <0.2 | 0.27 | 108 | 九如二 | 0.24 | 0.06 |
| 76 | 清溪(1) | 0.37 | 0.10 | 109 | 彭厝一 | 3.58 | 4.62 |
| 77 | 清溪(2) | 0.21 | 0.43 | 110 | 彭厝二 | 2.87 | 4.11 |
| 78 | 清溪(3) | 0.45 | 0.21 | 111 | 鹽埔一 | 5.98 | 1.25 |
| 79 | 前進(4) | 0.32 | 0.48 | 112 | 鹽埔二 | 4.78 | 3.80 |
| 80 | 九曲(1) | 0.31 | 0.35 | 113 | 里港一 | 4.98 | 1.88 |
| 81 | 九曲(2) | 0.18 | 0.01 | 114 | 里港二 | 0.14 | 0.41 |
| 82 | 大樹(1) | 0.58 | 2.33 | 115 | 關福一 | 3.57 | 0.84 |
| 83 | 大樹(2) | 0.35 | 2.27 | 116 | 關福二 | 0.32 | 0.29 |
| 84 | 大樹(3) | 0.26 | 0.30 | 117 | 新南一 | 4.65 | 3.19 |
| 85 | 大樹(4) | 0.09 | 0.01 | 118 | 新南二 | 6.58 | 1.45 |
| 86 | 溪埔(1) | 0.67 | 4.06 | 119 | 高樹一 | 6.45 | 0.77 |
| 87 | 溪埔(2) | 0.85 | 0.23 | 120 | 高樹二 | 2.57 | 1.09 |
| 88 | 溪埔(3) | 0.36 | 1.14 | 121 | 泰山一 | 3.72 | 4.63 |
| 89 | 內埔(1) | 0.89 | 1.48 | 122 | 泰山二 | 5.44 | 1.37 |
| 90 | 內埔(2) | 0.23 | 0.34 | 123 | 土庫 | 0.11 | 0.02 |
| 91 | 西勢(1) | 1.15 | 1.66 | 124 | 吉洋 | 0.29 | 3.50 |
| 92 | 西勢(2) | 0.39 | 0.73 | 125 | 吉洋一 | 0.01 | 1.05 |
| 93 | 西勢(3) | 0.15 | 0.31 | 126 | 吉洋二 | 0.23 | 0.43 |
| 94 | 西勢(4) | 0.08 | 2.92 | 127 | 中州一 | 0.21 | 1.45 |
| 95 | 老埤(1) | 4.21 | 3.46 | 128 | 中州二 | 0.24 | 0.49 |
| 96 | 老埤(2) | 0.28 | 0.35 | 129 | 美濃一 | 0.61 | 0.64 |
| 97 | 建興(1) | 5.63 | 5.85 | 130 | 美濃二 | 0.24 | 1.72 |
| 98 | 建興(2) | 4.69 | 3.09 | 131 | 旗山一 | 0.35 | 6.75 |
| 99 | 繁華(1) | 3.65 | 4.63 | 132 | 旗山二 | 0.25 | 0.36 |

表 4.2-16 荖濃溪沖積扇地下水歷年硝態氮濃度(mg/l)

| 井名 | 新南(1) | 新南(2) | 高樹(1) | 高樹(2) | 舊吉洋 | 吉洋(1) | 吉洋(2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1998 | 0.27 | 0.30 | 1.92 | 1.95 | | 0.30 | 0.49 |
| 1999 | | | 2.39 | 1.84 | 8.41 | | |
| 2000 | 5.38 | 1.51 | 2.72 | | 7.42 | 2.41 | <0.05 |
| 2001 | 1.13 | 0.61 | 1.88 | 0.89 | 2.14 | 0.85 | |
| 2002 | 2.18 | 2.65 | 1.61 | 2.15 | 3.80 | 1.09 | |
| 2003 | 3.49 | 1.56 | 4.53 | 1.96 | 5.94 | 1.81 | <0.05 |
| 2004 | 4.05 | 1.50 | 2.85 | 2.96 | 5.23 | 1.82 | <0.05 |
| 2005 | 3.55 | 1.41 | 5.57 | 2.86 | 3.93 | 1.61 | <0.05 |
| 2007 | 4.31 | 1.54 | 2.38 | 1.69 | | 4.30 | <0.05 |
| 2009 | 3.36 | 2.04 | 4.55 | 1.14 | | 1.37 | <0.05 |
| 2011 | 3.19 | 1.45 | 0.77 | 1.09 | 3.50 | 1.05 | 0.43 |

表 4.2-17 隘寮溪沖積扇地下水歷年硝態氮濃度(mg/l)

| 井名 | 建興(1) | 建興(2) | 繁華(1) | 繁華(2) | 瑪家(1) | 瑪家(2) | 瑪家(3) | 彭厝(1) | 彭厝(2) | 鹽埔(1) | 鹽埔(2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1998 | 8.41 | 2.51 | 2.75 | 0.85 | ND | 1.12 | 0.16 | 3.57 | 1.48 | 22.4 | 23.2 |
| 1999 | 12.5 | 0.38 | | | 2.39 | 2.59 | 0.91 | | | 1.87 | 5.98 |
| 2000 | 9.64 | | 6.82 | 0.55 | 3.05 | | | 4.12 | 1.65 | 2.23 | |
| 2001 | 3.69 | | 1.93 | 0.23 | 1.43 | 0.83 | 0.19 | 1.90 | 0.77 | 1.00 | 1.30 |
| 2002 | 5.96 | 2.67 | 4.33 | 0.54 | 1.44 | 2.09 | 0 | 2.61 | 2.39 | 1.50 | 2.34 |
| 2003 | 10.4 | 3.22 | 3.25 | 0.40 | 1.80 | 0.16 | 0 | 4.82 | 2.07 | 0.11 | 1.37 |
| 2004 | 17.3 | 2.67 | 3.38 | 0.66 | 3.10 | 1.69 | 0.30 | 6.08 | 2.75 | 1.52 | 2.88 |
| 2005 | 10.43 | 2.57 | 5.09 | 0.70 | 4.57 | 1.98 | 1.27 | 5.41 | 2.75 | 1.64 | 3.07 |
| 2007 | 6.57 | 2.71 | 6.34 | 0.72 | | 2.57 | 1.47 | 4.58 | 3.99 | 0.80 | 3.03 |
| 2009 | 9.01 | 3.30 | 3.92 | 0.69 | 3.52 | 2.26 | 1.41 | 6.32 | 7.24 | 1.68 | 2.58 |
| 2011 | 5.85 | 3.09 | 4.63 | 0.82 | 2.41 | 2.11 | 1.10 | 4.62 | 4.11 | 1.25 | 3.80 |

表 4.2-18 林邊溪與力力溪沖積扇地下水歷年硝態氮濃度(mg/l)

| 井名 | 枋寮(1) | 枋寮(2) | 大響(1) | 大響(2) | 萬隆(1) | 萬隆(2) | 萬巒(1) | 萬巒(2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1998 | 4.46 | 2.13 | 2.84 | 0.74 | 2.71 | 0.36 | 29.0 | 0.62 |
| 1999 | 3.68 | 0.40 | 0.61 | 0.78 | 3.02 | 0.23 | 8.41 | 0.15 |
| 2000 | 5.76 | | 4.85 | | 2.28 | | 9.45 | |
| 2001 | 1.19 | | 0.30 | 0.36 | 0.59 | | 2.85 | |
| 2002 | 0.45 | | 2.72 | 0.99 | 1.95 | <0.05 | 3.92 | <0.05 |
| 2003 | 2.28 | <0.2 | 0.23 | 0.26 | 1.16 | 2.95 | 8.31 | <0.05 |
| 2004 | 2.93 | 0.85 | 4.30 | 0.56 | 1.39 | 0.26 | 9.80 | 0.19 |
| 2005 | 3.64 | 0.48 | 0.75 | 0.70 | 1.18 | 0.16 | 9.89 | 0.09 |
| 2007 | 4.96 | 0.51 | 3.95 | 0.75 | 0.99 | 0.16 | 10.5 | <0.05 |
| 2009 | 4.86 | 0.51 | 1.76 | 0.83 | 1.17 | 0.16 | 9.49 | <0.05 |
| 2011 | 1.78 | 0.16 | 3.15 | 0.67 | 1.11 | 0.19 | 5.21 | 0.83 |

## 七、沿海地下水鹽化現況

水質鹽化監測以導電度(EC)為監測標準，大於 750 μS/cm 代表該水層已不適合飲用，監測之目的為瞭解鹹水之分布範圍且監測其是否有擴大或減少之趨勢。屏東地區地下水鹽化主要發生在東港沿海(圖 4.2-17 及圖 4.2-18)，深層比淺層還嚴，第 3-2 層(180-240m)鹽水範圍達新園及港東，往內陸約 5-6 km，除大庄站外，沿海岸之地下水皆已鹽化。

統計沿海含水層共 27 口觀測井，從 87 年至 101 年之導電度(表 4.2-18)，前幾年有變鹹、但近年有變淡的趨勢，統計中間值從 2120 μS/cm 增加為 7320 μS/cm，但 2012 年減為 2780 μS/cm。統計平均值從 12948 μS/cm 增加為 16417 μS/cm, 2012 減為 9742 μS/cm。

本區含水層鹽化的原因，應是地下水持續超抽所導致，統計近 14 年來的靜水位(表 4.2-19)顯示，本區低於海平面的水位達 44-68%,塭豐及德興一帶，100m 深的含水層靜水位深達海面下 5-9 m 之間。觀測站如新園(2)及林園(2)，於 87-88 年間從淡水變成鹹水。2012 年水位低於海平面的井較少，約 44%。

表 4.2-19 屏東沿海監測井之歷年導電度(μS/cm)

| 編號 | 井名 | 87 年 | 88 年 | 89 年 | 90 年 | 91 年 | 101 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 德興(1) | 1174 | | 24500 | 18180 | 22900 | 28100 |
| 3 | 德興(2) | 425 | | 699 | 580 | 642 | 2111 |
| 4 | 德興(3) | 2120 | | 6810 | 6720 | 5610 | 3210 |
| 6 | 大庄(1) | 401 | 391 | 414 | 398 | 406 | 846 |
| 7 | 大庄(2) | 280 | 348 | 379 | 372 | 373 | 412 |
| 10 | 塭豐 | 7640 | 5383 | 5700 | 6610 | 4780 | |
| 11 | 崎峰(1) | 21100 | 46960 | 56600 | 53200 | 53600 | 51900 |
| 12 | 崎峰(2) | 2025 | 5593 | 6980 | 5180 | 7440 | 3050 |
| 13 | 崎峰(3) | 1455 | 881 | 861 | 10500 | 7320 | 825 |
| 14 | 崎峰(4) | 1159 | 1406 | 2160 | 1587 | 1712 | 2780 |
| 18 | 大潭(1) | 3700 | 786 | 858 | 764 | 834 | 933 |
| 19 | 大潭(2) | 3620 | 9498 | 11530 | 11220 | 10900 | 15500 |
| 20 | 東港(1) | 35300 | 41160 | 46200 | 42500 | 41200 | 2700 |
| 21 | 東港(2) | 20600 | 15620 | 18810 | 19600 | 11140 | 15800 |
| 22 | 東港(3) | 44500 | 971 | 1020 | 1041 | 1112 | 1860 |
| 23 | 東港(4) | 32500 | 44570 | 53900 | 50900 | 46800 | 50900 |
| 24 | 石化(1) | 28700 | 15390 | 2020 | 44900 | 9520 | 5610 |
| 25 | 石化(2) | 42700 | | 38900 | 38400 | 32600 | 1415 |
| 26 | 港東(1) | 1019 | | 846 | 724 | 688 | 2620 |
| 27 | 港東(2) | 539 | | 905 | 1336 | 3080 | 2720 |
| 28 | 港東(3) | 13220 | | 38600 | 38100 | 35100 | 30300 |
| 29 | 港東(4) | 47400 | | 52400 | 50000 | 39600 | 14200 |
| 30 | 新園(1) | 981 | 1289 | 1150 | 1265 | 1157 | 1106 |
| 31 | 新園(2) | 1081 | 42650 | 51600 | 49000 | 47200 | 49800 |
| 32 | 林園(1) | 14290 | 876 | 890 | 977 | 845 | 940 |
| 33 | 林園(2) | 765 | 24730 | 29700 | 28000 | 27800 | 26900 |
| 34 | 林園(3) | 20900 | 25890 | 31000 | 29400 | 28900 | 30000 |
| 平均 | 共 27 筆 | 12948 | 14968 | 17979 | 18943 | 16417 | 9742 |
| 中值 | | 2120 | 5383 | 5700 | 6720 | 7320 | 2780 |

表 4.2-20 屏東沿海鹽化監測井之歷年靜水位

| 編號 | 井名 | 87 年 12 月 | 88 年 2 月 | 89 年 9 月 | 90 年 8 月 | 91 年 5 月 | 101 年 9 月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 德興(1) | | -0.026 | 0.112 | 0.19 | 0.048 | 0.44 |
| 3 | 德興(2) | | -9.556 | -2.382 | -5.98 | -12.46 | -8.30 |
| 4 | 德興(3) | | -1.206 | 1.624 | 0.3 | -6.375 | -5.14 |
| 6 | 大庄(1) | -2.915 | -4.038 | -4.82 | -3.595 | -7.306 | -5.95 |
| 7 | 大庄(2) | | | | | -4.42 | -6.83 |
| 10 | 塭豐 | -9.85 | -8.038 | -7.113 | -10.08 | -14.581 | |
| 11 | 崎峰(1) | -1.1 | -1.424 | -0.433 | -1.025 | -1.4 | -0.54 |
| 12 | 崎峰(2) | -6.312 | -5.089 | -3.408 | -7.05 | -7.821 | -2.25 |
| 13 | 崎峰(3) | -3.182 | -3.261 | -2.328 | -5.085 | -6.052 | -1.26 |
| 14 | 崎峰(4) | 1.455 | 1.764 | 1.864 | 1.863 | 1.153 | 2.27 |
| 18 | 大潭(1) | -1.995 | -1.283 | -0.638 | -1.16 | -3.038 | -0.35 |
| 19 | 大潭(2) | 1.889 | 2.064 | 2.42 | 2.3 | 1.408 | 3.38 |
| 20 | 東港(1) | -0.111 | -0.074 | 0.662 | 0.525 | 0.26 | 0.65 |
| 21 | 東港(2) | 0.14 | 0.418 | 0.642 | 0.36 | -1.88 | 1.74 |
| 22 | 東港(3) | -0.904 | -0.239 | -0.039 | -0.69 | -0.455 | 0.86 |
| 23 | 東港(4) | -1.492 | -1.192 | -0.984 | -1.435 | -2.02 | -0.12 |
| 24 | 石化(1) | -0.378 | -0.201 | 0.188 | -0.195 | -1.017 | 0.16 |
| 25 | 石化(2) | | 0.279 | 0.873 | 0.429 | -0.205 | 0.85 |
| 26 | 港東(1) | | 0.251 | 0.702 | 0.693 | 0.24 | 1.94 |
| 27 | 港東(2) | | 1.045 | 1.365 | 1.235 | 0.12 | 2.54 |
| 28 | 港東(3) | | 0.172 | -0.253 | 0.354 | -1.07 | 0.55 |
| 29 | 港東(4) | | 0.808 | 1.371 | 1.2 | -0.295 | 2.18 |
| 30 | 新園(1) | -1.415 | -0.884 | -0.714 | -0.67 | -1.65 | -0.09 |
| 31 | 新園(2) | -1.904 | -2.091 | -0.774 | -1.78 | -3.07 | -0.73 |
| 32 | 林園(1) | 1.01 | 0.965 | 2.359 | 1.485 | 0.37 | 1.9 |
| 33 | 林園(2) | 2.026 | 1.77 | 2.936 | 2.34 | 1.388 | 2.69 |
| 34 | 林園(3) | 2.247 | 1.792 | 3.404 | 2.95 | 1.492 | 3.09 |
| 平均 | | -1.27 | -1.05 | -0.13 | -0.87 | -2.54 | -0.24 |
| 低於 0m | | 68% | 59% | 48% | 48% | 68% | 44% |

靜水位為海拔標高(m)

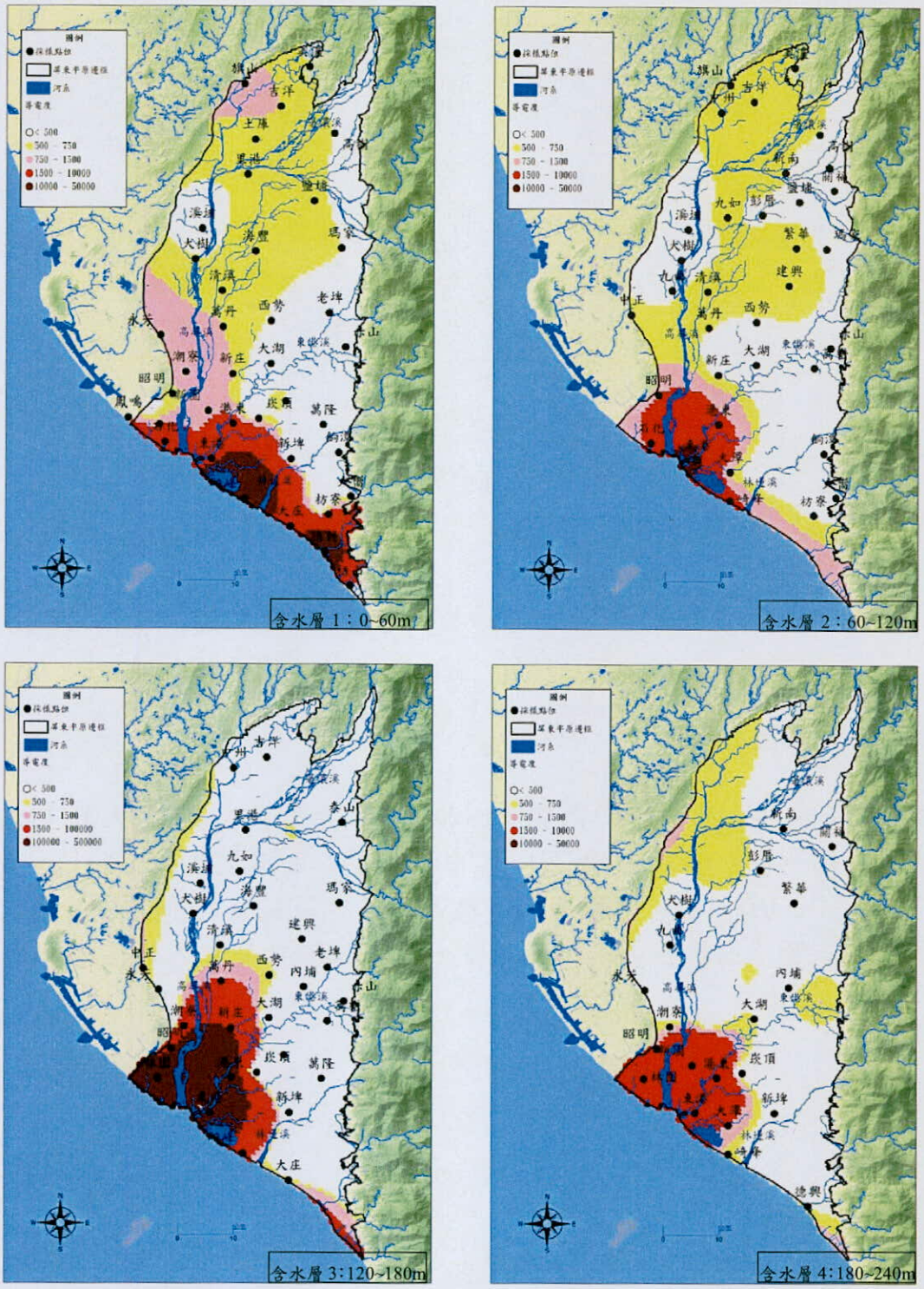



圖 4.2-17 屏東平原 2012 年地下水之導電度

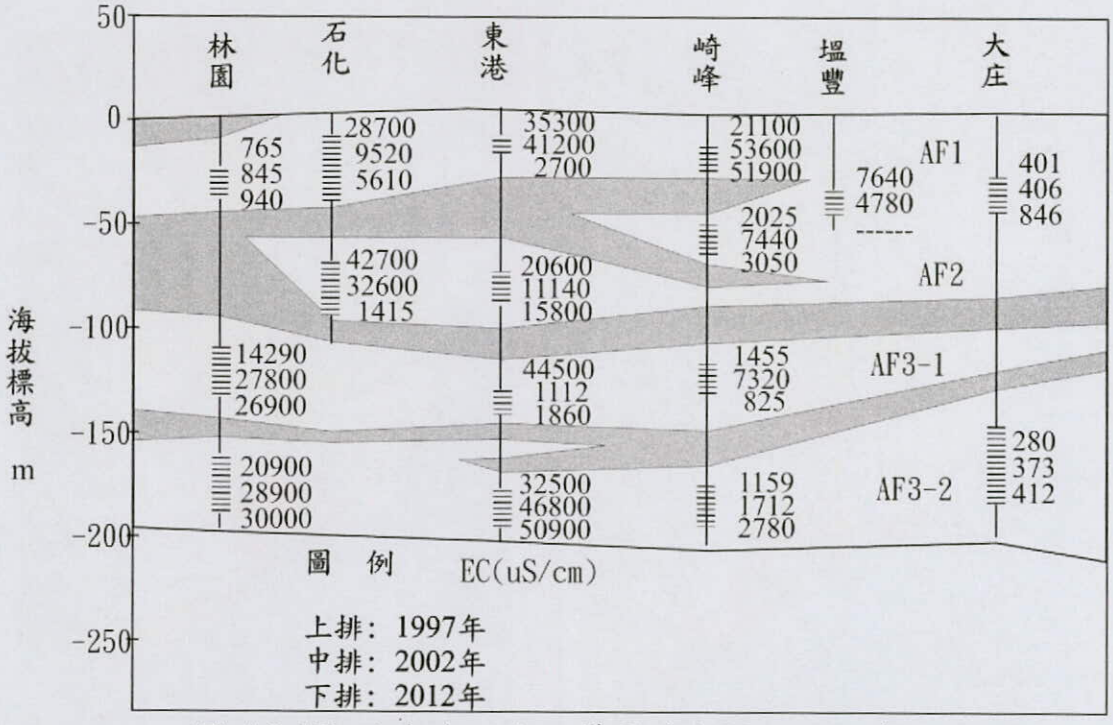



圖 4.2-18 沿海地下水之導電度(1997-2012 年)

## 八、地下水之氨態氮現況

本區地下水的氨態氮以西南靠海側較高，92 年度共有 42 口大於 1 mg/L，94 年有 32 口，101 年度有 30 口(22%)，其中以東港四的濃度最高，達 18.7 mg/L (表 4.2-20 及圖 4.2-19)。氨態氮較高的區域為泥質地層較多的中下游，可能由地層中的有機物溶解/降解，但較淺部的地下水，不排除可能有人為汙染。

表 4.2-21 地下水之歷年氨態氮濃度

| 編號 | 井名 | 87 年 | 88 年 | 89 年 | 92 年 | 93 年 | 94 年 | 101 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 枋山(1) | 0.47 | 0.07 | 0.08 | 0.14 | 0.11 | | ND |
| 2 | 德興(1) | 0.37 | | 4.33 | 0.93 | 1.45 | | 1.37 |
| 3 | 德興(2) | 0.86 | | 2.94 | 2.45 | 6.53 | 4.50 | 3.65 |
| 4 | 德興(3) | 0.58 | | 6.51 | 4.87 | 4.01 | 25.50 | 5.44 |
| 5 | 水底寮 | ND | 1.05 | 1.02 | 0.51 | 1.68 | | |
| 6 | 大庄(1) | 0.10 | 0.90 | 0.85 | 0.27 | 1.03 | 1.80 | 1.17 |
| 7 | 大庄(2) | 2.24 | 0.06 | 0.05 | ND | ND | | ND |
| 8 | 枋寮(1) | 0.14 | 0.05 | N.D. | 0.49 | ND | | ND |
| 9 | 枋寮(2) | 0.26 | N.D. | N.D. | 0.58 | ND | | ND |
| 10 | 塭豐 | | 6.62 | 4.64 | 2.50 | 18.0 | 8.50 | |
| 11 | 崎峰(1) | 0.09 | 1.34 | 0.80 | 0.26 | 0.38 | | 0.49 |
| 12 | 崎峰(2) | 0.10 | 4.28 | 5.12 | 2.33 | 12.2 | 8.60 | 5.57 |
| 13 | 崎峰(3) | 0.91 | 14.5 | 10.6 | 19.1 | 13.8 | | 10.2 |
| 14 | 崎峰(4) | 0.66 | 17.0 | 22.6 | 16.2 | 0.47 | 31.2 | 12.9 |
| 15 | 佳冬(4) | 0.43 | | | ND | ND | | |
| 16 | 大嚮(1) | 1.54 | N.D. | N.D. | 0.28 | ND | | ND |
| 17 | 大嚮(2) | 1.23 | 0.06 | N.D. | 0.12 | ND | | ND |
| 18 | 大潭(1) | 0.41 | 18.9 | 17.6 | 12.2 | 21.2 | 21.30 | 16.3 |
| 19 | 大潭(2) | 0.32 | 43.3 | 37.5 | 11.0 | 8.60 | 74.00 | 18.7 |
| 20 | 東港(1) | 2.62 | 4.02 | 4.67 | 11.1 | 3.65 | | 7.12 |
| 21 | 東港(2) | 9.64 | 18.5 | 14.5 | 9.46 | 20.1 | 13.50 | 10.8 |
| 22 | 東港(3) | 10.6 | 14.9 | 11.8 | 10.5 | 15.3 | 49.10 | 16.4 |
| 23 | 東港(4) | 5.36 | 18.8 | 14.5 | 10.3 | 13.8 | 103.50 | 18.7 |
| 24 | 石化(1) | | 11.7 | 15.1 | 8.14 | 25.0 | | 9.57 |
| 25 | 石化(2) | 13.4 | | 13.2 | 8.58 | 8.63 | | 6.77 |
| 26 | 港東(1) | 0.44 | | 1.79 | 0.89 | 2.17 | 2.10 | 1.49 |
| 27 | 港東(2) | 0.85 | | 0.59 | 0.36 | 0.49 | 1.70 | 0.88 |
| 28 | 港東(3) | 0.26 | | 3.74 | 1.94 | 0.16 | | 0.73 |
| 29 | 港東(4) | 0.53 | | 4.32 | 1.63 | ND | | 1.82 |
| 30 | 新園(1) | ND | 0.19 | 0.13 | ND | ND | | ND |
| 31 | 新園(2) | 1.34 | 8.65 | 8.39 | 3.26 | 0.22 | | 4.58 |
| 32 | 林園(1) | 0.07 | 1.64 | 1.39 | 0.76 | 0.78 | 1.5 | 1.12 |
| 33 | 林園(2) | 0.04 | 15.1 | 13.1 | 16.2 | 1.14 | 51.1 | 13.4 |
| 34 | 林園(3) | ND | 8.70 | 16.7 | 15.7 | 5.36 | 62.1 | 5.11 |

*ND<0.025mg/l

表 4.2-21 地下水之歷年氨態氮濃度(續)

| 編號 | 井名 | 87 年 | 88 年 | 89 年 | 92 年 | 93 年 | 94 年 | 101 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 昭明(1) | 0.24 | | 0.13 | 0.04 | 0.05 | | 0.29 |
| 36 | 昭明(2) | 0.12 | | 0.11 | 0.38 | 0.25 | | 0.37 |
| 37 | 昭明(3) | 0.09 | | 0.11 | 0.07 | 0.05 | | 0.12 |
| 38 | 昭明(4) | 0.07 | | 0.09 | 0.17 | 5.83 | 1.4 | 2.47 |
| 39 | 鳳鳴(1) | 0.43 | | 0.26 | 0.31 | 0.29 | | 0.35 |
| 40 | 潮寮(1) | 0.95 | 0.56 | 0.48 | 0.22 | 1.05 | | 0.88 |
| 41 | 潮寮(2) | 1.42 | 0.77 | 1.89 | 0.46 | 3.52 | 2.60 | 1.74 |
| 42 | 潮寮(3) | 1.09 | 1.29 | 7.23 | 0.79 | 3.58 | 3.10 | 1.69 |
| 43 | 永芳(1) | 1.68 | 2.98 | 4.11 | 2.32 | 4.27 | 4.30 | 2.74 |
| 44 | 永芳(2) | 1.84 | 0.24 | 0.24 | 0.64 | 0.42 | 1.00 | 0.85 |
| 45 | 永芳(3) | 3.92 | 0.38 | 0.50 | 0.30 | 0.79 | 1.40 | 0.98 |
| 46 | 中正(1) | 0.70 | | 0.28 | 0.63 | 1.19 | 2.00 | 1.22 |
| 47 | 中正(2) | 0.64 | | 0.19 | 0.66 | 0.60 | 1.30 | 0.61 |
| 48 | 新庄(1) | ND | 0.24 | 4.20 | 0.33 | 0.63 | | 0.53 |
| 49 | 新庄(2) | ND | 0.25 | 0.87 | 1.13 | 1.56 | 1.80 | 1.47 |
| 50 | 新庄(3) | ND | N.D. | 0.32 | 0.22 | ND | | ND |
| 51 | 崁頂(1) | ND | N.D. | N.D. | ND | ND | 5.10 | ND |
| 52 | 崁頂(2) | 0.41 | 0.11 | N.D. | ND | ND | | ND |
| 53 | 崁頂(3) | 0.10 | 0.11 | N.D. | ND | ND | | ND |
| 54 | 潮州(1) | 0.33 | 2.09 | 1.55 | 1.57 | 2.86 | 2.50 | 1.81 |
| 55 | 潮州(2) | 1.25 | 0.14 | N.D. | 0.41 | ND | | ND |
| 56 | 新埤(1) | 0.33 | 6.71 | 8.51 | 0.25 | 1.80 | | 1.84 |
| 57 | 新埤(2) | 0.41 | 0.14 | N.D. | 0.44 | ND | | 0.44 |
| 58 | 新埤(3) | 0.38 | 0.33 | N.D. | 0.36 | | 6.20 | 0.54 |
| 59 | 新埤(4) | 0.91 | 0.09 | N.D. | 0.37 | ND | | ND |
| 60 | 萬隆(1) | ND | N.D. | N.D. | 1.48 | ND | | ND |
| 61 | 萬隆(2) | 0.05 | 0.12 | N.D. | 0.07 | ND | | ND |
| 62 | 萬巒(1) | 0.04 | 0.10 | N.D. | 0.54 | ND | | ND |
| 63 | 萬巒(2) | 0.81 | 0.24 | 0.58 | 0.16 | 0.21 | 1.20 | 0.66 |
| 64 | 赤山(1) | 2.07 | | 0.88 | 0.63 | 0.44 | | 0.37 |
| 65 | 赤山(2) | 0.54 | | 0.07 | 0.27 | 0.14 | | 0.91 |
| 66 | 赤山(3) | 0.50 | | 0.49 | 0.68 | 0.07 | 1.90 | 1.02 |
| 67 | 大湖(1) | 0.95 | | 0.55 | 0.51 | 0.65 | | 0.24 |
| 68 | 大湖(2) | 0.12 | | 0.75 | ND | ND | | ND |

表 4.2-21 地下水之歷年氨態氮濃度(續)

| 編號 | 井名 | 87 年 | 88 年 | 89 年 | 92 年 | 93 年 | 94 年 | 101 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 69 | 大湖(3) | 0.30 | | 0.05 | ND | ND | | ND |
| 70 | 大湖(4) | 0.33 | | 0.52 | 0.41 | 0.42 | 1.30 | ND |
| 71 | 餉潭(1) | 0.40 | | N.D. | 0.07 | ND | | ND |
| 72 | 餉潭(2) | 0.35 | | N.D. | 0.74 | 0.21 | | ND |
| 73 | 萬丹(1) | 0.11 | 0.35 | 0.30 | 0.20 | 0.18 | | ND |
| 74 | 萬丹(2) | 0.64 | 0.39 | N.D. | ND | ND | | ND |
| 75 | 萬丹(3) | 0.25 | 0.34 | 0.07 | ND | ND | | ND |
| 76 | 清溪(1) | 0.12 | 0.43 | 0.68 | 0.49 | 1.49 | | 0.64 |
| 77 | 清溪(2) | ND | 0.15 | N.D. | 0.27 | ND | | ND |
| 78 | 清溪(3) | ND | 0.39 | 0.07 | 0.23 | 0.14 | | ND |
| 79 | 前進(4) | 0.31 | | 0.11 | 0.57 | 0.21 | | ND |
| 80 | 九曲(1) | ND | 0.15 | 0.15 | ND | ND | | ND |
| 81 | 九曲(2) | 0.11 | 0.14 | 0.07 | ND | ND | | ND |
| 82 | 大樹(1) | 1.04 | | 0.06 | 0.31 | 0.15 | | 0.28 |
| 83 | 大樹(2) | 0.45 | | N.D. | ND | ND | | ND |
| 84 | 大樹(3) | 1.01 | | N.D. | ND | ND | | ND |
| 85 | 大樹(4) | 0.62 | | N.D. | ND | ND | | ND |
| 86 | 溪埔(1) | 0.10 | 0.07 | N.D. | 0.21 | ND | | ND |
| 87 | 溪埔(2) | ND | N.D. | N.D. | ND | ND | | ND |
| 88 | 溪埔(3) | 0.07 | 0.16 | N.D. | 0.09 | ND | | ND |
| 89 | 內埔(1) | 0.16 | N.D. | N.D. | ND | ND | | ND |
| 90 | 內埔(2) | 0.08 | 0.30 | N.D. | ND | ND | | ND |
| 91 | 西勢(1) | 0.17 | 0.09 | 0.05 | ND | ND | | ND |
| 92 | 西勢(2) | 0.34 | 0.95 | 0.39 | 0.33 | 0.60 | 0.50 | 0.42 |
| 93 | 西勢(3) | 0.29 | 0.15 | N.D. | 0.04 | ND | | ND |
| 94 | 西勢(4) | 0.14 | 0.19 | N.D. | 0.27 | ND | | ND |
| 95 | 老埤(1) | 0.11 | N.D. | N.D. | 0.15 | ND | | ND |
| 96 | 老埤(2) | 0.22 | N.D. | N.D. | ND | ND | | ND |
| 97 | 建興(1) | 0.08 | 0.07 | N.D. | 0.35 | ND | | ND |
| 98 | 建興(2) | 0.26 | N.D. | N.D. | ND | ND | | ND |
| 99 | 繁華(1) | 0.50 | | N.D. | ND | ND | | ND |
| 100 | 繁華(2) | 0.72 | | N.D. | ND | ND | | ND |
| 101 | 瑪家(1) | 0.28 | 0.12 | 0.05 | 0.07 | ND | | ND |
| 102 | 瑪家(2) | ND | 0.10 | N.D. | 0.25 | ND | | ND |

表 4.2-21 地下水之歷年氨態氮濃度(續)

| 編號 | 井名 | 87 年 | 88 年 | 89 年 | 92 年 | 93 年 | 94 年 | 101 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 103 | 瑪家(3) | ND | 0.09 | 0.23 | ND | ND | | ND |
| 104 | 海豐(1) | 1.10 | 0.17 | 0.12 | 0.51 | 0.22 | | 0.36 |
| 105 | 海豐(2) | ND | 0.07 | N.D. | ND | ND | | ND |
| 106 | 海豐(3) | 0.77 | 0.22 | 0.05 | 0.43 | 0.36 | 0.50 | 0.50 |
| 107 | 九如(1) | 0.53 | 0.19 | 0.18 | 0.29 | 0.26 | | 0.25 |
| 108 | 九如(2) | 0.17 | 0.13 | N.D. | ND | ND | | ND |
| 109 | 彭厝(1) | 0.77 | | N.D. | ND | ND | | ND |
| 110 | 彭厝(2) | 0.54 | | 0.11 | ND | ND | | ND |
| 111 | 鹽埔(1) | 0.68 | 0.05 | N.D. | 0.22 | ND | | ND |
| 112 | 鹽埔(2) | 0.07 | N.D. | N.D. | ND | ND | | ND |
| 113 | 里港(1) | 0.09 | N.D. | | ND | ND | | ND |
| 114 | 里港(2) | 0.45 | 0.11 | 0.14 | 0.66 | ND | | ND |
| 115 | 關福(1) | 0.54 | | N.D. | ND | ND | | ND |
| 116 | 關福(2) | 0.26 | | N.D. | ND | ND | | ND |
| 117 | 新南(1) | 0.67 | | N.D. | 0.24 | ND | | ND |
| 118 | 新南(2) | 0.75 | | 0.11 | 0.06 | ND | | ND |
| 119 | 高樹(1) | 0.11 | N.D. | N.D. | 0.04 | ND | | ND |
| 120 | 高樹(2) | 0.70 | 0.05 | 0.07 | ND | ND | | ND |
| 121 | 泰山(1) | 0.14 | 0.12 | N.D. | 0.06 | ND | | ND |
| 122 | 泰山(2) | 0.13 | N.D. | N.D. | ND | ND | | ND |
| 123 | 土庫 | | 0.09 | 0.06 | 0.42 | 0.15 | | 0.13 |
| 124 | 吉洋 | | N.D. | N.D. | 1.19 | 1.05 | | 1.55 |
| 125 | 吉洋(1) | 0.21 | | N.D. | 0.08 | ND | | ND |
| 126 | 吉洋(2) | 0.38 | | 0.24 | 0.46 | 0.38 | | 0.21 |
| 127 | 中州(1) | 0.53 | 0.07 | N.D. | ND | ND | | ND |
| 128 | 中州(2) | 0.69 | 0.26 | 0.24 | ND | ND | | ND |
| 129 | 美濃(1) | 0.68 | 0.25 | 1.57 | 0.15 | 0.14 | 0.60 | 0.36 |
| 130 | 美濃(2) | 0.45 | N.D. | 0.07 | 0.05 | ND | | ND |
| 131 | 旗山(1) | 0.64 | | 0.08 | 0.44 | 0.52 | | 0.34 |
| 132 | 旗山(2) | 0.57 | | 1.20 | 0.49 | 0.78 | 1.30 | 0.84 |

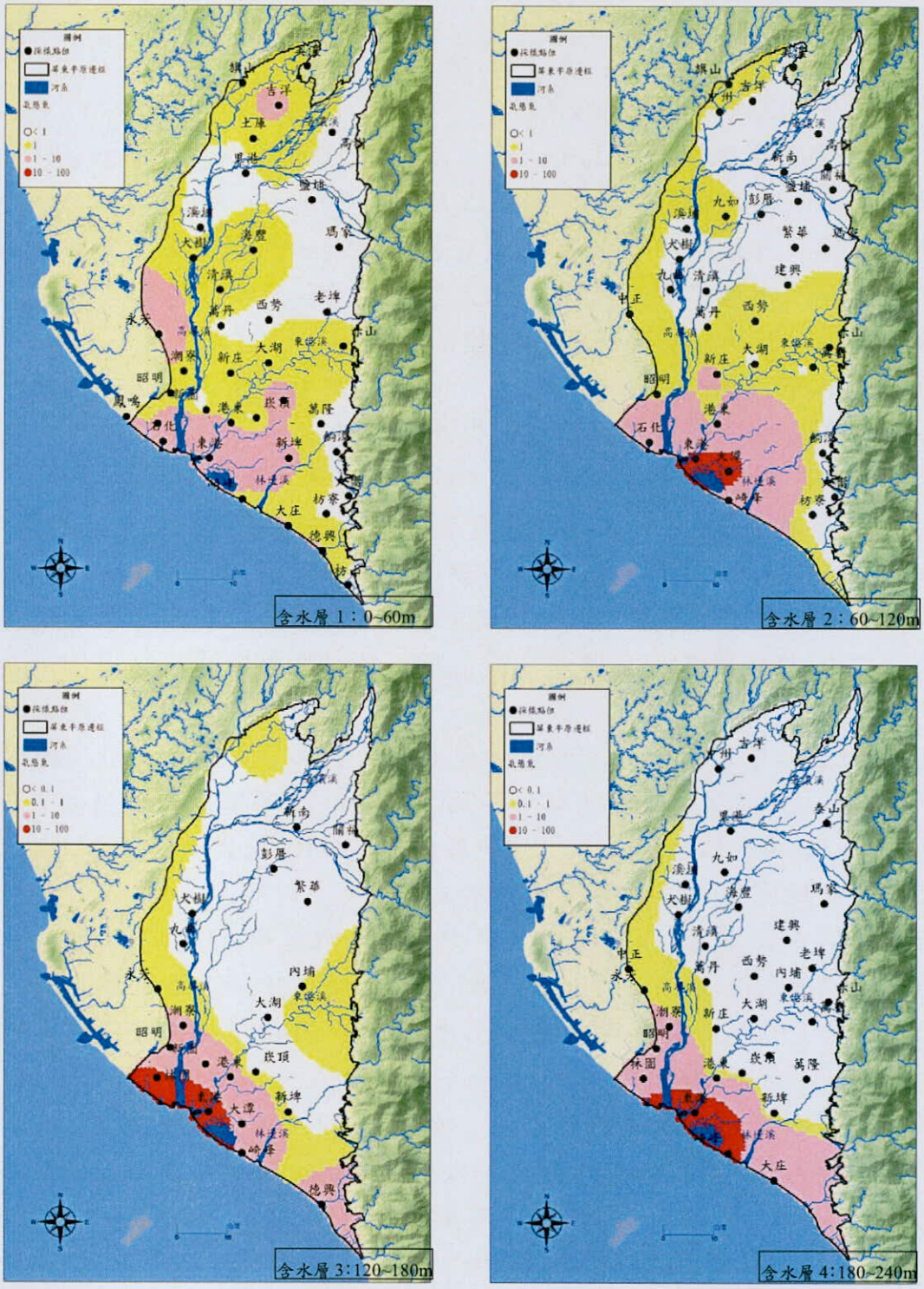



圖 4.2-19 屏東平原 2012 年地下水之氨態氮分布

## 九、水質調查成果彙整

水質調查成果可摘錄為下列八點：

1. 地下水之氧化還原帶：溶氧帶之含水層溶氧>1mg/l，此區域由高樹、新南至大響及枋寮等。硝酸鹽帶的分布再往西、分布更廣。溶氧帶與地下水保護區(沒有上覆泥層、且有巨厚的含水層)的劃設範圍相近，但並不必然完全重疊。
2. 扇頂水質地化特性：扇頂地下水水大都以碳酸氫鈣水質為主，只有少數地下水偏碳酸氫鈉，此現象應為陽離子交換的結果。
3. 地面水之水質：地面水的溶氧約 3-7mg/l，硝態氮的濃度則以東港溪上游明顯濃度較高，主要離子成分以碳酸氫鈣為主，只有萬金、萬巒、西方與來義的鈉離子稍高，前三點的硝酸鹽濃度也高，可能受生活汙水排放影響。
4. 地下水歷年導電度：只有一口井導電度有偏高—吉洋，2011 年的導電度為 776 μS/cm，其餘井都小於 750 μS/cm(灌溉用水標準)。經由 Mann-Kendall 趨勢統計，有 2 口井的導電度有增加的趨勢—大響(1)及瑪家(1)；有 2 口井的導電度有減少的趨勢—枋寮(2)及鹽埔(2)。與濁水溪扇頂比較，屏東地區扇頂地下水並沒有鹹化現象。
5. 觀測井的垂向導電度分布，可能反應出不同的水質來源，荖濃溪地區垂向導電度以高樹二變化最大，導電度約 450-780 μS/cm、隘寮溪地區以鹽埔變化最大、約 300-580 μS/cm、林邊溪及力力溪地區以萬隆(2)變化最大、導電度約 220-500 μS/cm。屏東地區扇頂區的導電度皆不大。
6. 地下水歷年硝酸鹽濃度：林邊溪及力力溪地區以萬巒(1)最高、濃度為 5.21 mg/l；隘寮溪地區以建興(1)最高、濃度為 5.85 mg/l；荖濃溪地區以吉洋最高、濃度為 3.50 mg/l。屏東地區扇頂區的硝態氮濃度皆小於 10mg/l(環保署飲用水源水質標準)。
7. 沿海地下水鹽化之現況：統計沿海含水層共 27 口觀測井，從 87 年至 101 年之導電度，前幾年有變鹹、但近年有變淡的趨勢，統計中間值從 2120 μS/cm 增加為 7320 μS/cm，但 2012 年減為 2780 μS/cm。統計平均值從 12948 μS/cm 增加為 16417 μS/cm，2012 減為 9742 μS/cm。
8. 地下水氨態氮之現況：以西南靠海側較高，92 年度共有 42 口大於 1 mg/L，94 年有 32 口，101 年度有 30 口(22%)，其中以東港四的濃度最高，達 18.7 mg/L。氨態氮較高的區域為泥質地層較多的中下游，可能由地層中的有機物溶解/降解，但較淺部的地下水，不排除可能有人為汙染。

## 4.3 抽水試驗

### 4.3.1 抽水井鑿建與分級試水

本調查工作自民國98~101年度共計四年時間，100年度屏東平原於彭厝站，101年度屏東平原於萬隆站進行。

自81年度起，經濟部辦理觀測井整體計畫，主要由水利署及中央地質調查所執行，相關屏東平原試水成果如表4.3-1，各站井分佈如圖4.3-1所示。

表4.3-1 屏東平原試水成果表

| 站名 | 井別 | 試水日期 | 靜水位 (井口下,m) | 抽水位 (井口下,m) | 出水量 Q(cmh) | 導水係數 T($m^2$/min) | 儲水係數 S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 溪埔 | 觀測井(1) | 84.04.25 | 11.850 | 14.340 | 57.6 | 0.7586 | |
| 溪埔 | 觀測井(2) | 84.04.11 | 2.550 | 9.018 | 61.7 | 0.2654 | |
| 溪埔 | 觀測井(3) | 84.04.12 | -10.700 | 2.580 | 138.8 | 0.3389 | |
| 九曲 | 觀測井(1) | 84.05.19 | 23.025 | 24.040 | 40.7 | 1.1783 | |
| 九曲 | 觀測井(2) | 84.06.06 | 16.678 | 18.010 | 7.6 | 0.1710 | |
| 林園 | 觀測井(1) | 84.07.01 | 4.390 | 6.710 | 27.4 | 0.4032 | |
| 林園 | 觀測井(2) | 84.06.30 | 3.125 | 4.970 | 8.4 | 0.2020 | |
| 林園 | 觀測井(3) | 84.06.29 | 3.419 | 8.170 | 31.6 | 0.2036 | |
| 里港 | 觀測井(1) | 84.04.13 | 9.175 | 10.200 | 64.4 | 1.9041 | |
| 里港 | 觀測井(2) | 84.04.02 | 10.870 | 14.420 | 54.6 | 0.4015 | |
| 瑪家 | 觀測井(1) | 84.06.09 | 42.300 | 43.130 | 70.5 | 1.7653 | |
| 瑪家 | 觀測井(2) | 84.06.15 | 40.470 | 44.160 | 70.5 | 0.6650 | |
| 瑪家 | 觀測井(3) | 84.06.23 | 38.255 | 42.970 | 15.4 | 0.1015 | |
| 建興 | 觀測井(1) | 84.04.14 | 9.580 | 10.350 | 54.6 | 1.5809 | |
| 建興 | 觀測井(2) | 84.03.30 | 9.214 | 10.550 | 59.0 | 1.8435 | |
| 西勢 | 觀測井(1) | 84.07.18 | 3.285 | 3.900 | 8.4 | 0.2698 | |
| 西勢 | 觀測井(2) | 84.04.23 | 3.500 | 7.190 | 65.6 | 0.4209 | |
| 西勢 | 觀測井(3) | 84.07.07 | 1.913 | 10.320 | 18.2 | 0.0680 | |
| 西勢 | 觀測井(4) | 84.04.11 | 1.398 | 2.480 | 63.1 | 1.7549 | |
| 清溪 | 觀測井(1) | 84.07.13 | 5.528 | 7.620 | 20.3 | 0.2733 | |

表 4.3-1 屏東平原試水成果表(續)

| 站名 | 井別 | 試水日期 | 靜水位 (井口下,m) | 抽水位 (井口下,m) | 出水量 Q(cmh) | 導水係數 T($m^2$/min) | 儲水係數 S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 清溪 | 觀測井 (2) | 84.07.13 | 5.420 | 6.470 | 63.1 | 1.9962 | |
| 清溪 | 觀測井 (3) | 84.06.29 | 8.045 | 10.760 | 49.9 | 0.5229 | |
| 新庄 | 觀測井 (1) | 84.06.20 | 5.670 | 8.280 | 57.6 | 0.7103 | |
| 新庄 | 觀測井 (2) | 84.06.11 | 6.768 | 10.750 | 23.5 | 0.2085 | |
| 新庄 | 觀測井 (3) | 84.06.11 | 6.876 | 8.390 | 60.4 | 1.3772 | |
| 新園 | 觀測井 (4) | 84.05.22 | 8.920 | 9.310 | 12.1 | 0.7449 | |
| 新園 | 觀測井 (1) | 84.05.21 | 9.125 | 10.030 | 49.9 | 1.6484 | |
| 萬巒 | 觀測井 (1) | 84.06.23 | 11.010 | 12.680 | 56.1 | 1.2587 | |
| 萬巒 | 觀測井 (2) | 84.06.07 | 14.620 | 18.940 | 53.1 | 0.3411 | |
| 萬隆 | 觀測井 (1) | 84.06.12 | 27.100 | 27.480 | 72.8 | 6.0212 | |
| 萬隆 | 觀測井 (2) | 84.06.24 | 18.600 | 31.890 | 56.5 | 0.1308 | |
| 新埤 | 觀測井 (1) | 84.06.23 | 3.471 | 4.420 | 8.6 | 0.1602 | |
| 新埤 | 觀測井 (2) | 84.05.16 | 11.780 | 13.920 | 65.6 | 1.0643 | |
| 新埤 | 觀測井 (3) | 84.06.25 | 4.848 | 5.840 | 9.1 | 0.2923 | |
| 新埤 | 觀測井 (4) | 84.05.02 | 10.582 | 12.640 | 56.1 | 0.8590 | |
| 大潭 | 觀測井 (1) | 84.07.12 | 6.752 | 12.710 | 46.8 | 0.2136 | |
| 大潭 | 觀測井 (2) | 84.06.29 | 2.103 | 5.980 | 68.1 | 0.5632 | |
| 崎峰 | 觀測井 (1) | 84.07.25 | 4.425 | 5.010 | 17.3 | 0.5837 | |
| 崎峰 | 觀測井 (2) | 84.07.25 | 12.170 | 15.300 | 38.1 | 0.3382 | |
| 崎峰 | 觀測井 (3) | 84.07.21 | 10.430 | 12.500 | 7.0 | 0.1035 | |
| 崎峰 | 觀測井 (4) | 84.07.21 | 4.680 | 13.380 | 45.6 | 0.1692 | |
| 永芳 | 觀測井 (1) | 85.06.28 | 10.669 | 13.090 | 47.8 | 0.5680 | |
| 永芳 | 觀測井 (2) | 85.07.12 | 22.516 | 41.880 | 47.8 | 0.0715 | |
| 永芳 | 觀測井 (3) | 85.06.26 | 23.075 | 33.460 | 55.8 | 0.1486 | |
| 中州 | 觀測井 (1) | 85.04.13 | 7.632 | 9.020 | 55.8 | 0.6914 | |
| 中州 | 觀測井 (2) | 85.04.12 | 7.552 | 10.280 | 55.8 | 0.7642 | |
| 潮寮 | 觀測井 (1) | 85.05.09 | 8.015 | 8.480 | 51.5 | 2.3539 | 0.106 |
| 潮寮 | 觀測井 (2) | 85.04.23 | 8.021 | 10.710 | 57.6 | 0.6203 | 0.00164 |
| 潮寮 | 觀測井 (3) | 85.04.18 | 8.517 | 12.350 | 53.1 | 0.3759 | 0.000636 |
| 美濃 | 觀測井 (1) | 85.07.05 | 3.875 | 15.470 | 5.6 | 0.0144 | |

表 4.3-1 屏東平原試水成果表(續)

| 站名 | 井別 | 試水日期 | 靜水位 (井口下,m) | 抽水位 (井口下,m) | 出水量 Q(cmh) | 導水係數 T($m^2$/min) | 儲水係數 S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 美濃 | 觀測井 (2) | 85.07.08 | 3.980 | 8.500 | 98.4 | 0.6718 | |
| 高樹 | 觀測井 (1) | 85.04.07 | 36.735 | 37.880 | 65.6 | 6.9759 | 0.13 |
| 高樹 | 觀測井 (2) | 85.03.14 | 35.210 | 37.920 | 60.4 | 0.6871 | |
| 泰山 | 觀測井 (1) | 85.08.09 | 13.860 | 16.470 | 66.9 | 0.9525 | |
| 泰山 | 觀測井 (2) | 85.06.05 | 18.360 | 29.070 | 76.2 | 0.7712 | |
| 鹽埔 | 觀測井 (1) | 85.01.10 | 15.161 | 15.640 | 38.6 | 1.6603 | |
| 鹽埔 | 觀測井 (2) | 85.01.11 | 15.585 | 16.820 | 39.0 | 0.6152 | |
| 九如 | 觀測井 (1) | 85.03.08 | 7.815 | 11.200 | 89.3 | 0.9834 | |
| 九如 | 觀測井 (2) | 85.03.03 | 13.210 | 16.190 | 46.1 | 0.4341 | |
| 老埤 | 觀測井 (1) | 85.04.06 | 10.340 | 12.360 | 45.6 | 0.4703 | |
| 老埤 | 觀測井 (2) | 85.04.10 | 8.640 | 10.770 | 38.1 | 0.4939 | |
| 內埔 | 觀測井 (1) | 85.02.02 | 3.870 | 4.770 | 40.8 | 0.9051 | 0.00155 |
| 內埔 | 觀測井 (2) | 84.12.29 | -1.000 | 2.650 | 43.3 | 0.3131 | 0.00074 |
| 海豐 | 觀測井 (1) | 85.01.06 | 4.556 | 5.760 | 134.7 | 3.5690 | 0.397 |
| 海豐 | 觀測井 (2) | 85.01.04 | 1.510 | 3.910 | 101.1 | 1.2858 | 0.0000712 |
| 海豐 | 觀測井 (3) | 85.01.06 | 5.815 | 19.840 | 40.7 | 0.1244 | 0.0000974 |
| 萬丹 | 觀測井 (1) | 85.04.11 | 9.223 | 13.69 | 104.3 | 0.4682 | |
| 萬丹 | 觀測井 (2) | 85.04.22 | 9.590 | 12.960 | 80.8 | 0.7828 | |
| 萬丹 | 觀測井 (3) | 85.04.08 | 10.065 | 14.580 | 98.4 | 1.0847 | |
| 崁頂 | 觀測井 (1) | 85.01.20 | 6.348 | 12.970 | 40.8 | 0.1691 | 0.013 |
| 崁頂 | 觀測井 (2) | 85.01.19 | 1.700 | 4.270 | 110.0 | 1.2465 | 0.00122 |
| 崁頂 | 觀測井 (3) | 85.01.09 | 1.460 | 4.220 | 74.6 | 0.8069 | 0.00073 |
| 大響 | 觀測井 (1) | 85.07.04 | 41.780 | 41.950 | 34.5 | 4.2182 | |
| 大響 | 觀測井 (2) | 85.07.02 | 41.410 | 43.040 | 40.7 | 1.1840 | |
| 潮州 | 觀測井 (1) | 85.03.02 | 4.912 | 7.600 | 48.2 | 0.3346 | |
| 潮州 | 觀測井 (2) | 85.03.05 | 6.452 | 10.490 | 95.2 | 0.6775 | |
| 東港 | 觀測井 (1) | 85.05.10 | 2.637 | 5.040 | 56.7 | 0.6899 | |
| 東港 | 觀測井 (2) | 85.06.07 | 4.986 | 7.150 | 37.6 | 0.4912 | |
| 東港 | 觀測井 (3) | 85.06.05 | 4.027 | 6.150 | 37.6 | 0.5090 | |
| 東港 | 觀測井 (4) | 85.05.11 | 5.361 | 6.980 | 56.7 | 0.9856 | |

表 4.3-1 屏東平原試水成果表(續)

| 站名 | 井別 | 試水日期 | 靜水位 (井口下,m) | 抽水位 (井口下,m) | 出水量 Q(cmh) | 導水係數 T($m^2$/min) | 儲水係數 S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 枋寮 | 觀測井 (1) | 85.04.25 | 36.112 | 36.200 | 57.6 | 15.1070 | |
| 枋寮 | 觀測井 (2) | 85.03.28 | 34.702 | 40.530 | 45.3 | 0.2114 | 0.00023 |
| 大庄 | 觀測井 (1) | 85.06.26 | 11.504 | 16.480 | 14.3 | 0.0862 | |
| 大庄 | 觀測井 (2) | 85.06.15 | 14.913 | 16.860 | 72.9 | 1.1549 | |
| 枋山 | 觀測井 (1) | 85.03.27 | 6.171 | 14.080 | 49.9 | 0.1705 | |
| 中正 | 觀測井 (1) | 87.01.07 | 9.753 | 17.840 | 54.6 | 0.1166 | |
| 中正 | 觀測井 (2) | 87.01.06 | 21.410 | 31.840 | 69.3 | 0.1794 | |
| 旗山 | 觀測井 (1) | 87.02.18 | 9.990 | 12.100 | 19.9 | 0.2591 | 0.2718 |
| 旗山 | 觀測井 (2) | 87.02.11 | 11.670 | 20.620 | 80.8 | 0.2473 | 0.0000379 |
| 鳳鳴 | 觀測井 (1) | 87.01.05 | 8.820 | 22.620 | 60.4 | 0.1399 | |
| 新威 | 觀測井 (1) | 87.02.05 | 12.360 | 37.380 | 0.3 | 0.0001 | |
| 新威 | 觀測井 (2) | 87.02.05 | 11.285 | 87.790 | 0.3 | 0.000027 | |
| 大樹 | 觀測井 (1) | 86.12.08 | 13.635 | 15.840 | 49.9 | 0.7009 | 0.053 |
| 大樹 | 觀測井 (2) | 86.12.30 | 12.555 | 16.040 | 57.6 | 1.1399 | 0.0000429 |
| 大樹 | 觀測井 (3) | 86.12.14 | 12.270 | 16.230 | 56.1 | 0.9467 | 0.000144 |
| 大樹 | 觀測井 (4) | 86.12.31 | 7.800 | 15.210 | 30.5 | 0.2677 | 0.0004 |
| 吉洋 | 觀測井 (1) | 87.02.05 | 14.036 | 15.630 | 56.7 | 8.1103 | |
| 吉洋 | 觀測井 (2) | 87.02.05 | 13.525 | 15.570 | 36.4 | 0.4753 | |
| 昭明 | 觀測井 (1) | 87.06.16 | 2.438 | 19.970 | 4.2 | 0.0028 | |
| 昭明 | 觀測井 (2) | 87.04.29 | 1.343 | 12.400 | 57.6 | 0.1140 | |
| 昭明 | 觀測井 (3) | 87.06.15 | 1.697 | 11.080 | 16.6 | 0.0323 | |
| 昭明 | 觀測井 (4) | 87.06.13 | 2.003 | 24.180 | 8.8 | 0.0050 | |
| 關福 | 觀測井 (1) | 86.10.22 | 13.090 | 15.430 | 76.8 | 7.6925 | 0.0235 |
| 關福 | 觀測井 (2) | 86.10.19 | 14.250 | 29.790 | 39.0 | 0.1832 | 0.000294 |
| 新南 | 觀測井 (1) | 86.03.17 | 7.918 | 10.810 | 85.2 | 0.5753 | |
| 新南 | 觀測井 (2) | 86.03.19 | 7.847 | 13.510 | 90.7 | 1.2307 | |
| 繁華 | 觀測井 (1) | 87.01.18 | 23.460 | 24.530 | 40.7 | 1.5513 | |
| 繁華 | 觀測井 (2) | 87.01.19 | 23.390 | 27.430 | 51.5 | 0.5051 | |
| 彭厝 | 觀測井 (1) | 86.10.25 | 3.076 | 8.790 | 92.0 | 1.4629 | |
| 彭厝 | 觀測井 (2) | 86.10.24 | 2.070 | 10.030 | 90.7 | 1.4317 | |

表 4.3-1 屏東平原試水成果表(續)

| 站名 | 井別 | 試水日期 | 靜水位 (井口下,m) | 抽水位 (井口下,m) | 出水量 Q(cmh) | 導水係數 T($m^2$/min) | 儲水係數 S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 大湖 | 觀測井 (1) | 86.12.19 | 4.927 | 9.270 | 76.2 | 2.0402 | |
| 大湖 | 觀測井 (2) | 86.12.02 | 0.018 | 10.330 | 98.4 | 0.3762 | |
| 大湖 | 觀測井 (3) | 86.12.21 | -1.150 | 2.140 | 76.2 | 1.4388 | |
| 大湖 | 觀測井 (4) | 86.12.05 | -3.465 | 6.160 | 73.8 | 0.2960 | |
| 餉潭 | 觀測井 (1) | 87.02.11 | 19.570 | 20.320 | 49.8 | 1.7232 | |
| 餉潭 | 觀測井 (2) | 87.02.12 | 16.650 | 32.820 | 3.8 | 0.0033 | |
| 前進 | 觀測井 (1) | 86.12.27 | 5.189 | 15.970 | 60.4 | 0.2354 | |
| 赤山 | 觀測井 (1) | 86.10.16 | 3.220 | 10.900 | 10.1 | 0.0199 | |
| 赤山 | 觀測井 (2) | 86.10.22 | 3.420 | 13.120 | 9.6 | 0.0262 | |
| 赤山 | 觀測井 (3) | 86.10.19 | 0.000 | 18.900 | 5.9 | 0.0048 | |
| 德興 | 觀測井 (1) | 87.01.21 | 4.239 | 5.590 | 43.2 | 1.1960 | |
| 德興 | 觀測井 (2) | 87.02.19 | 19.361 | 25.330 | 52.0 | 0.2149 | |
| 德興 | 觀測井 (3) | 87.01.23 | 9.771 | 58.230 | 2.1 | 0.0007 | |
| 港東 | 觀測井 (1) | 87.02.18 | 4.449 | 8.580 | 92.0 | 0.6095 | |
| 港東 | 觀測井 (2) | 87.01.18 | 4.727 | 20.860 | 76.2 | 0.3872 | |
| 港東 | 觀測井 (3) | 87.02.23 | 6.390 | 12.240 | 83.7 | 0.5434 | |
| 港東 | 觀測井 (4) | 87.01.20 | 6.715 | 12.870 | 92.0 | 0.4253 | |
| 彭厝 | W1 | 100.05.25 | 5.811 | 5.705 | 206.0 | 22.3400 | 0.1287 |
| 萬隆 | 觀測井 (1) | 101.05.28 | 28.130 | 28.037 | 157.9 | 16.6300 | 0.124 |

## 一、井體建置

1.鑽鑿井孔；

機具搬運及安裝、開挖井孔保護套管、挖泥漿池等準備工作完妥後，接隨進行鑽鑿井孔工作。

2. 孔內地層電測：

鑽鑿井孔達計畫深度，進行孔內地層電測工作，由自然電位(SP)、電阻率(16"、64")、自然伽瑪(γ)四條曲線代表對地層之反應，提供核對地層岩心沙樣、研判含水層優劣，以決定濾水管置放位置。

3. 井管安裝：

鑽至預計深度及擴孔完成後，依照井體設計進行下管作業

4. 井圈處理：

井圈係指井管與孔壁之空間，為維護孔壁安全及阻沙濾水功用，此空間須予填充礫石濾料。另為充分隔絕上、下層地下水源，須在此空間內的適當位置填充皂土(Bentonite)、黏土漿予封隔，俾達到地下水分層觀測之效果。

5. 擴水洗井：

利用吊筒振盪器(Bailer, $\varphi$2"～$\varphi$4" x 20')放入井內上下反覆振盪，藉水力激動，幫助井圈濾料沉陷密實，並沖洗孔壁泥膜，然後抽吊井內泥水，使含水層與井體間水流暢通，擴水完成後，再安裝電動抽水機將井內泥水抽除，直到出水水色澄清為止。

## 二、分級試水

觀測井擴水洗井完成後進行分級試水，以測知井體特性，分析觀測井試驗所取得之試驗數據，以求取井體的井性能曲線及觀測地層(含水層)的導水係數(T)。

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 $\Delta Q_1$，第 2 級增量 $\Delta Q_2$ 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 $(0 \sim n\Delta t, min)$

$\Delta Q_i$：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，$i=1\sim n$

$\Delta t$：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 $\dfrac{\log(s_2/Q_2-B)-\log(s_1/Q_1-B)}{\log Q_2-\log Q_1}=p-1$，可得 $p$ 值。$\log Q=\log 1=0$ 時直線之截距等於 $\log C$，故 $\dfrac{\log(s/Q-B)-\log C}{\log Q-\log 1}=p-1$，可求得 C 值。

(1)100 年彭厝站

由 87 年度鑽探資料顯示，彭厝站之地層以礫石層為主，因此本次觀測井及抽水井之地層取樣工作，為避免淺層鬆散之礫石層在取樣過程產生大量崩落之狀況，故採取以鑽頭鑿碎再以吊泥桶取出砂樣之方式進行。依砂樣資料初步判定地層岩性以礫石層為主，因此淺層鑽深至 30m 後，即進行抽水井(P1)及試驗井(W1)下管作業(圖 3.3-2、3.3-3)。

下管完成後進行洗井擴水工作，接續安裝抽水機進行試抽工作，俟水色澄清後，準備進行試水工作。

抽水試驗計劃進行抽水井(P1)及試驗井(W1)分級試水各 1 組及複井抽水試驗 1 組，於抽水井(P1)安裝抽水機進行試驗，W1、O1 及 O2 井進行水位觀測。

彭厝站 P1 井分級試水，靜水位為 5.998 m，由第 1 級分級試水之抽水量 Q=86.15 cmh 及洩降差 $\Delta s_1$ =0.0129 m/log，以 $T_1$=20.450 $m^2$/min 進行分級試水分

析，分級試水之第 1 級抽水量 Q=86.15 cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 232.84cmh/m；第 2 級 Q=117.41cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 245.11 cmh/m；第 3 級 Q=145.63 cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 258.21 cmh/m；第 4 級 Q=178.36cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 252.63 cmh/m；第 5 級 Q=205.95 cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 248.13 cmh/m。

以 Birschenk(1963)方法分析，結果得 $B=0.00349$ 及 $C=2.61\times10^{-6}$；其井性能曲線式為 $s=0.00349\cdot Q+2.61\times10^{-6}\cdot Q^2$。

W1 井分級試水，靜水位為 5.639 m，由第 1 級分級試水之抽水量 Q=63.15 cmh 及洩降差 $\Delta s_1$ =0.0090 m/log，以 $T_1$=21.414 $m^2$/min 進行分級試水分析，分級試水之第 1 級抽水量 Q=63.15 cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 305.07cmh/m；第 2 級 Q=85.51cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 263.92 cmh/m；第 3 級 Q=109.39 cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 231.76 cmh/m；第 4 級 Q=135.20cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 207.04 cmh/m；第 5 級 Q=157.89 cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 192.31 cmh/m。

以 Birschenk(1963)方法分析，結果得 $B=0.002$ 及 $C=2.03\times10^{-5}$；其井性能曲線式為 $s=0.002\cdot Q+2.03\times10^{-5}\cdot Q^2$。

(2)101 年萬隆站

萬隆站位於林邊溪上游北岸，根據 84 年度鑽探資料顯示，地層以礫石層為主，本站建置 1 口抽水井(P1)，井體建置深度為 72m(圖 3.3-4)。

萬隆站 P1 井分級試水，靜水位為 27.990 m，由第 1 級分級試水之抽水量 Q=63.2 cmh 及洩降差 $\Delta s_1$ =0.006 m/log，以 $T_1$=32.132 $m^2$/min 進行分級試水分析，分級試水之第 1 級抽水量 Q=63.2 cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 267.80cmh/m；第 2 級 Q=85.5cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 217.56 cmh/m；第 3 級 Q=109.4 cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 187.01 cmh/m；第 4 級 Q=135.2cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 163.48 cmh/m；第 5 級 Q=157.9 cmh，單位洩降出水量(Q/s)為 137.66 cmh/m。

以 Rorabaugh(1953)方法分析，結果得 $B=0.0023$ 及 $C=5.19\times10^{-6}$；其井性能曲線式為 $s=0.0023\cdot Q+5.19\times10^{-6}\cdot Q^{2.356}$。

### 4.3.2 複井抽水試驗方法

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(P1)，由 P1 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(O1)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。

### 4.3.3 複井抽水試驗結果與分析

(1)彭厝站

彭厝站於 P1 安裝抽水機，於 W1 井觀測水位，以完成一組抽水試驗，W1 靜水位 5.811m，靜水位於試水期間為上升趨勢，以水位上升率為 $3.347\times10^{-5}$ m/min 修訂水位。

抽水量 Q = 205.95cmh，井距 r = 5.95 m，以 Neuman 法分析，考慮以濾水管位置 7~30m 之部分貫穿，得 T =22.34 $m^2$/min，S = 0.01013，Sy = 0.1287。

(2)萬隆站

萬隆站於 P1 安裝抽水機，於 O1 井觀測水位，進行一組抽水試驗，觀測井一(O1)靜水位 28.13m，靜水位於試水期間為上升趨勢，以水位上升率為 $7.426\times10^{-5}$ m/min 修訂水位，抽水量 Q = 157.9cmh，井距 r = 9.62 m，考慮以濾水管位置 42~66m 之部分貫穿，得 T =16.63 $m^2$/min，S = 0.0006083，Sy = 0.124。

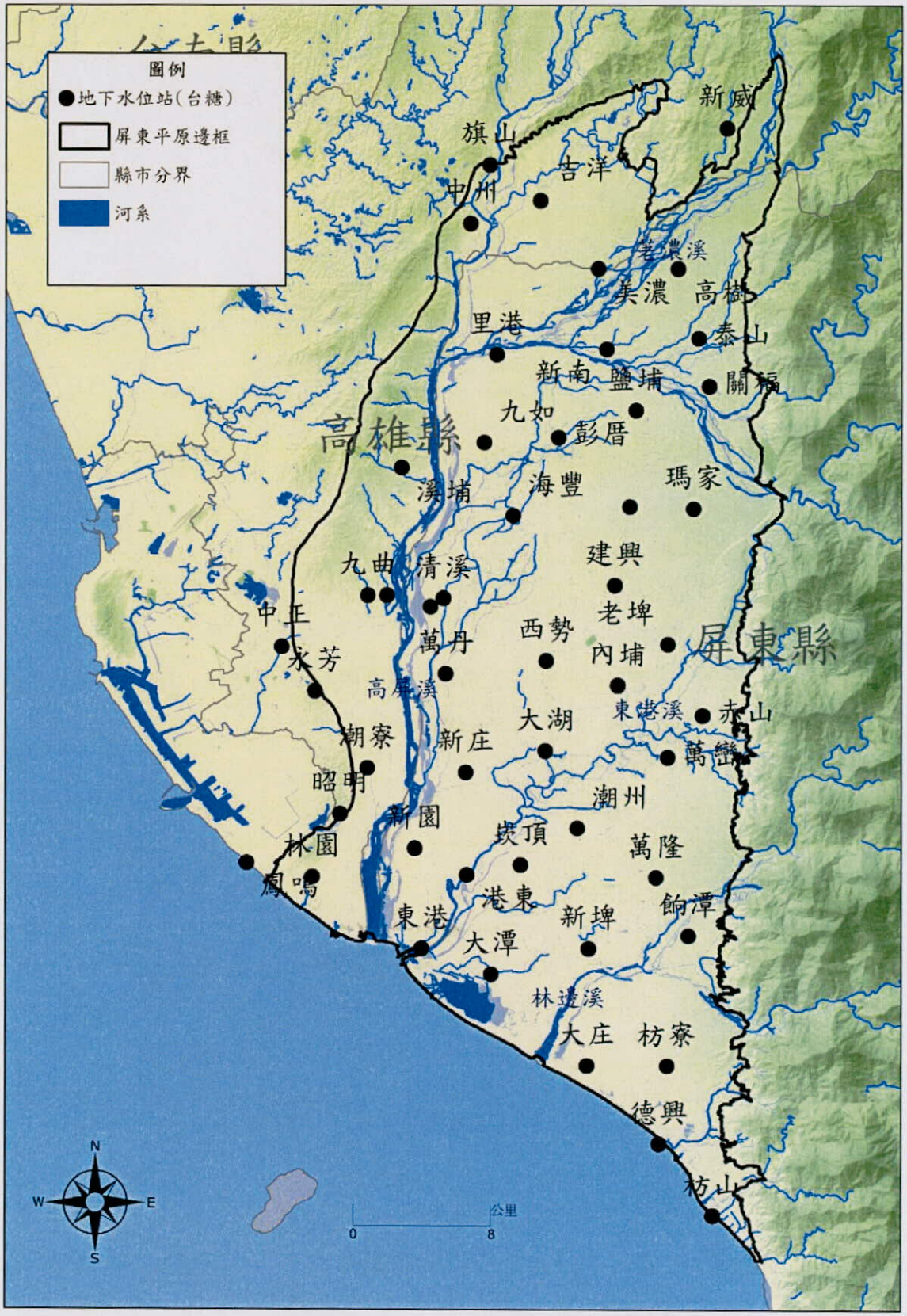



圖 4.3-1 屏東平原各站井分佈圖

# 第五章 地下水主要補注區範圍評估

本章節將建立一套完整的地下水主要補注區評估流程。5.1 節說明地下水補注潛勢評估作業程序以及說明「地下水補注潛勢」所使用之因子。5.2 節將說明地下水補注潛勢各項因子原始屬性建立以及轉換成因子分數的圖層繪製。5.3 節為依據「地下水補注潛勢」、「二維地電阻」兩者進行主要補注區之結果分析。

## 5.1 主要補注區範圍評估流程

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，主要補注區是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。圖 5.1-1 為主要補注區劃分作業流程圖，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範圍。

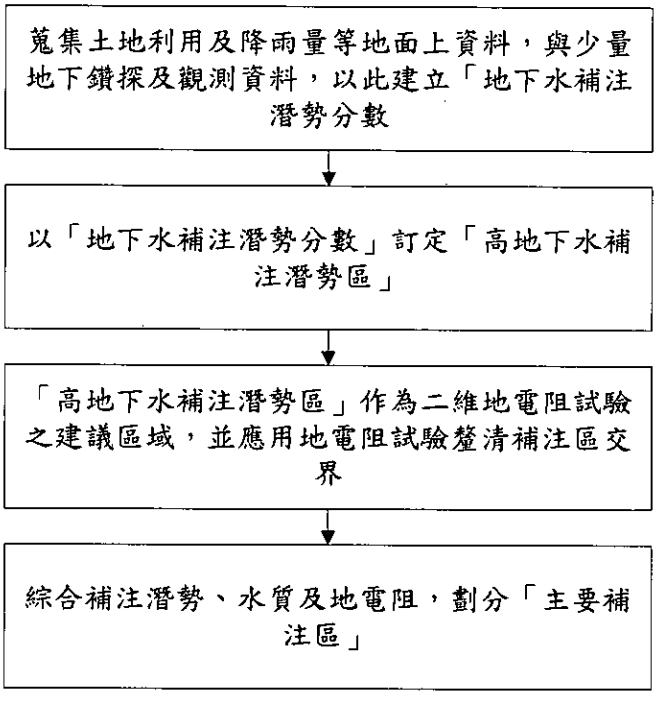



圖 5.1-1 主要補注區劃分作業流程圖

本計畫針對屏東平原之水文地質特性，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 5.1-2 所示。

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，配合屏東平原之水文地質特性，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 5.1-1 所示)。

地下水補注潛勢評估作業程序如圖 5.1-2 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 5.1-3 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 5.1-1 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。 |

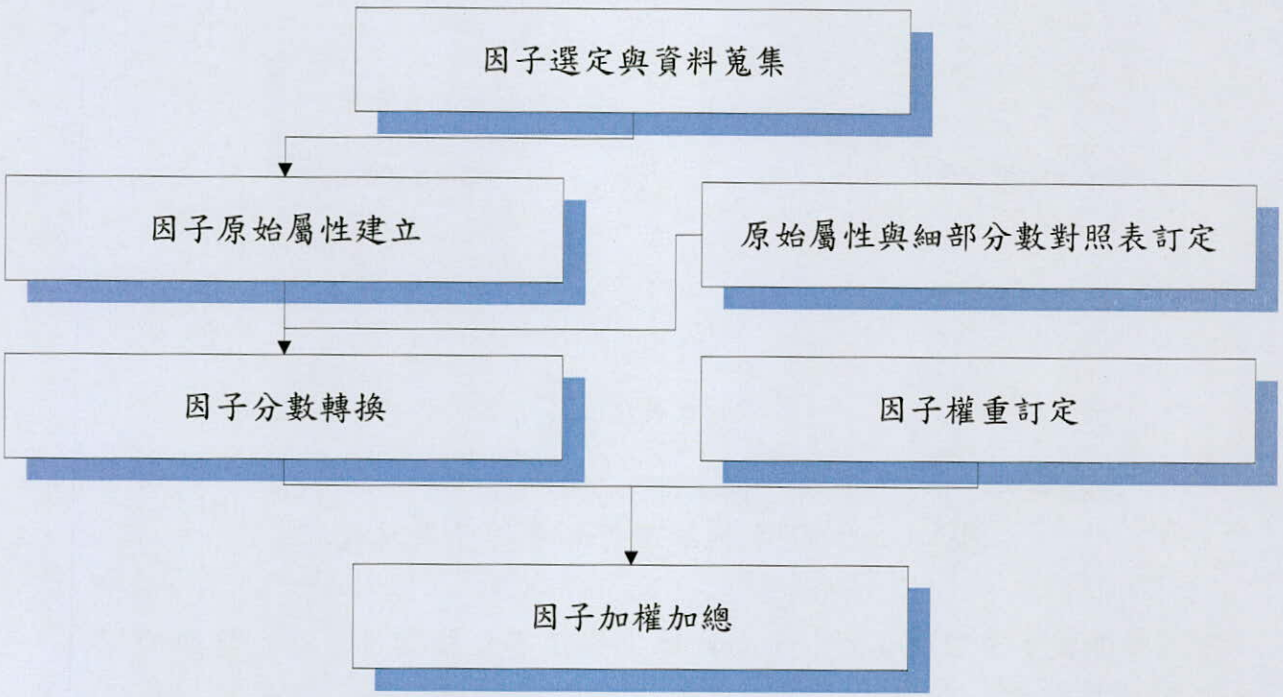



圖 5.1-2 地下水補注潛勢評估作業程序

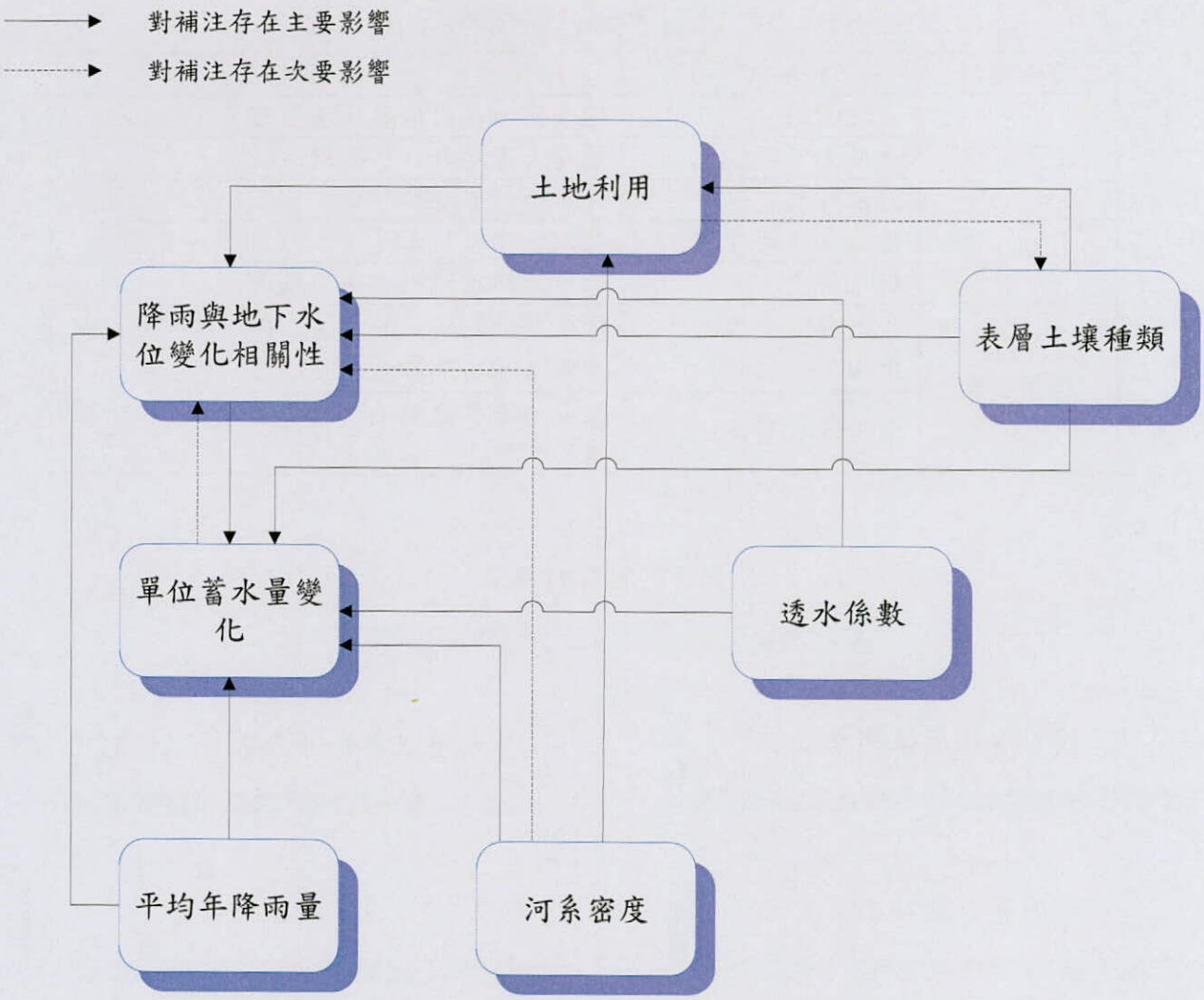



圖 5.1-3 地下水補注潛勢影響因子關係圖

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 5.1-3 為本計畫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 5.1-1 所示。

$$\omega_i = \frac{N_i^{maj} \times 1 + N_i^{\min} \times 0.5}{\sum_{i=1}^{7} (N_i^{maj} \times 1 + N_i^{\min} \times 0.5)} \times 100\% \quad \text{.....(式 5.1-1)}$$

其中，$\omega_i$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 5.1-3 為本計畫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 5.1-2 為本計畫藉由 Shaban 建議之方法訂定之因子權重表。

表 5.1-2 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 5.1-2 所示)，然本計畫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 5.1-3 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。

$$G_i^m = \overline{G}_i^k,\ \ if\ \ F_i^m = \overline{F}_i^k,\ \ for\ \ k = 1,...,N\ \ for\ \ i = 1,2 \quad \text{.....(式 5.1-2)}$$

$$G_{i,j} = \frac{\sum Area_i^m \times G_i^m}{\sum Area_i^m},\ \ m \in Cell_j \quad \text{.....(式 5.1-3)}$$

$$G_{i,j} = \left[F_{i,j} - F_i^{\min}\right] / \left[F_i^{\max} - F_i^{\min}\right] \times 100\ \ for\ \ i = 3,...,7 \quad \text{.....(式 5.1-4)}$$

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；$\overline{F_i^k}$ 為第 i 種因子於第 k 組的原始屬性；$\overline{G_i^k}$ 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。

$$RP_j = \sum_{i=1}^{7} \omega_i \times G_{i,j} \quad \text{.....(式 5.1-5)}$$

最後，式 5.1-5 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；$\omega_i$ 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。

## 5.2 補注潛勢分析

本計畫項目所使用之軟體詳列於表 5.2-1。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 5.2-1 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 |

### 5.2.1 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，即為屏東平原之土地利用圖層(如圖 5.2-1 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 5.2-2 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 5.2-2 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 5.2-2 所示)。

此外，由於在河道上並無土壤資料之調查記錄，觀察河道兩側之土壤，由上游往下游逐步從礫轉變為砂，故在此亦以相同的界線，河道上游段則直接補以礫材質，下游段則補以砂材質。此外，屏東市已被人工構造物覆蓋，大鵬灣為潟湖，故兩者均無土壤調查記錄，由於大鵬灣已位處於下游沿海處，從沖刷特性與區位來看，故補以為泥材質；屏東市部分由於上方已被大量之不透水人工構造物覆蓋，如以此觀點來看，不應被劃入主要補注區內，故在此補以泥材質。

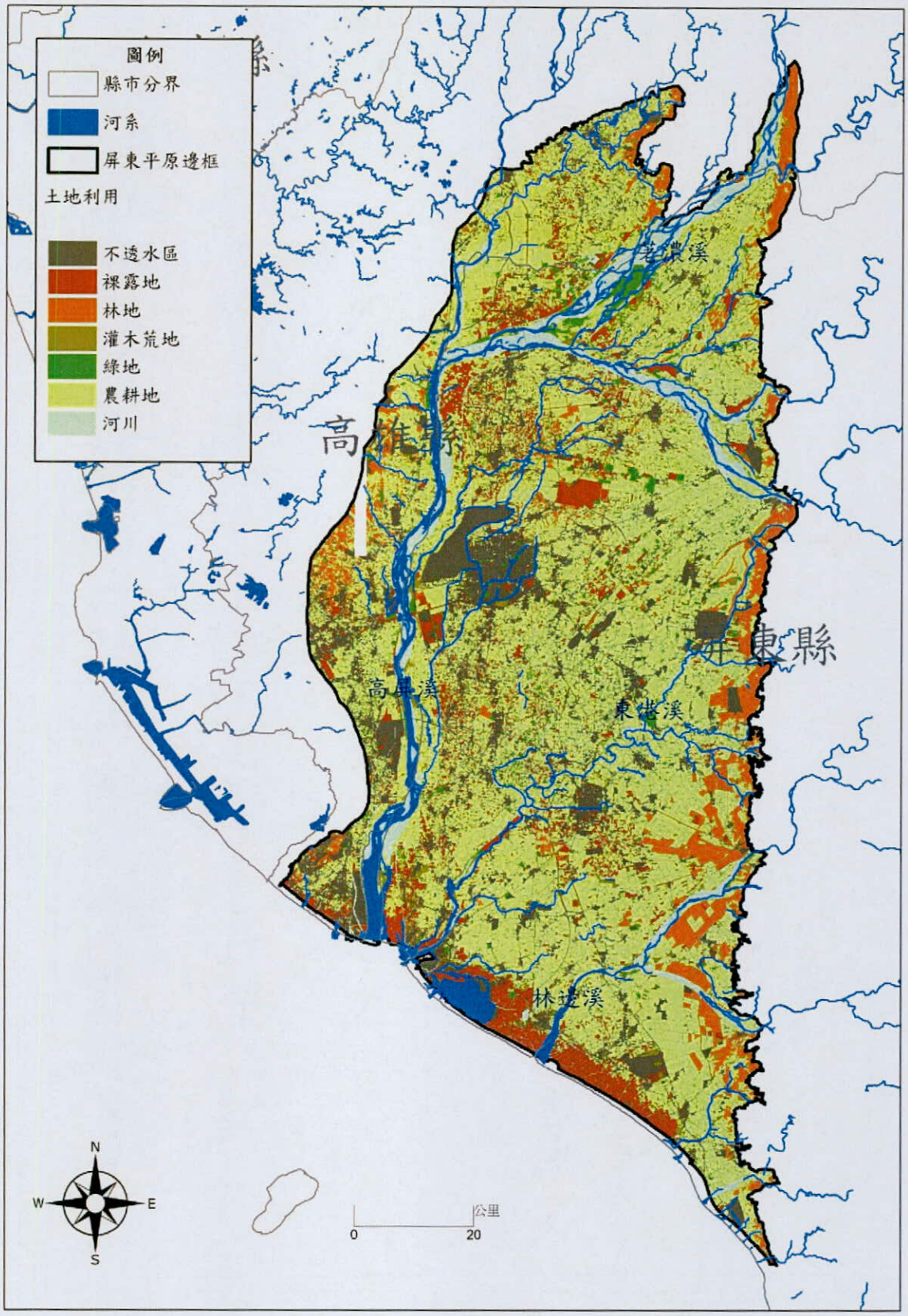
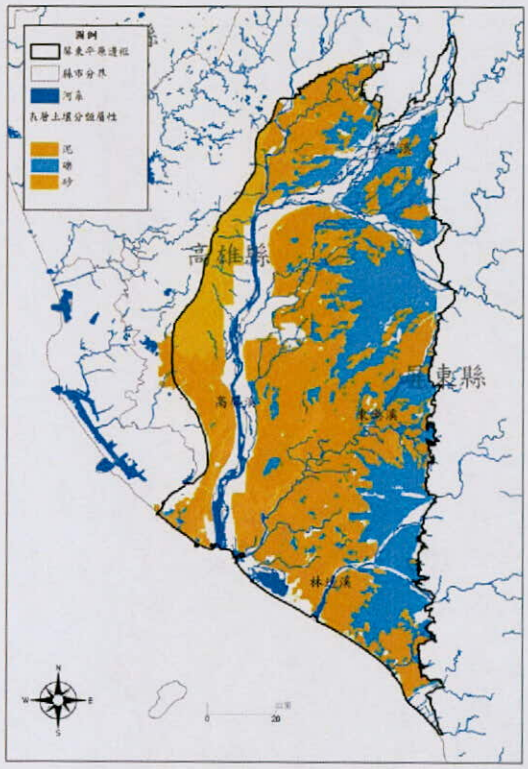
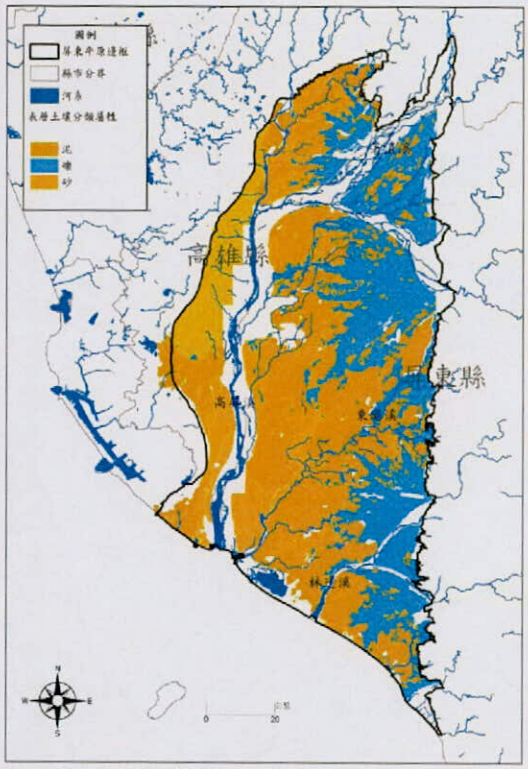


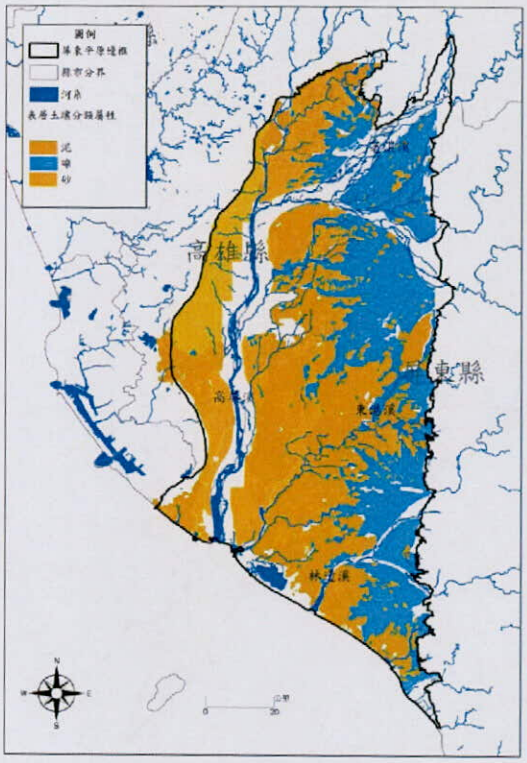

圖 5.2-1 屏東平原土地利用計畫分類圖層



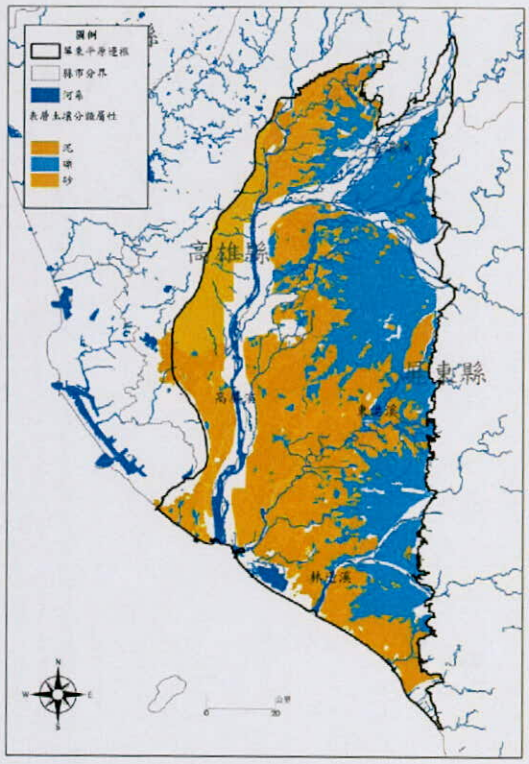

(a)0~30cm 深度土壤種類




(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 5.2-2 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，因此本計畫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」，由於地質調查所依據地質鑽探繪製屏東平原水文地質剖面圖，其中將屏東平原之概念分層分為含水層一、二、三與四(F1~F4)及阻水層一、二、三與四(T1~T4)。本工作項目係取出地下含水層一(F1)內之 47 口地下水位觀測井透水係數值，再將各井位之透水系數值以克力金法(Kriging)內插至一公里見方之網格中心，由於透水係數數值之因次相差甚大，最大如枋寮(1)為 0.3522 (m/min)，最小如新威(1)為 0.00000416 (m/min)，且部分網格相較於站井位置屬於外圍，故在空間上已為外插，因此外圍網格容易出現負值，與實際物理現象有異。為解決此一問題，首先以自然對數將站井透水係數進行轉換，其次將站井之對數透水係數進行克力金內插，最後再以指數運算還原為透水係數，如此即可避免外圍網格之內插值為負值之問題。網格化之屏東平原透水係數分布圖如圖 5.2-3 所示。

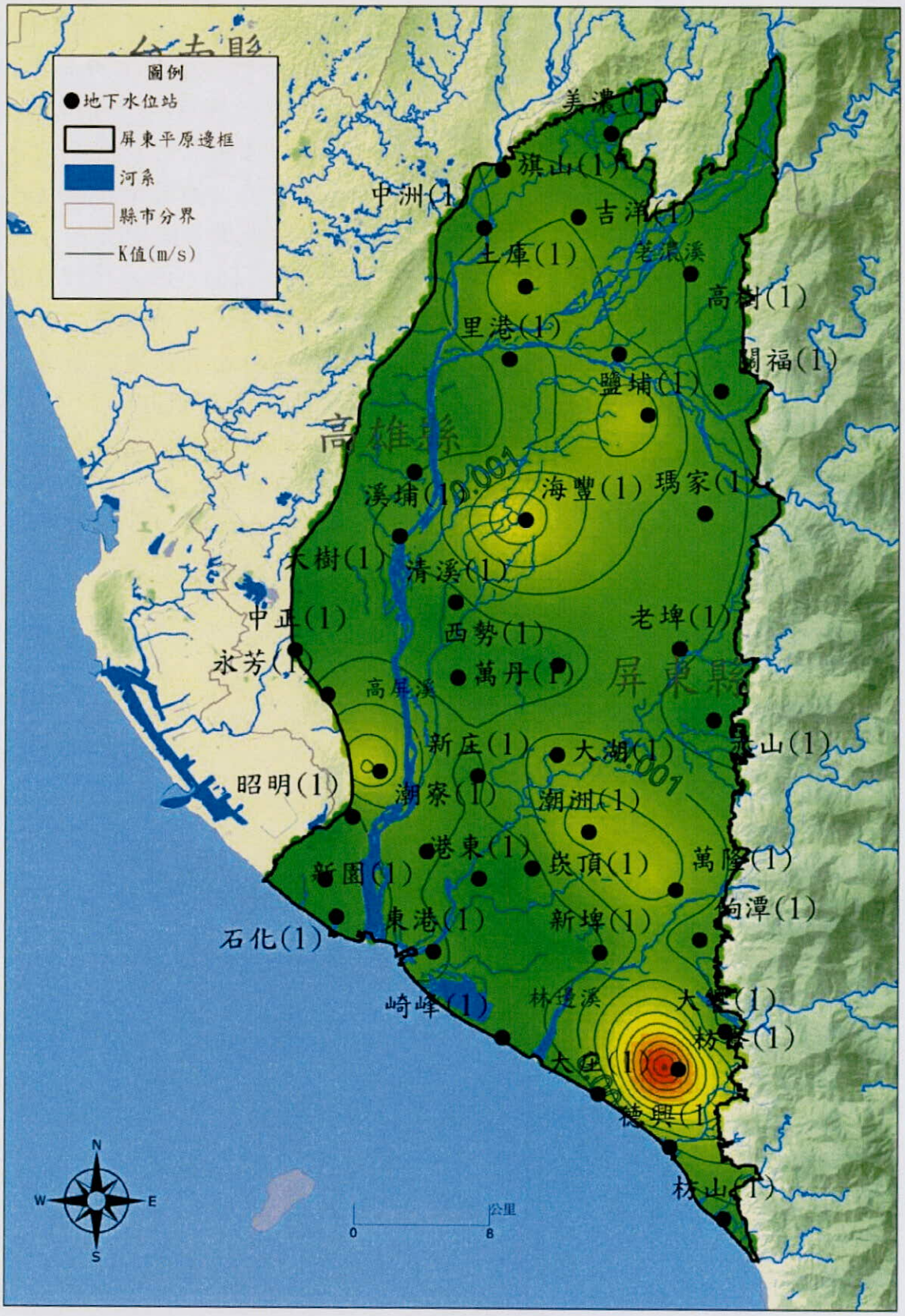



圖 5.2-3 屏東平原含水層一(F1)透水係數分布圖

### 5.2.2 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**

屏東平原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 5.2-4)，其因次為單位面積之河系線段長度，由於本計畫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。

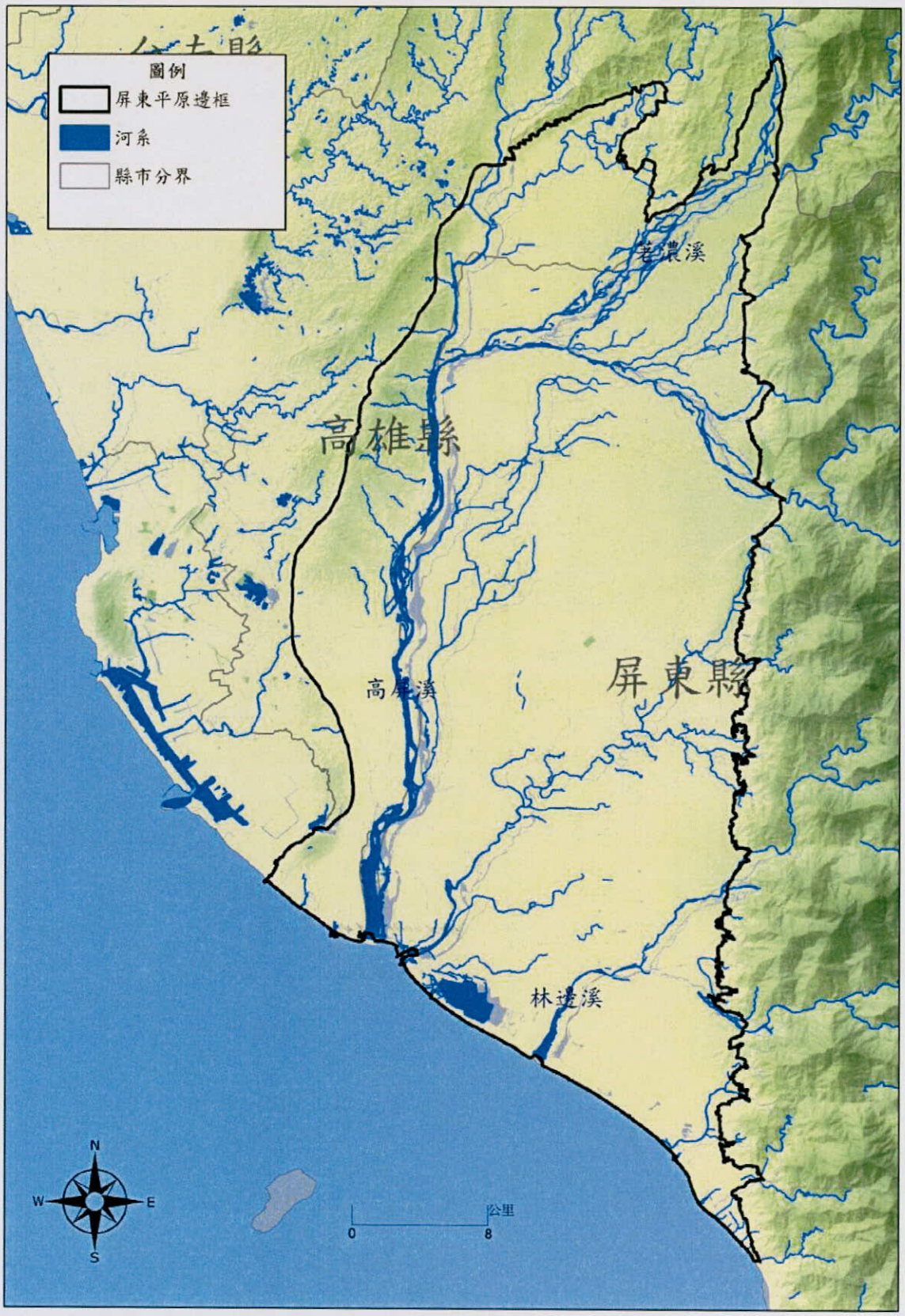



圖 5.2-4 屏東平原河系圖

## 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年降雨量納入地下水補注潛勢因子。

本計畫雨量資量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 5.2-5 所示，使用資料為 1995-2010 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 5.2-6 所示。

### 5.2.3 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 5.2-5 所示。資料蒐集期距自西元 1997/01/01 至 2010/12/31 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 47 口井，如圖 5.2-7 所示，資料蒐集期距自西元 1997/01/01 至 2010/12/31 之每日觀測數據。

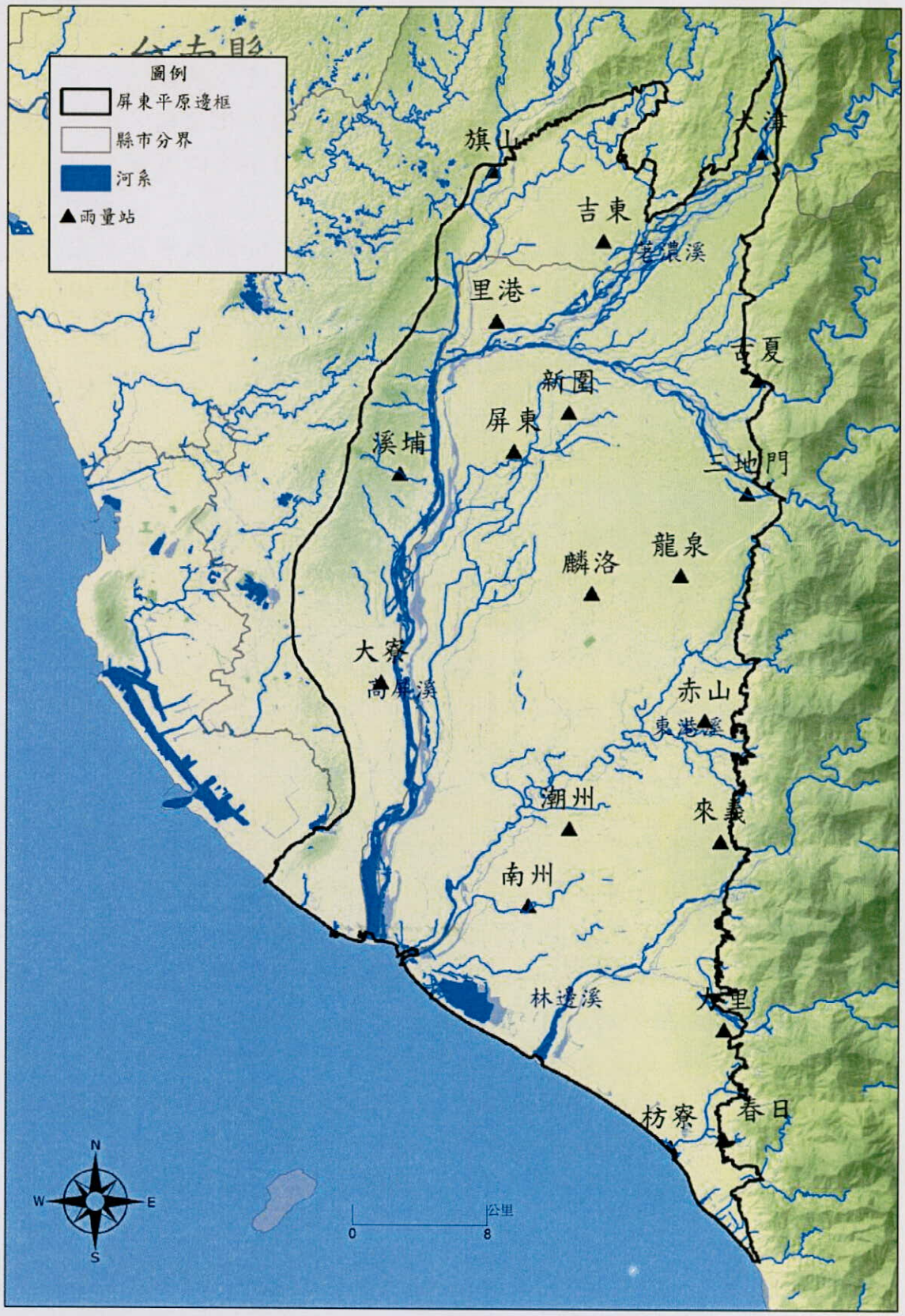



圖 5.2-5 平均年降雨量因子選取之雨量站

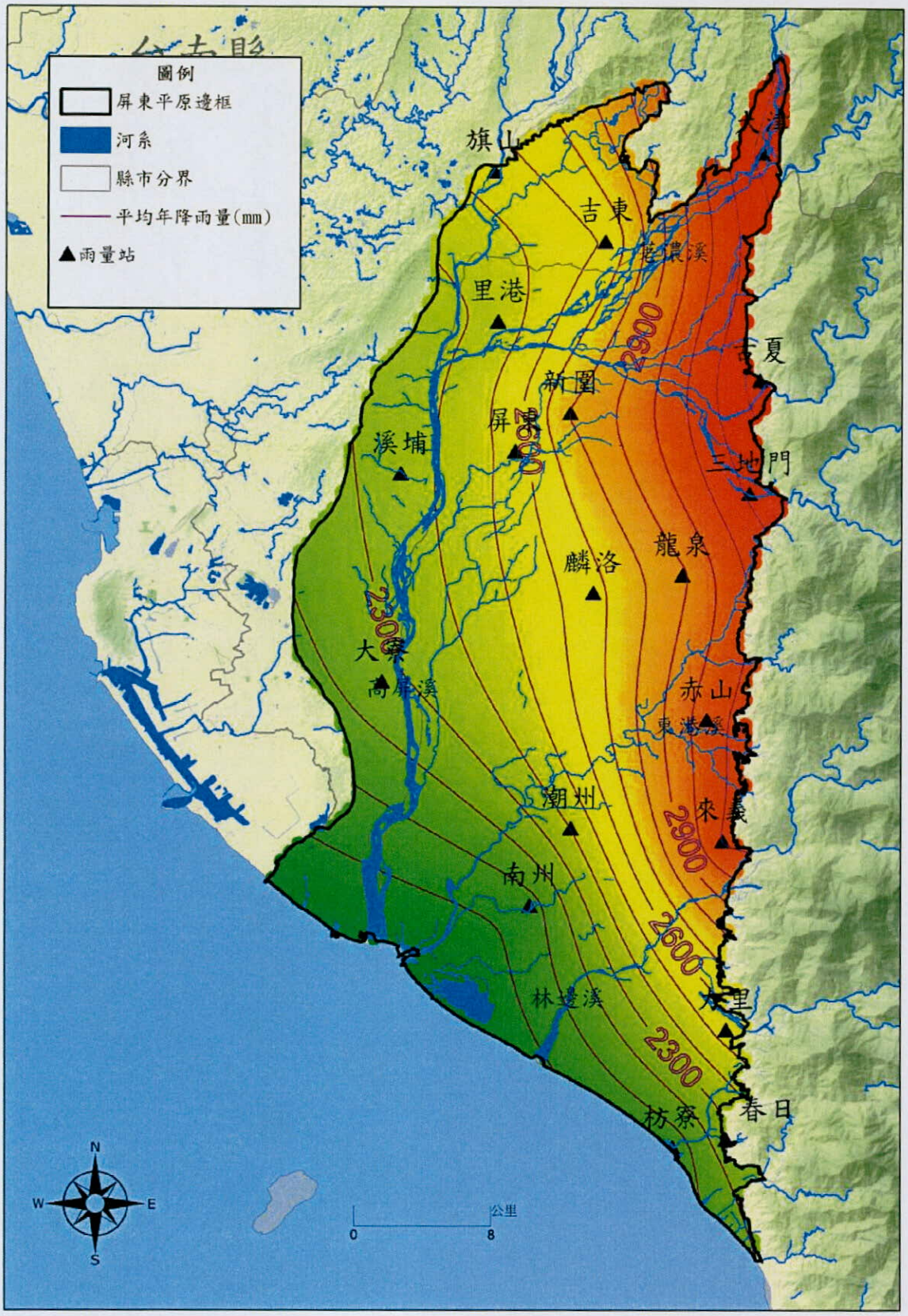



圖 5.2-6 本計畫選取雨量站之平均年降雨量分布圖

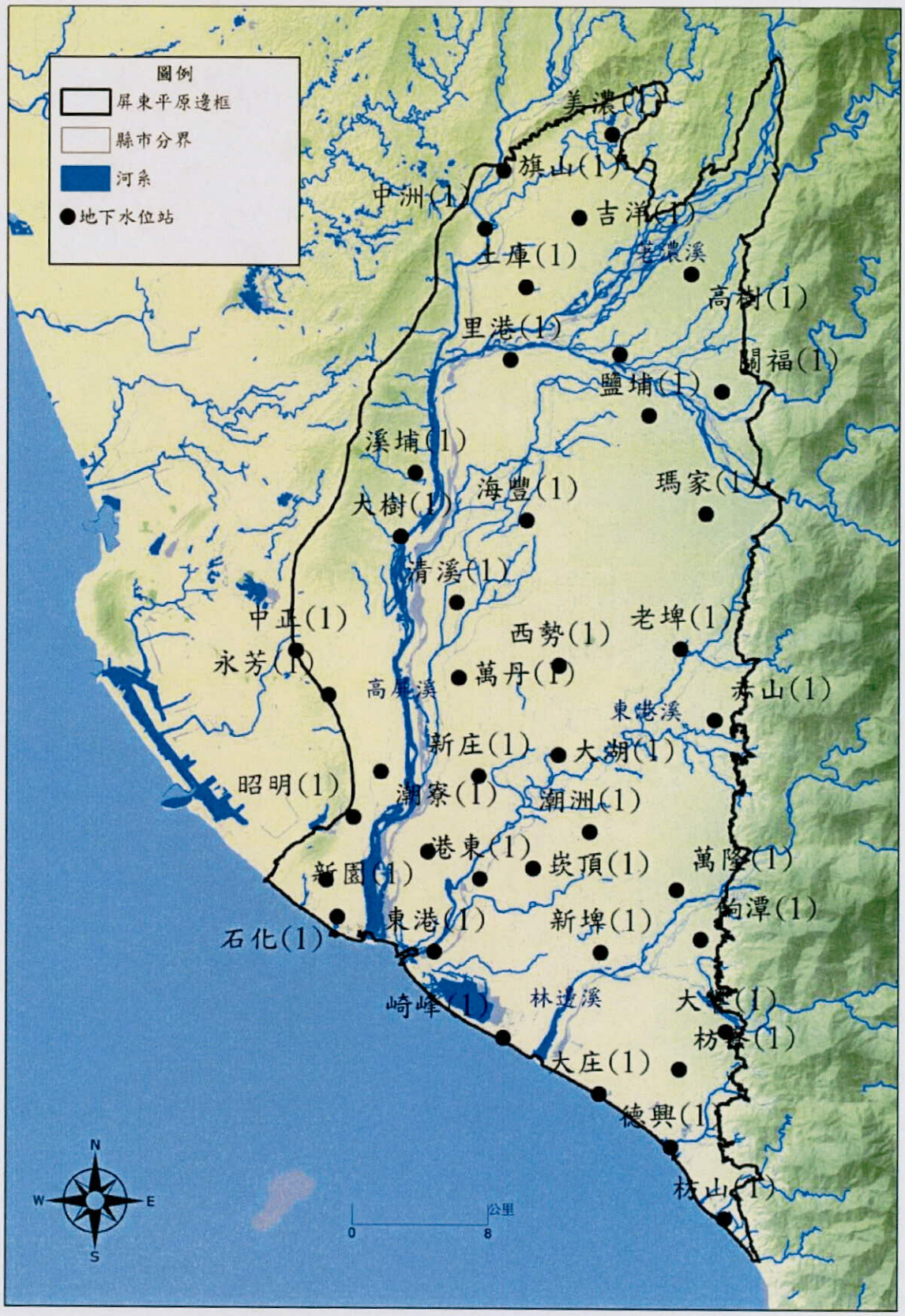



圖 5.2-7 屏東平原地下水位站分布圖

為考量屏東平原降雨量與地下水間之相關性，本計畫首先找出空間上最鄰近之雨量站，如表 5.2-3 所示。作法上是將水位站之「地下水位上升量」與最鄰近雨量站之「累積降雨量」進行相關係數分析。以潮寮(1)站為例，該站位於高屏溪下游之屏東縣大寮鄉，屬於非受壓含水層，其最鄰近雨量站為大寮，該站地下水位與降雨相關性為 0.923。

得到所有水井地下水位上升量與最鄰近雨量站累積降雨量之相關係數後，再利用克力金法(Kriging)內插至各網格中心，圖 5.2-8 即為降雨與地下水位相關性分布圖。

表 5.2-3 地下水井與鄰近雨量站列表

| 井號 | 井名 | 鄰近雨量站 | 相關係數 | 井號 | 井名 | 鄰近雨量站 | 相關係數 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12010111 | 中正(1) | 大寮 | 0.665 | 13100211 | 彭厝(1) | 新園 | 0.838 |
| 12020111 | 石化(1) | 南州 | 0.882 | 13110111 | 高樹(1) | 吉東 | 0.868 |
| 12020211 | 林園(1) | 大寮 | 0.933 | 13110211 | 泰山(1) | 古夏 | 0.860 |
| 12030111 | 潮寮(1) | 大寮 | 0.956 | 13110311 | 新南(1) | 新園 | 0.563 |
| 12030211 | 永芳(1) | 大寮 | 0.876 | 13110411 | 關福(1) | 古夏 | 0.813 |
| 12030311 | 昭明(1) | 大寮 | 0.822 | 13120211 | 赤山(1) | 赤山 | 0.400 |
| 12040111 | 溪埔(1) | 溪埔 | 0.957 | 13130111 | 建興(1) | 麟洛 | 0.947 |
| 12040311 | 大樹(1) | 溪埔 | 0.872 | 13130311 | 老埤(1) | 龍泉 | 0.932 |
| 12190111 | 中洲(1) | 旗山 | 0.924 | 13140111 | 西勢(1) | 麟洛 | 0.491 |
| 12190211 | 旗山(1) | 旗山 | 0.961 | 13140211 | 大湖(1) | 潮州 | 0.774 |
| 12200111 | 吉洋工作站(1) | 吉東 | 0.883 | 13150111 | 新埤(1) | 南州 | 0.409 |
| 12200211 | 美濃(1) | 吉東 | 0.156 | 13150211 | 萬隆(1) | 來義 | 0.881 |
| 12210111 | 新威(1) | 大津 | 0.884 | 13150311 | 大響(1) | 力里 | 0.665 |
| 13010111 | 清溪(1) | 大寮 | 0.963 | 13150411 | 餉潭(1) | 來義 | 0.615 |
| 13010211 | 海豐(1) | 屏東 | 0.929 | 13160211 | 枋寮(1) | 力里 | 0.842 |
| 13020111 | 潮州(1) | 潮州 | 0.801 | 13160311 | 大庄(1) | 枋寮 | 0.600 |
| 13030211 | 東港(1) | 南州 | 0.768 | 13160411 | 德興(1) | 枋寮 | 0.532 |
| 13050111 | 新庄(1) | 潮州 | 0.941 | 13170111 | 新園(1) | 南州 | 0.932 |
| 13050211 | 萬丹(1) | 大寮 | 0.925 | 13180111 | 崁頂(1) | 南州 | 0.523 |
| 13060111 | 繁華(1) | 龍泉 | 0.948 | 13180211 | 港東(1) | 南州 | 0.567 |
| 13080111 | 九如(1) | 屏東 | 0.887 | 13190111 | 崎峰(1) | 南州 | 0.739 |
| 13090111 | 土庫(1) | 里港 | 0.933 | 13250111 | 枋山(1) | 春日 | 0.678 |
| 13090211 | 里港(1) | 里港 | 0.899 | 13280111 | 瑪家(1) | 三地門 | 0.948 |
| 13100111 | 鹽埔(1) | 新園 | 0.808 | | | | |

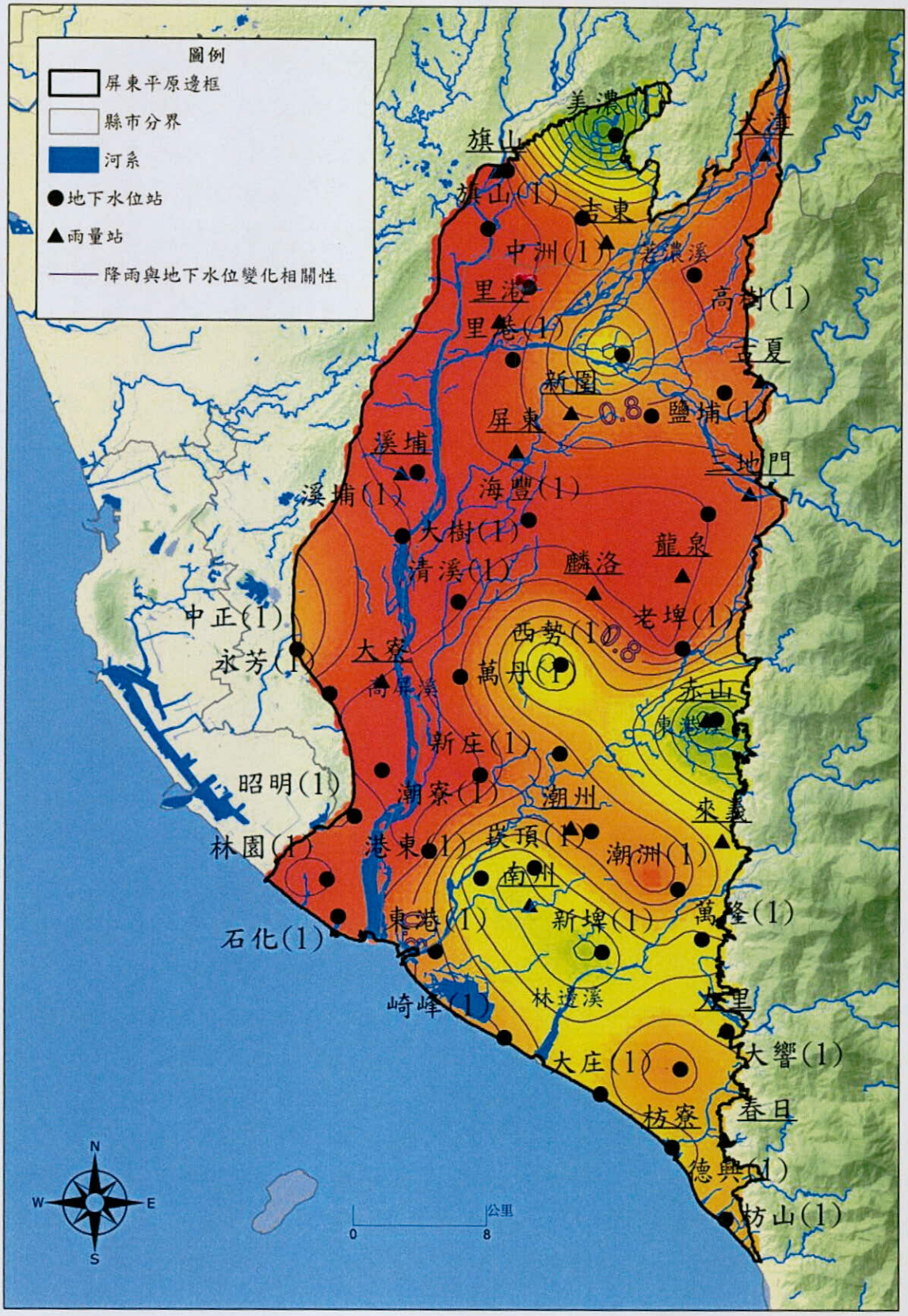



圖 5.2-8 降雨與地下水位變化相關性分布圖

## 二、單位蓄水量變化

各含水層蓄水量之增減，在非受壓地下水層中，主要是由地下水面之升降，亦即地下水飽和含水體積之增減來儲存或支出；在受壓含水層中，則屬於彈性蓄水，相較於非受壓地下水層而言，其蓄水量變化極小。在地下水蓄水變化量之計算上，水位變化量乘上儲水係數或比流出率，即為含水層蓄水量之變化量。

在水平衡方程式中，控制體積內的蓄水量變化應等於補注量、抽水量與水平交換量等穿越控制表面之流通量，因此在有大量水源流入(如補注量)或流出(如抽水量)之區域，其應有較大幅度之蓄水變化量(亦即較大之水位變化)。換句話說，較大之蓄水變化量區域亦可能為補注量較大之區域。

式 5.2-2 為估算單位蓄水量變化之公式，其計算水位站之歷史觀測水位標準差，再將標準差乘上該站井之儲水係數或比流出率，為單位面積之含水層蓄水體積標準差，在此稱為單位蓄水量變化。

$$\overline{S} = \sigma \times S \quad \text{(式 5.2-2)}$$

$\overline{S}$：單位蓄水量變化

$\sigma$：地下水位標準差

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

$S$：受壓含水層為儲水係數(S)，非受壓含水層為比出水率(Sy)

本計畫蒐集屏東平原表層站井(如圖 5.2-7 所示)，水井之儲水係數節錄自中央地質調查所屏東平原地下水自然補注之研究與第十七號彙刊。計算方式分為兩個階段，首先計算出各站之單位蓄水量變化，表 5.2-4 為各站之水位標準差及單位蓄水量變化；其次再以克力金法內插至各格網，由於受壓水層之儲水係數與非受壓水層之比流出率因次上差異極大，因此在單位蓄水量變化上亦有相同之趨勢，因此在部分外圍網格方面，容易有負號之內插值。在此仿透水係數之處理方式，首先將原始數值以自然對數進行轉換，其次再進行內插，最後再以指數運算轉換為單位蓄水量變化。圖 5.2-9 為屏東平原之單位蓄水量變化分布圖，大響(1)及餉潭(1)單位蓄水量變化較高。

表 5.2-4 各井之儲水係數與單位蓄水量變化

| 井名 | S | Sy | 水位標準差 | 單位蓄水量變化 (m) |
|---|---|---|---|---|
| 中正(1) | 0.000514 | - | 2.83 | 0.000044 |
| 石化(1) | - | 0.173 | 0.46 | 0.0736 |
| 林園(1) | - | 0.173 | 0.64 | 0.1024 |
| 潮寮(1) | - | 0.071 | 1.09 | 0.07739 |
| 永芳(1) | 0.000514 | - | 0.97 | 0.000015 |
| 昭明(1) | 0.000514 | - | 0.78 | 0.000012 |
| 溪埔(1) | - | 0.173 | 2.14 | 0.3424 |
| 大樹(1) | - | 0.188 | 1.30 | 0.2444 |
| 中洲(1) | 0.000514 | - | 1.28 | 0.00002 |
| 旗山(1) | - | 0.193 | 1.22 | 0.23546 |
| 吉洋工作站(1) | - | 0.173 | 2.74 | 0.4384 |
| 美濃(1) | 0.000514 | - | 1.74 | 0.000027 |
| 新威(1) | - | 0.071 | 1.35 | 0.216 |
| 清溪(1) | - | 0.173 | 0.88 | 0.1408 |
| 海豐(1) | - | 0.239 | 0.91 | 0.21749 |
| 潮州(1) | 0.000514 | - | 1.41 | 0.000022 |
| 東港(1) | - | 0.173 | 0.27 | 0.0432 |
| 新庄(1) | - | 0.173 | 0.63 | 0.1008 |
| 萬丹(1) | - | 0.173 | 1.20 | 0.192 |
| 繁華(1) | - | 0.15 | 3.25 | 0.4875 |
| 九如(1) | - | 0.173 | 1.34 | 0.2144 |
| 土庫(1) | - | 0.173 | 1.64 | 0.2624 |
| 里港(1) | 0.000514 | - | 1.50 | 0.000023 |
| 鹽埔(1) | - | 0.173 | 3.88 | 0.6208 |
| 彭厝(1) | - | 0.173 | 1.48 | 0.2368 |
| 高樹(1) | - | 0.00175 | 6.62 | 1.0592 |
| 泰山(1) | - | 0.173 | 6.27 | 1.0032 |
| 新南(1) | - | 0.123 | 2.28 | 0.28044 |
| 關福(1) | - | 0.123 | 7.40 | 0.9102 |
| 赤山(1) | 0.000514 | - | 2.31 | 0.000036 |
| 建興(1) | - | 0.173 | 2.30 | 0.368 |
| 老埤(1) | - | 0.173 | 2.02 | 0.3232 |
| 西勢(1) | - | 0.173 | 0.48 | 0.0768 |
| 大湖(1) | - | 0.173 | 0.57 | 0.0912 |

表 5.2-4 各井之儲水係數與單位蓄水量變化(續)

| 井名 | S | Sy | 水位標準差 | 單位蓄水量變化 (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| 新埤(1) | 0.000514 | - | 0.90 | 0.000014 |
| 萬隆(1) | - | 0.173 | 5.89 | 0.9424 |
| 大嚮(1) | - | 0.173 | 8.80 | 1.408 |
| 餉潭(1) | - | 0.173 | 7.81 | 1.2496 |
| 枋寮(1) | - | 0.173 | 5.85 | 0.936 |
| 大庄(1) | 0.000514 | - | 1.90 | 0.000029 |
| 德興(1) | - | 0.173 | 0.18 | 0.0288 |
| 新園(1) | - | 0.173 | 1.26 | 0.2016 |
| 崁頂(1) | - | 0.0125 | 1.76 | 0.022 |
| 港東(1) | 0.000514 | - | 0.44 | 0.000007 |
| 崎峰(1) | - | 0.173 | 0.42 | 0.0672 |
| 枋山(1) | - | 0.173 | 1.06 | 0.1696 |
| 瑪家(1) | - | 0.173 | 5.14 | 0.8224 |

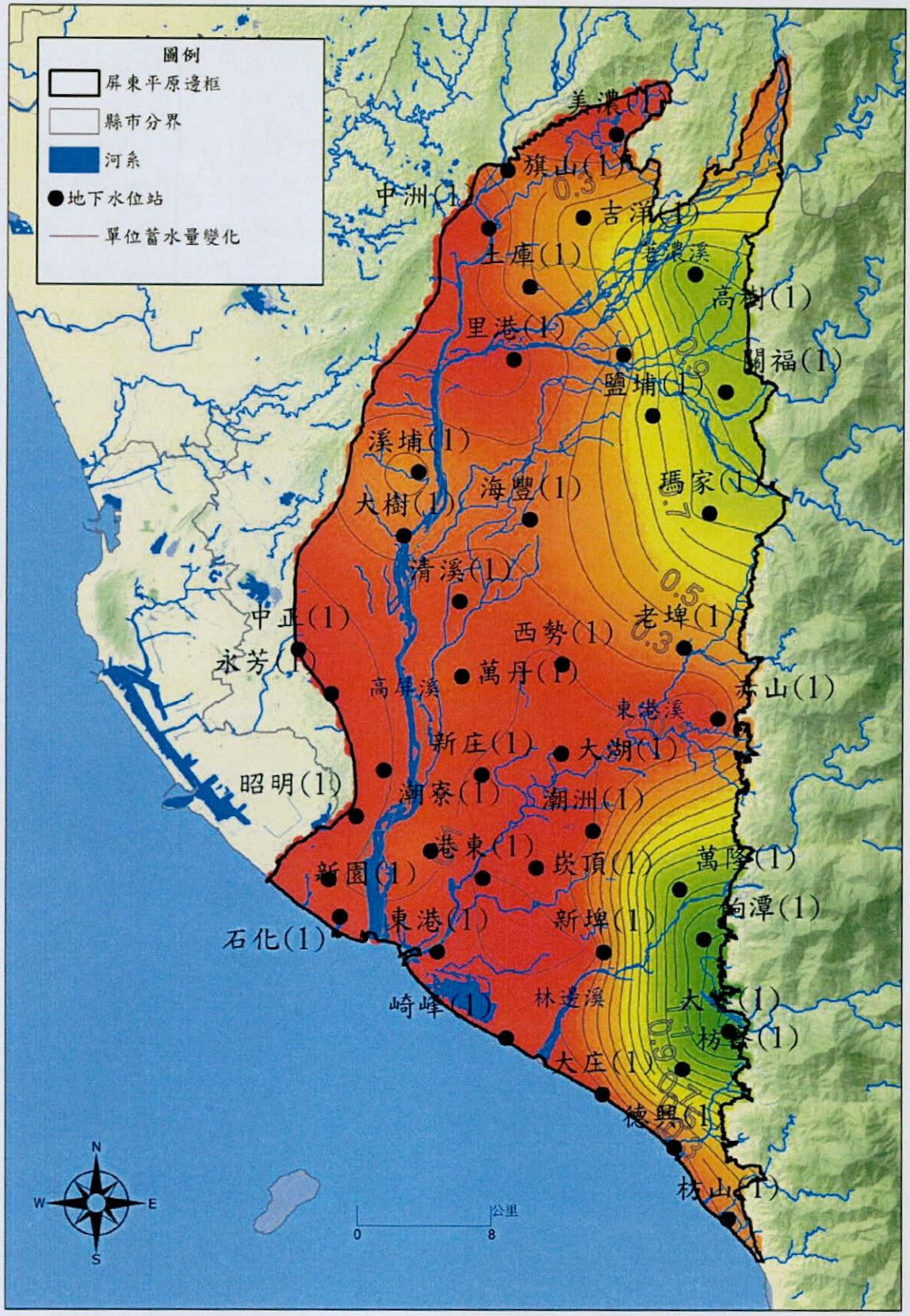



圖 5.2-9 單位蓄水量變化分布圖

於 5.1 節已經說明如何由原始屬性決定因子分數，其中式 5.1-2 與 5.1-3 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 5.1-4 進行計算。5.2 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。

前述 5.1 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 5.2-5 所示)，難以直接應用於補注潛勢之估算上，本計畫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 5.2-6 所示，表中亦同時呈現本計畫於土地利用分數建議值，表 5.2-7 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。

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 5.2-6 與 5.2-7 之因子分數，圖 5.2-10 與 5.2-11 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 5.2-12 至 5.2-16 分別為五項因子之潛勢分數分布圖。最後，綜合 7 項因子之潛勢分數分布圖，則可繪得地下水補注潛勢分布圖，如圖 5.2-17 所示。

表 5.2-5 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 |

表 5.2-5 土地利用屬性與重新分類表(續)

| 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 |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 |
| 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 5.2-6 土地利用重分類屬性代碼與因子分數表

| 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 |
| 因子分數為本計畫建議值 | | |

表 5.2-7 表層土壤分類屬性代碼與因子分數表

| 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 | 坋土 | 坋土，坋質壤土 | 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，坋質粘壤土 | 30 |
| 9 | 坋質粘土 | 坋質粘土 | 20 |
| 10 | 粘土 | 粘土 | 10 |
| 11 | 石礫 | 石礫 | 100 |
| 因子分數為本計畫建議值 | | | |

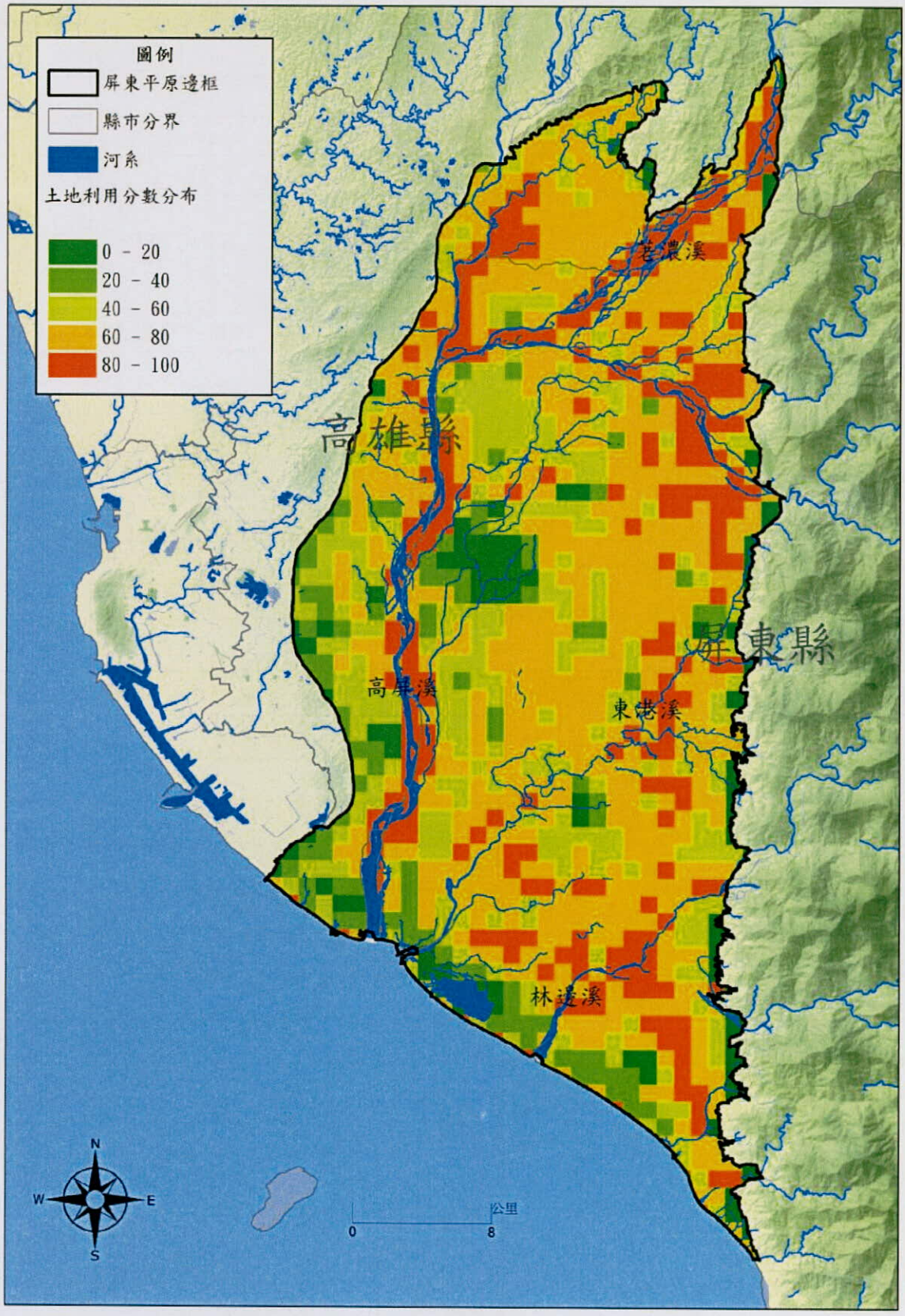



圖 5.2-10 土地利用分數分布圖

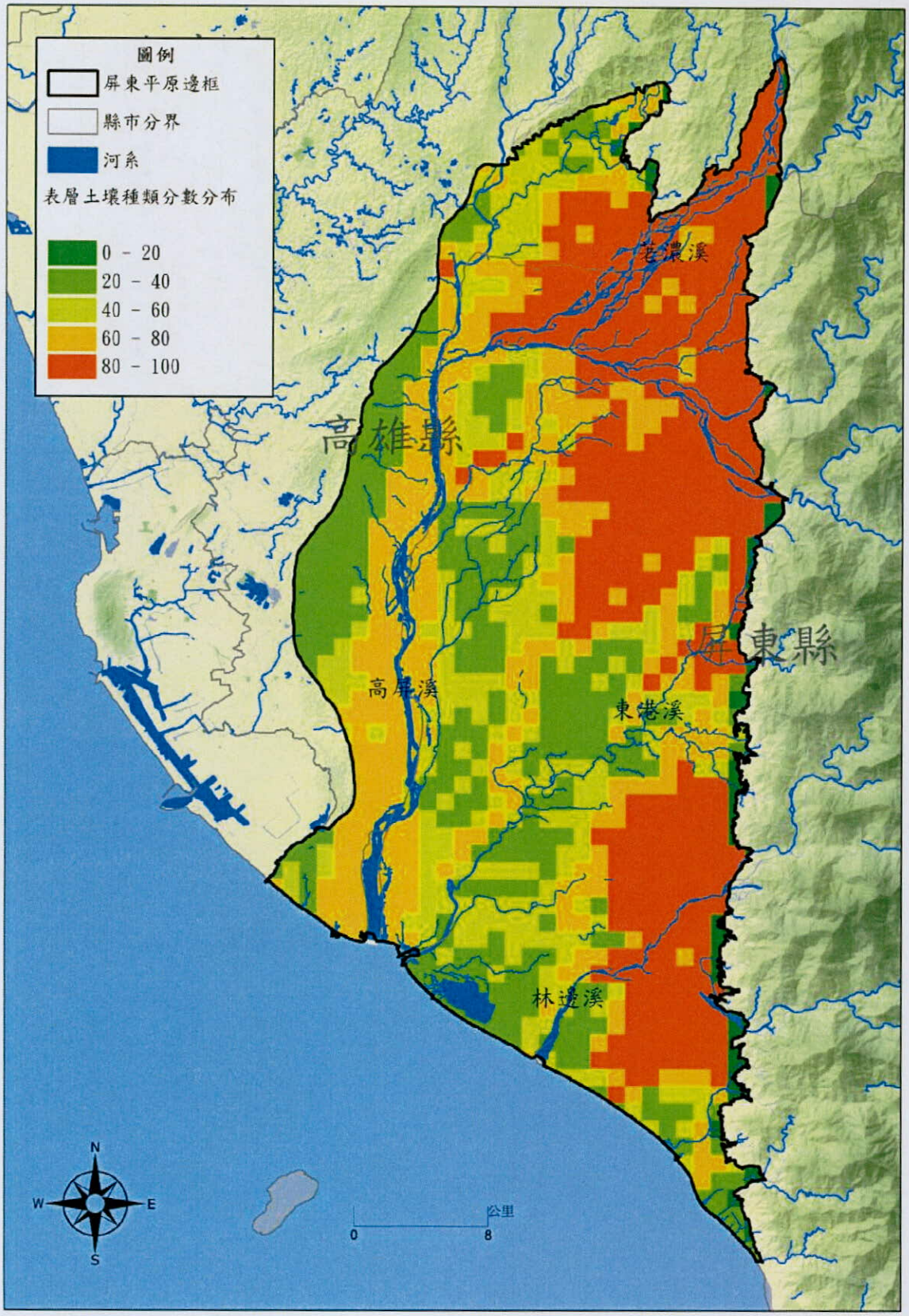



圖 5.2-11 表層土壤種類分數分布圖

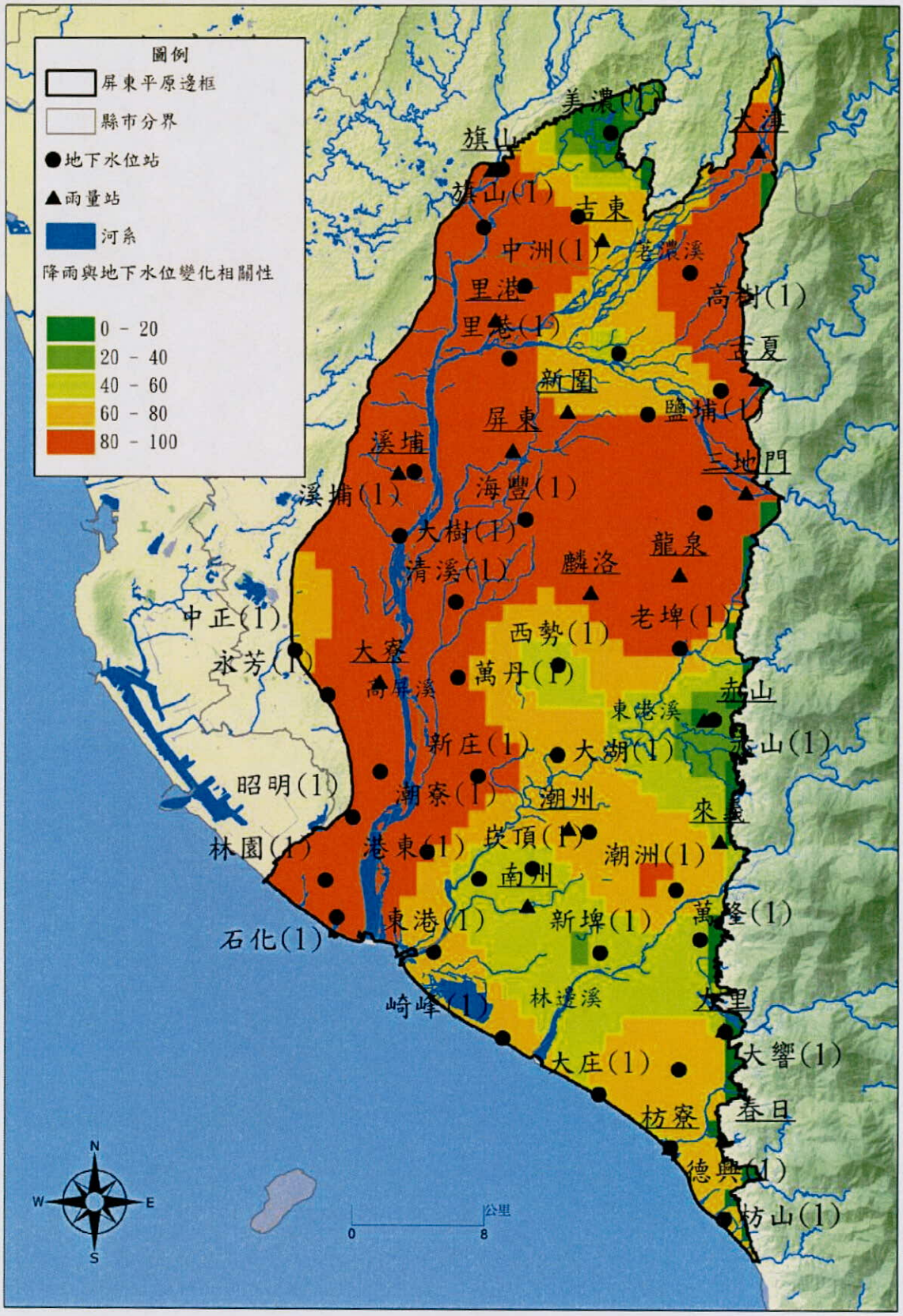



圖 5.2-12 降雨與地下水位變化相關性分數分布圖

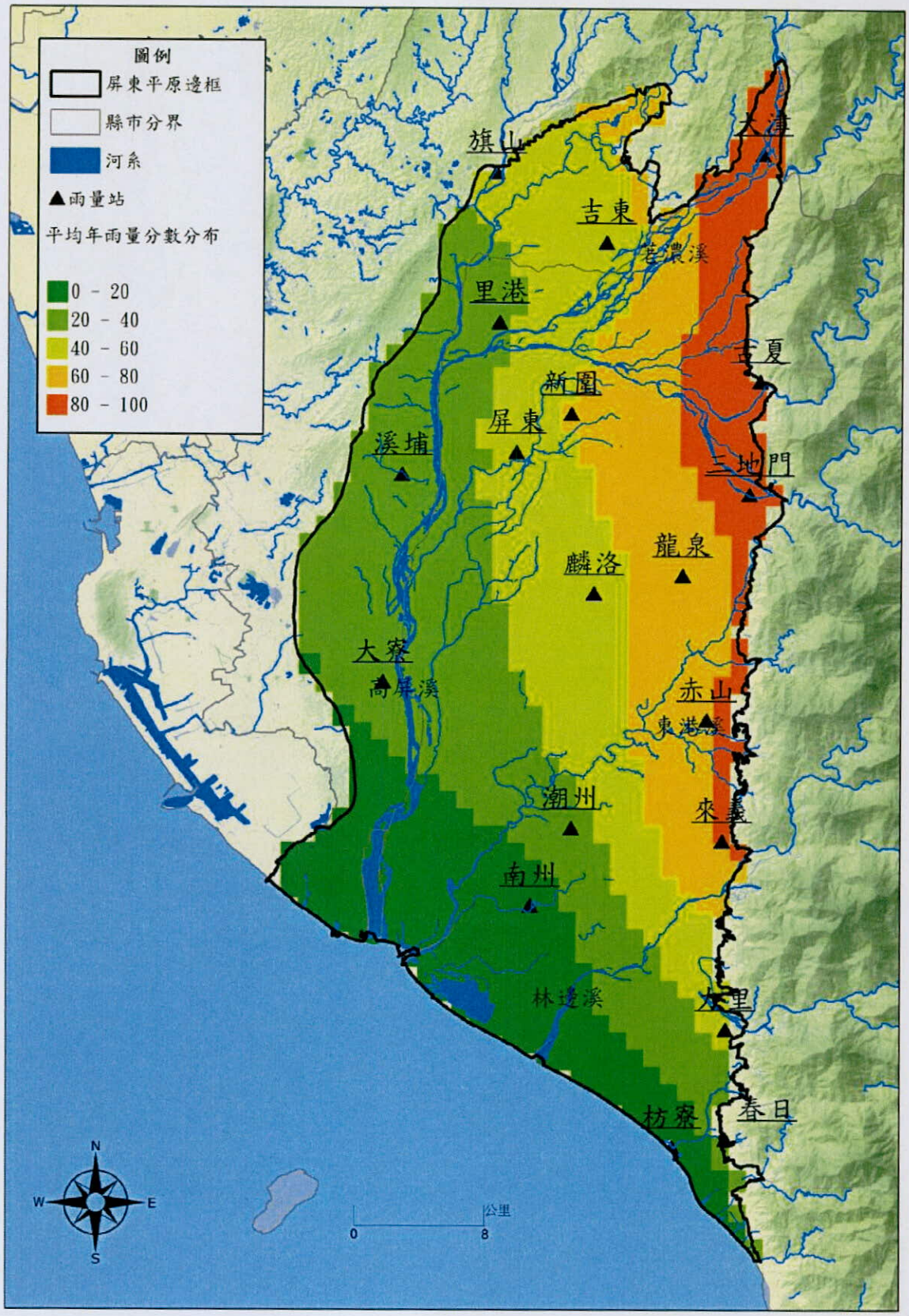



圖 5.2-13 1998~2010 年平均年降雨量分數分布圖

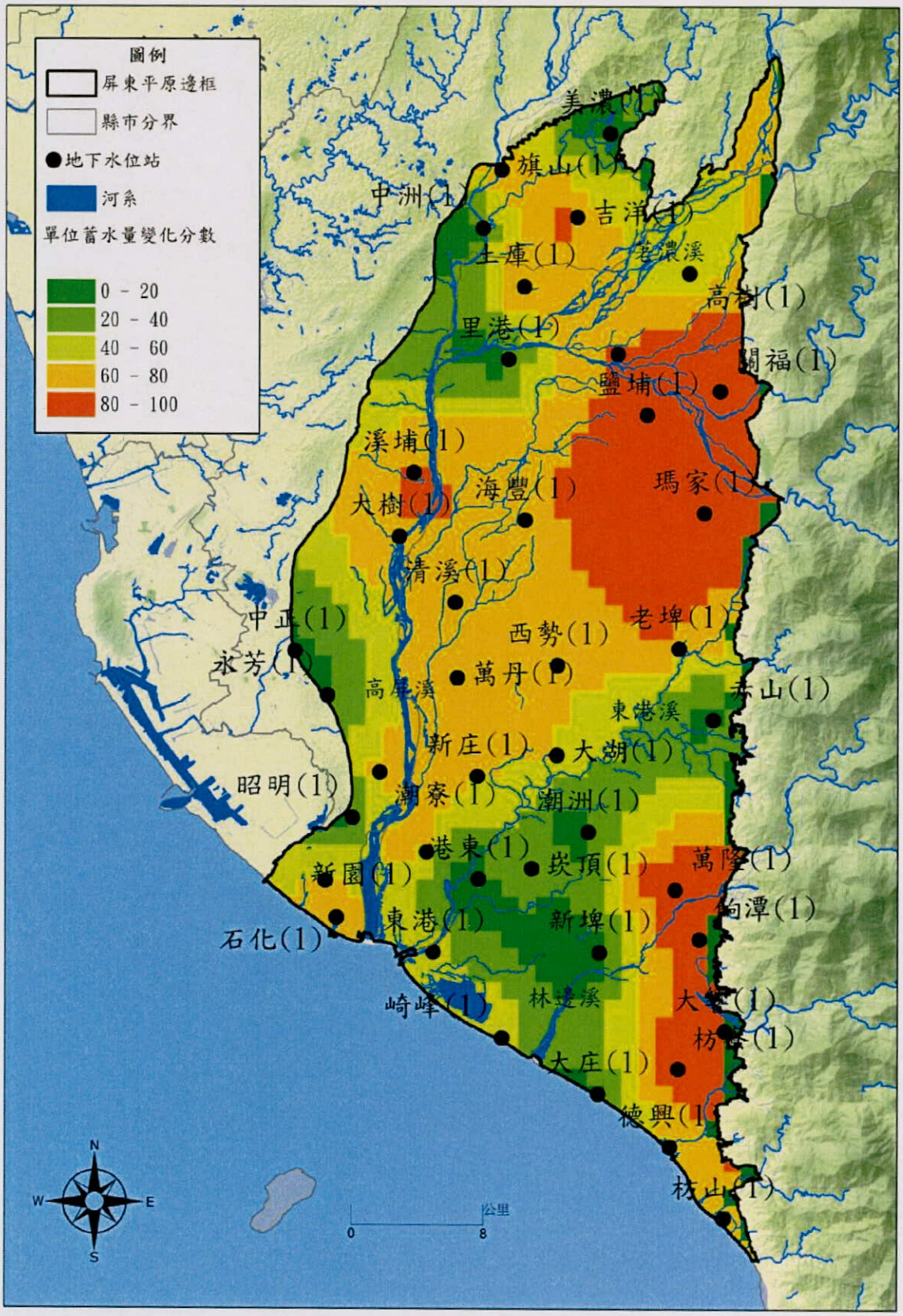



圖 5.2-14 單位蓄水量變化分數分布圖

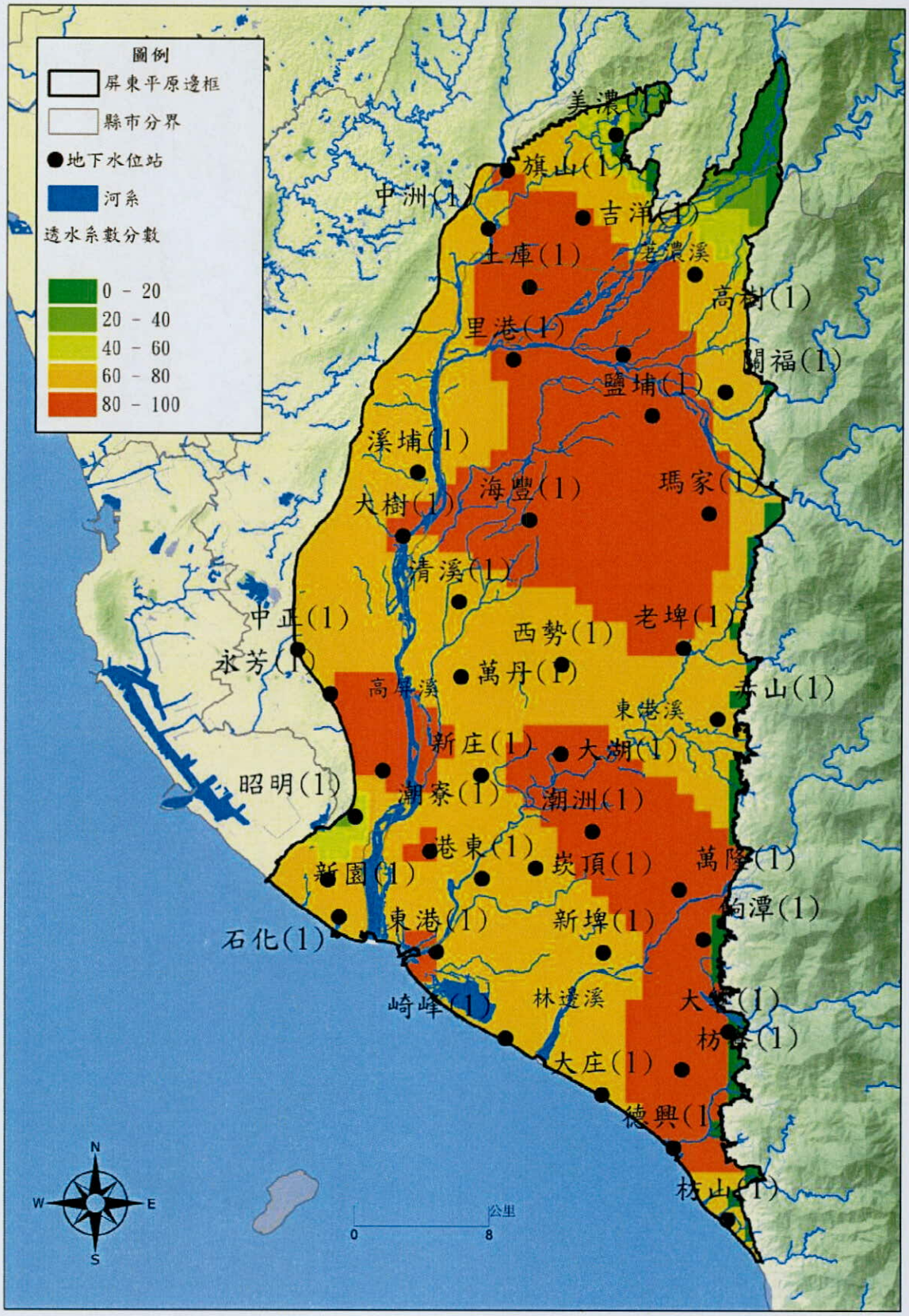



圖 5.2-15 透水係數分數分布圖

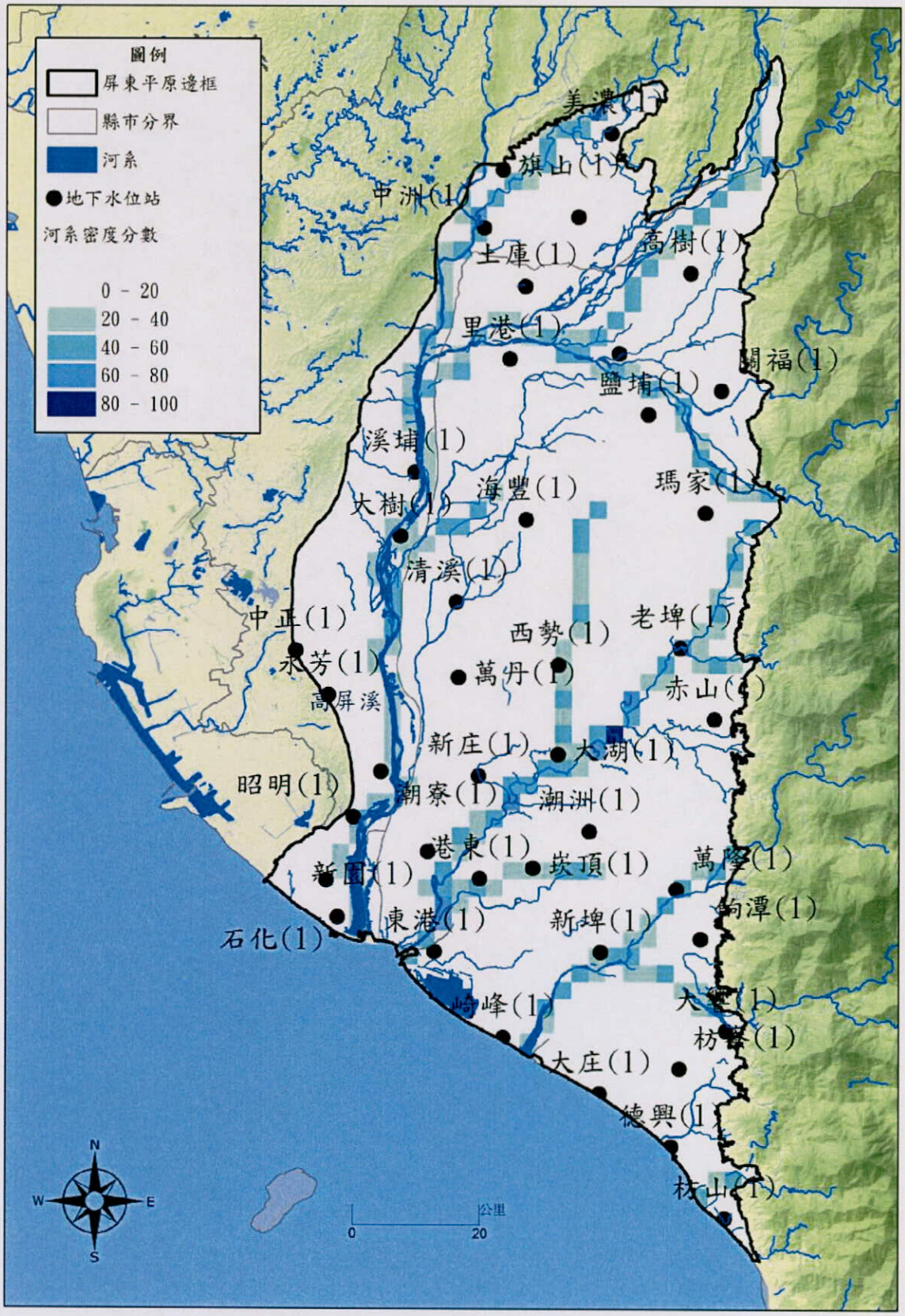



圖 5.2-16 河系密度分數分布圖

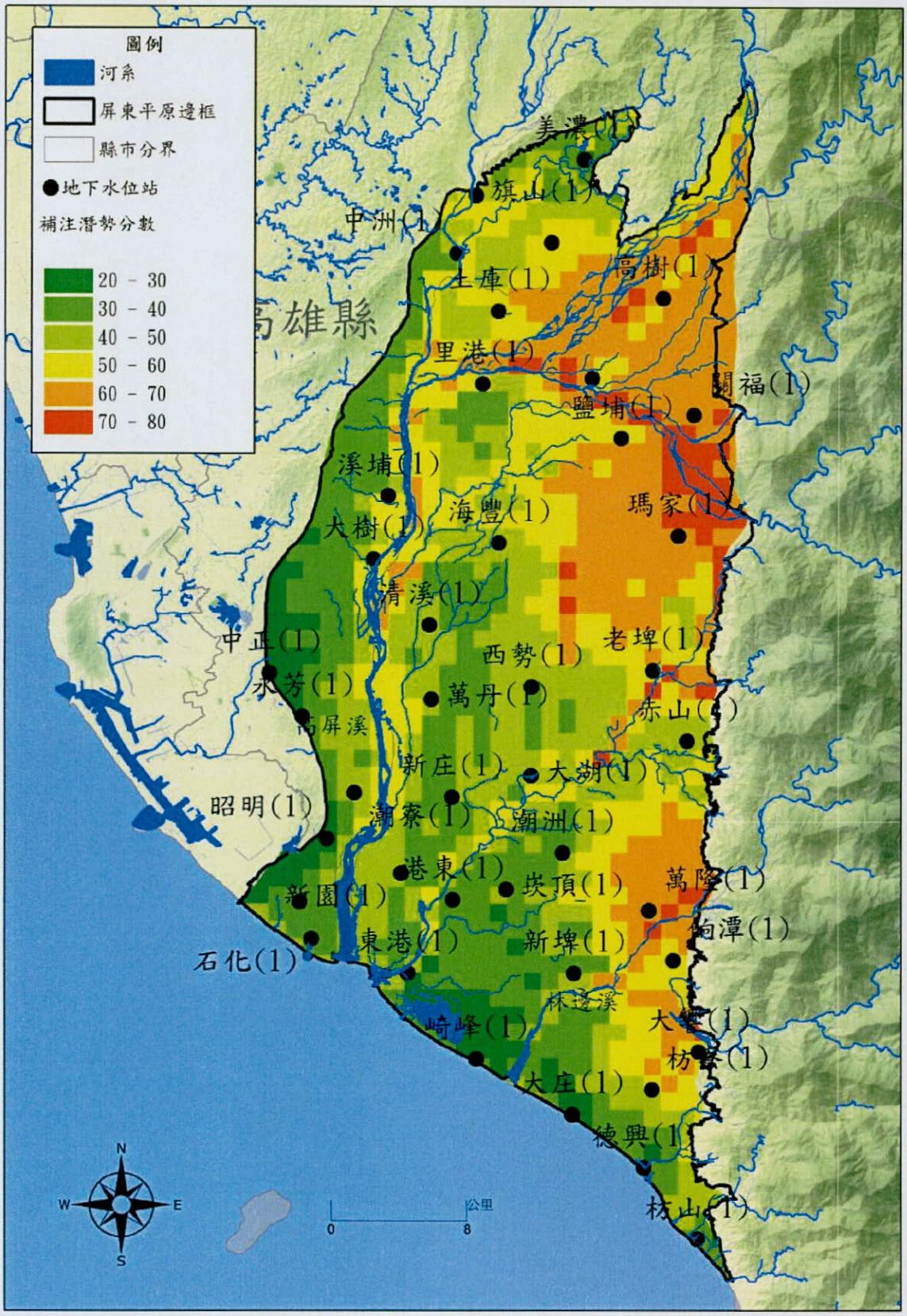



圖 5.2-17 地下水補注潛勢整體分數分布圖

## 5.3 主要補注區範圍綜合分析

前述第四章分別以地球物理方法與地球化學方法，針對屏東平原進行現地調查，二維地電阻調查結果中，礫石材質之地電阻遠高於泥質材質，因此高地電阻區域亦可呈現屏東平原高補注區域；在水質採樣調查中，地下水溶氧量之高低亦可呈現局部區域之補注能力，因此地下水高溶氧區域亦可作為補注能力高低之佐證。

本章節以補注潛勢訂定研究區域補注能力之空間分布，由於其是以潛勢分數之相對高低，作為補注能力強弱之空間分布依據。因此如欲訂定絕對數值，以作為主要補注區之劃分門檻，則需要搭配其他調查方法與調查結果，本計畫以高地電阻區域與高溶氧區域作為基準，以三者空間分布趨勢最為接近為原則，決定補注潛勢門檻分數，屏東平原之門檻分數為 56 分。根據 5.2 節之地下水補注潛勢分數之空間分布，如以 56 分作為門檻，可以重新區分出高補注潛勢區。

圖 5.3-1 為屏東平原主要補注區分布圖，其綜合前述高補注潛勢區、高地電阻區與高溶氧區三者，並搭配岩芯鑽探柱狀圖與數位地表高程(DTM)等資訊繪製而成。其主要範圍包含屏東平原北區與南區，北區包含旗山鄉、美濃鄉、高樹鄉、里港鎮、鹽埔鄉、長治鎮及內埔鄉，與部分萬巒鄉，南區部分包含萬巒鄉、潮洲鄉與新埤鄉。由於部分地區不同數據，對於補注能力之評判則有不同之結論，在此特別提出說明，主要在於四個區域，由北至南分別為里港一帶、老埤一帶、萬巒一帶與餉潭一帶。

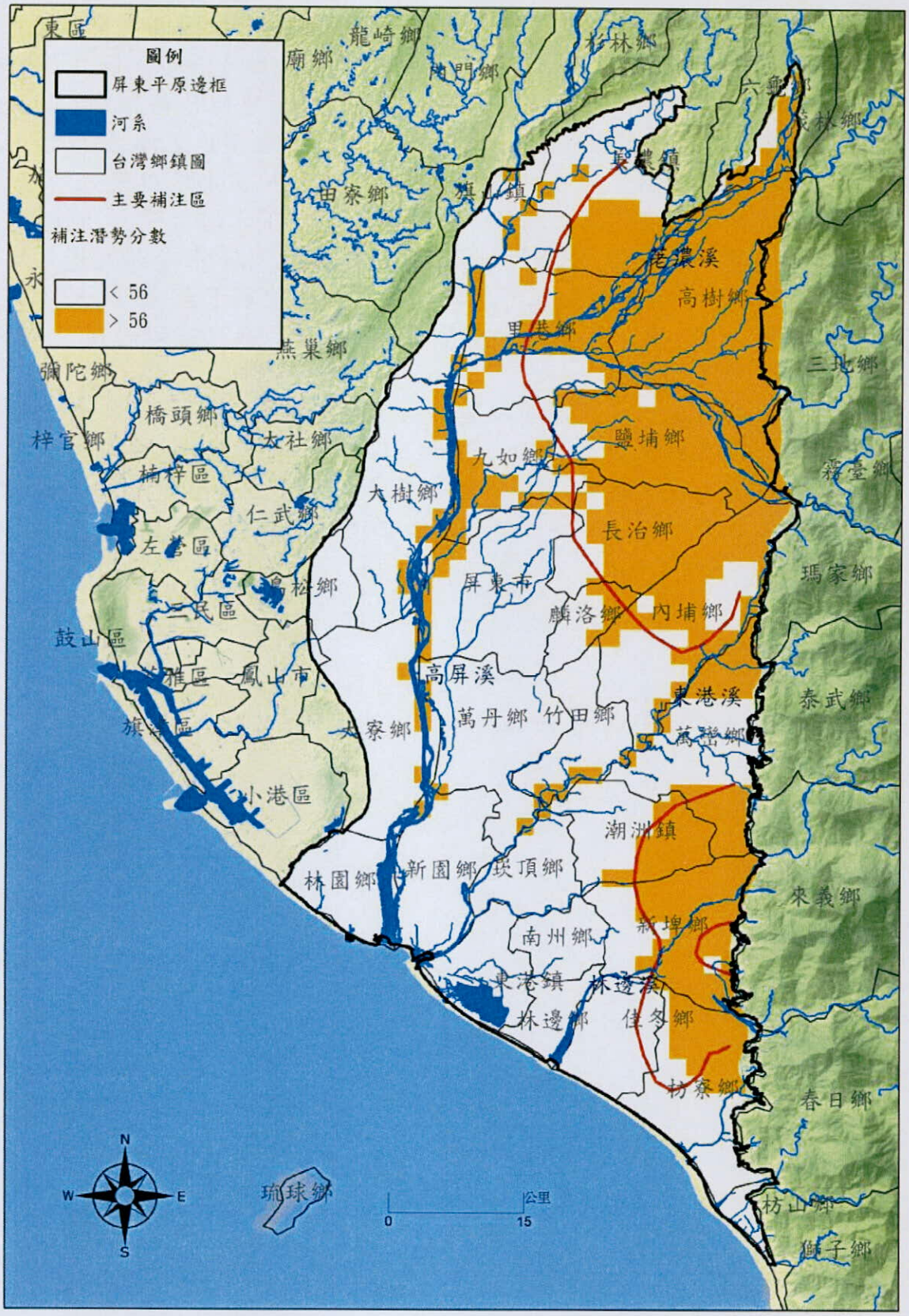



圖 5.3-1 地下水主要補注潛勢分數分布區

(1)里港一帶主要補注區邊界：

圖 5.3-2 為里港一帶之主要補注區綜合分析圖，圖中綠線為高電阻區邊界，其分別由 N1、N2、N3、N4、N5、N6、N7 與 N14 所描繪而成。圖 5.3-3 為 N3 測線之二維地電阻影像剖面圖，其 17 至 55 公尺間之地電阻值約為 40(ohm-m)，屏東平原高電阻門檻值為 70(ohm-m)，則顯現 N3 測線(鄰近里港站)位於主要補注區外，故測線由里港以東經過，亦即主要補注區位於里港站以東。

然其他調查結果則有不同之結論，以里港(1)之地下水溶氧量為 4.98(mg/l)，其開篩位於地表下 36 至 66 公尺間，顯現在此深度之地下水受到大量之外界補注量之影響。圖 5.3-4 為里港站之岩芯鑽探柱狀圖，地表下至 15 公尺間缺少岩芯記錄，但往下至 70 餘公尺皆為砂質或礫質等材質，亦可證明地表下 70 餘公尺間之高透水性。

由於地電阻的結論與其他資訊相違背，可能是里港站鄰近區域的沈積同時受到北方旗山一帶山區土質之影響，因此土壤特性與東方潮州斷層之土質不一致，因此造成砂質土壤之地電阻率較低之原因。基於上述原因，本計畫則將本區域之主要補注區邊界往西延伸，使其涵蓋里港站，如圖 5.3-2 所示。

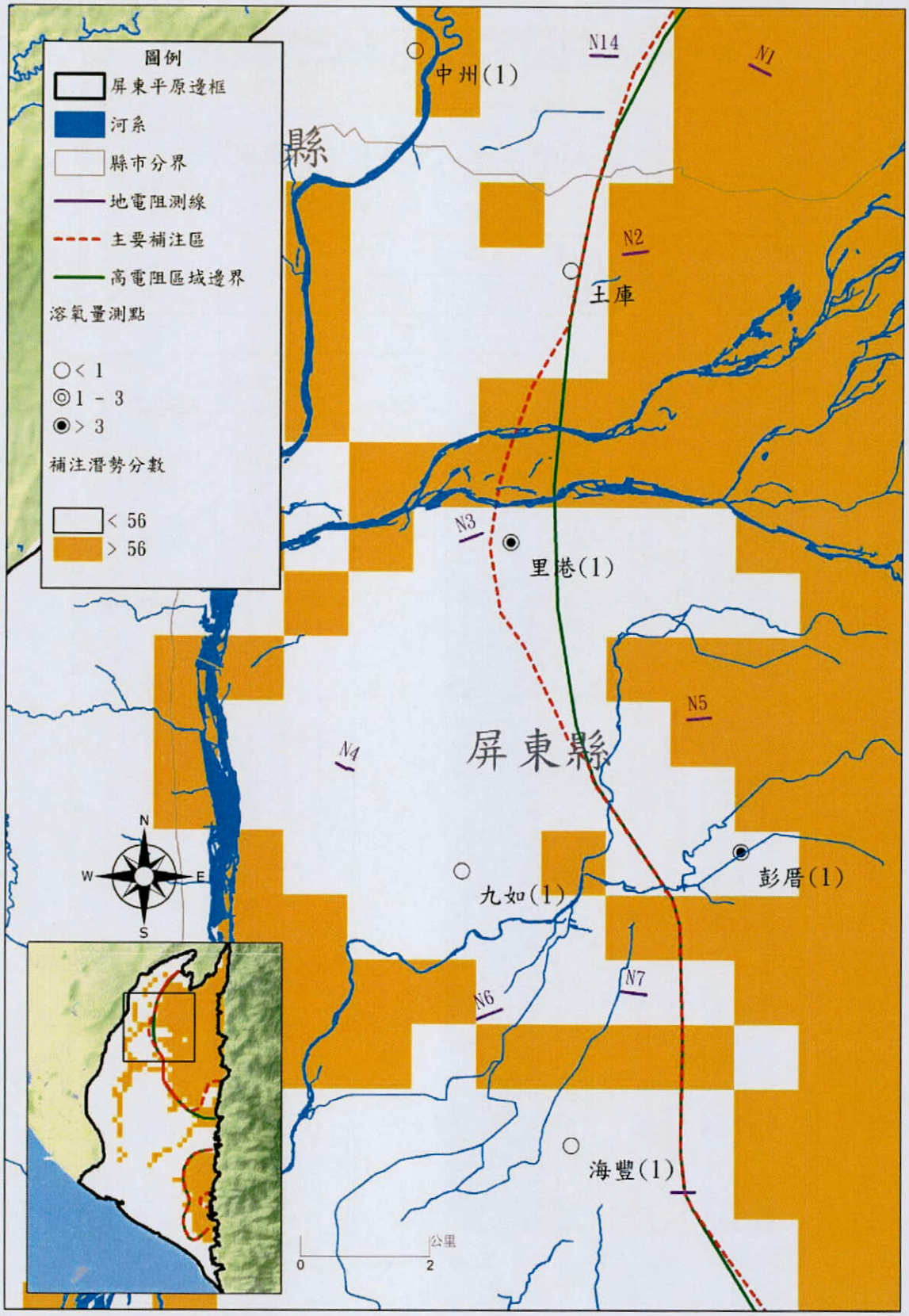



圖 5.3-2 主要補注區綜合分析圖(里港一帶)

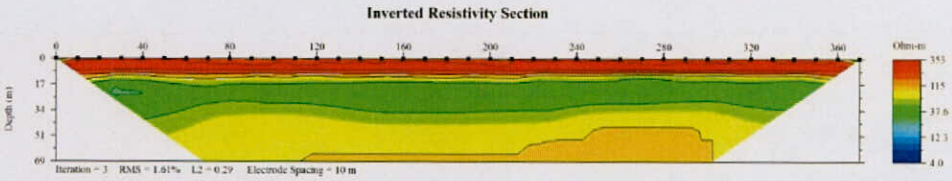



圖 5.3-3 N3 二維地電阻影像剖面圖

| 鑽測單位 | 中央地質調查所 | 井名稱 | 里港 | 井號 | 13090261 |
|---|---|---|---|---|---|
| 高程 | 38.686 M | 井深 | 210 M | 位置(TM) | X:197511.159, Y:2520452.567 |
| 井址 | 屏東縣里港鄉過江村過江路41號(里港國小) | | | | |

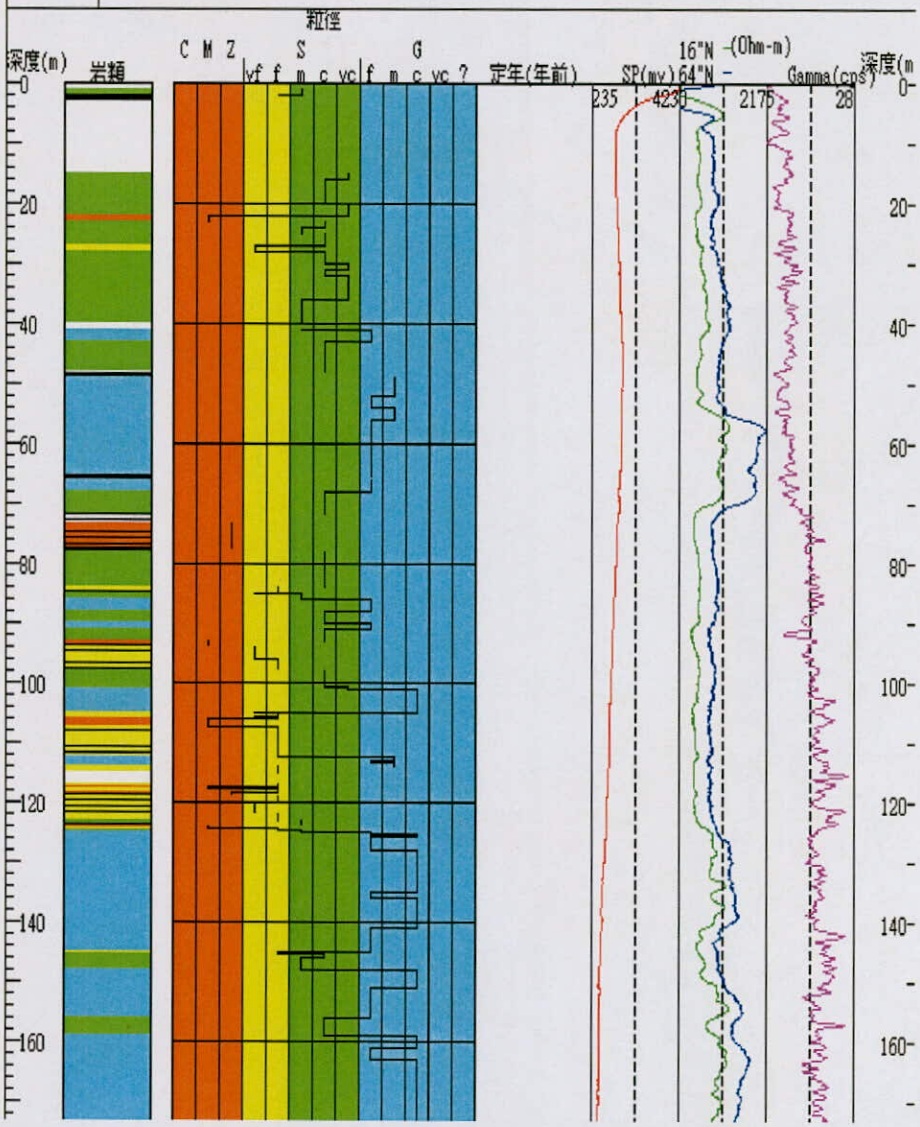



圖 5.3-4 里港岩心柱狀圖

(2) 老埤一帶主要補注區邊界：

圖 5.4-5 為老埤一帶的主要補注區綜合分析圖，其中亦呈現了地表高程變化。老埤(1)之地下水溶氧量為 4.21(mg/l)，其開篩位於地表下 24 至 42 公尺間，圖 5.3-6 為老埤站之岩芯鑽探柱狀圖，第一含水層位於地表至地表下 44 公尺間，在地表下 20 公尺處，約有 5 公尺厚的泥層阻隔，顯現該站高溶氧應受到鄰近區域水平流入之影響，而非垂直入滲補注造成的。圖 5.3-7 為老埤站之二維地電阻影像剖面圖，影像剖面中顯現數包較低電阻率，應該區域已經位於主要補注區與非主要補注區之過度帶中，開始出現以包狀之泥團。綜合上述結論，該站不列入主要補注區中。

此外，在建興、老埤與潮州斷層間出現高程上的劇烈變化，屬於臺地地形，如圖 5.4-5 所示，由於本計畫以平原區之主要補注區為研究對象，故不列入考量範圍。

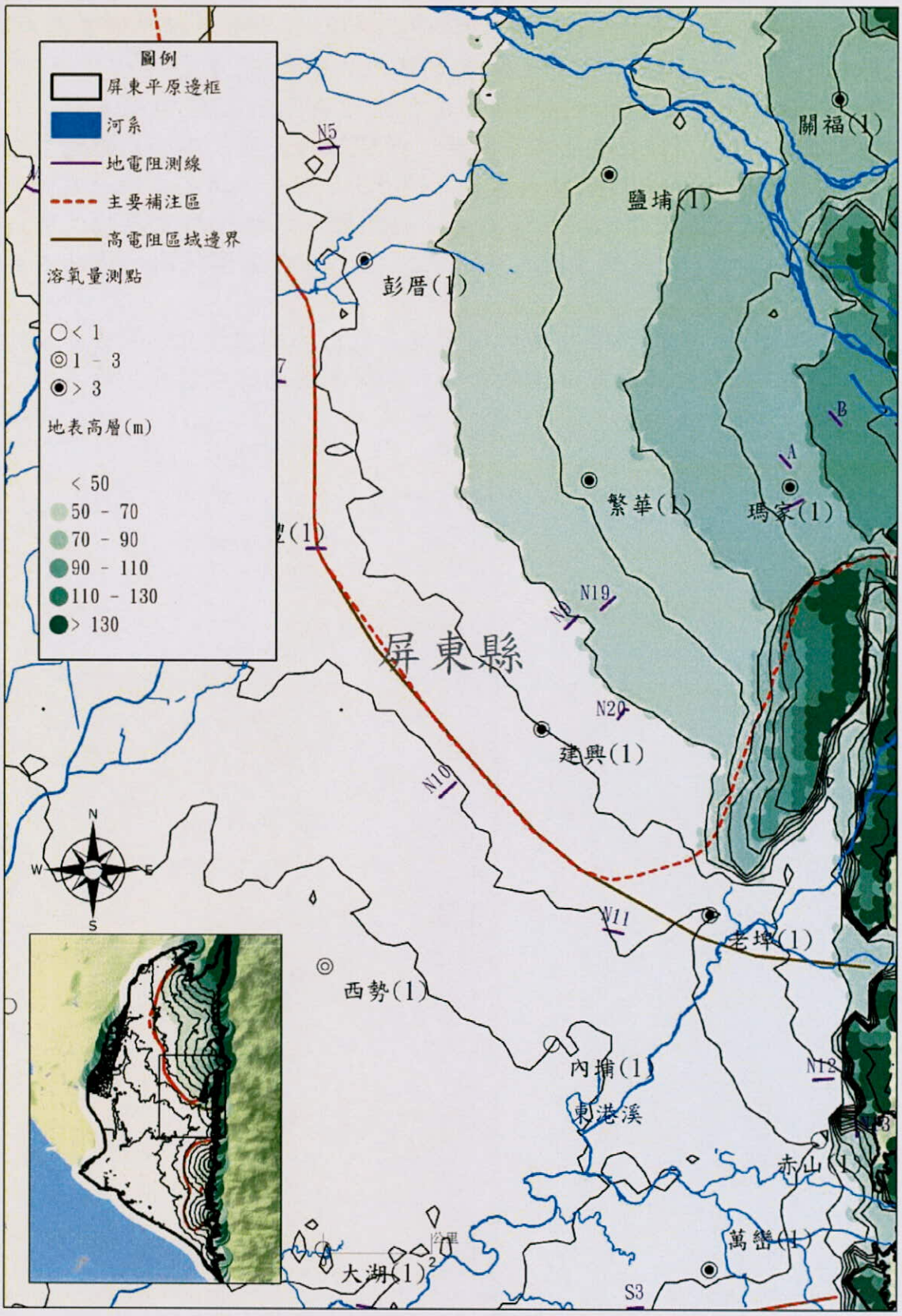



圖 5.3-5 地表高程變化圖(老埤一帶)

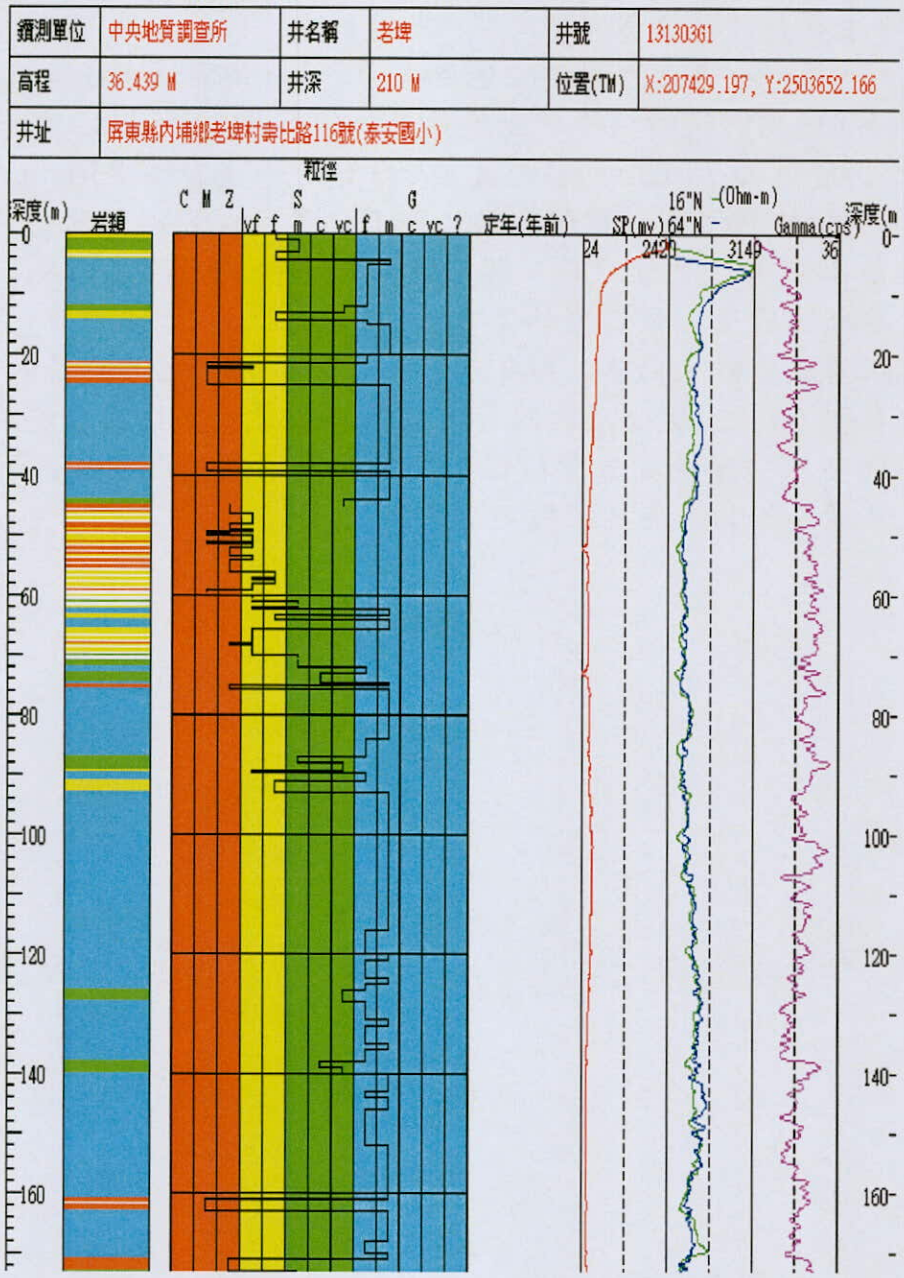



圖 5.3-6 老埤站岩心柱狀圖

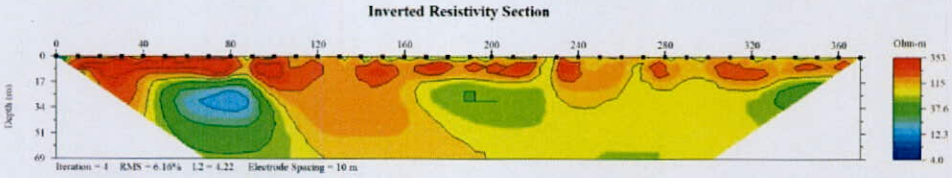



圖 5.3-7 N12 老埤二維地電阻影像剖面圖

(3) 萬巒一帶主要補注區邊界：

圖 5.3-9 為萬巒一帶之主要補注區綜合分析圖，該區域由南至北依序由 S9、S4、S-11 與 S3 四條測線所描繪，測線結果如圖 5.3-8 至 5.3-12 所示，測線結果以 S-11 開始出現低於 75(Ohm-m)之訊號，S3 則完全是低於 75(Ohm-m)之訊號，故顯現 S-11 應位於補注能力轉弱之過度帶上。圖 5.3-13 則是萬巒站之岩芯鑽探柱狀圖，地層不斷出現泥值材質，顯現該區域之垂直入滲能力應不佳。綜合上述結果，主要補注區應位於萬巒站至 S-11 測線之間。

但是以水質調查結果而言，卻有不同結論。萬巒(1)之溶氧量為 4.12(mg/l)，開篩位於地表下 60 至 80 公尺之間，屬於高溶氧量。其原因可能是側向流入，且含水層砂礫部份的有機質含量較少，所以溶氧消耗較慢。在此則依據地電阻之高電阻區之邊界作為主要補注區之邊界。

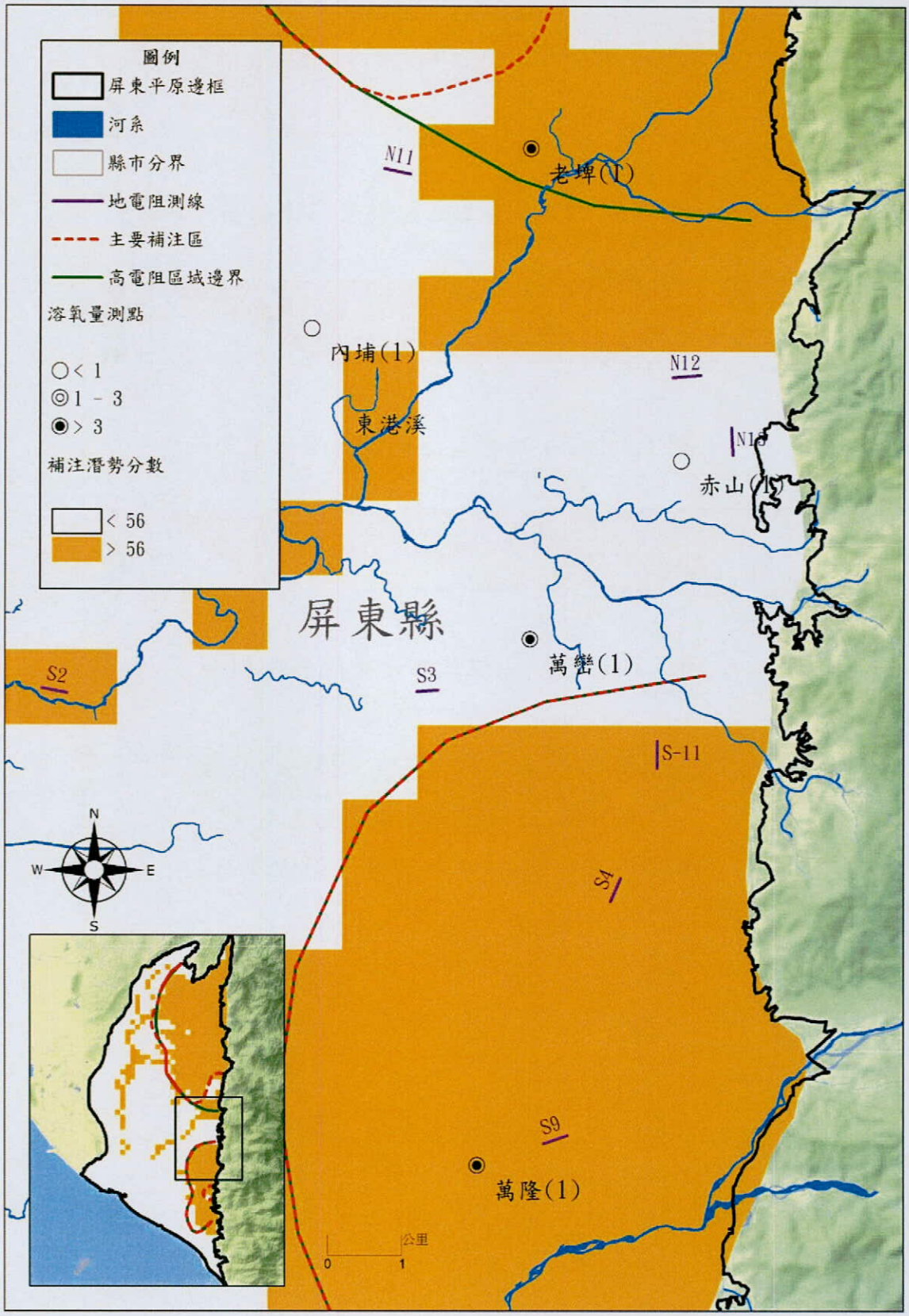



圖 5.3-8 主要補注區綜合分析圖(萬巒一帶)

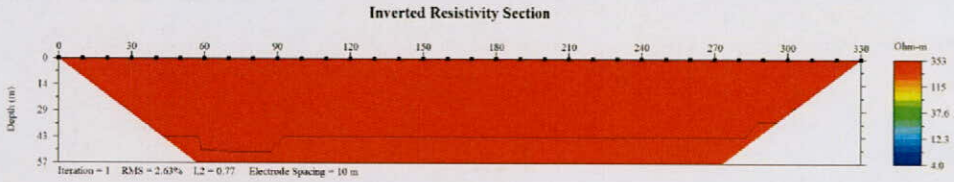



圖 5.3-9 S9 測線二維地電阻影像剖面

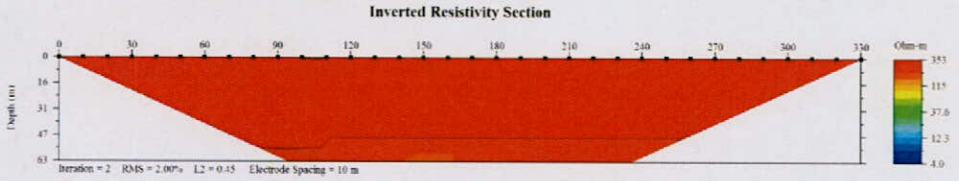



圖 5.3-10 S4 測線二維地電阻影像剖面

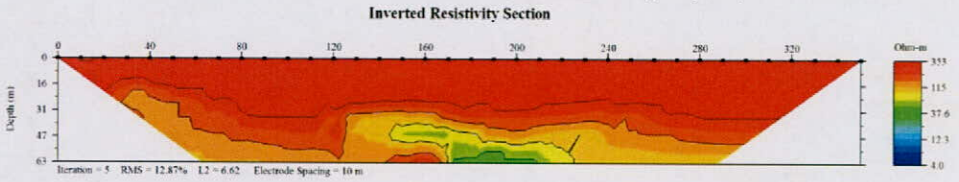



圖 5.3-11 S-11 測線二維地電阻影像剖面

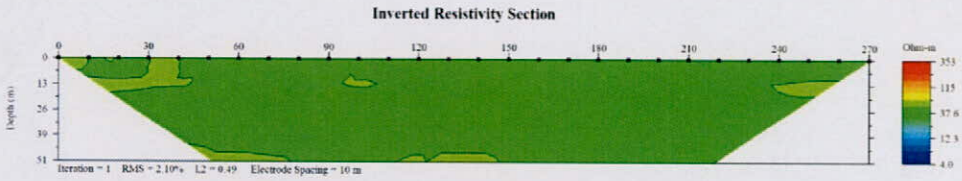



圖 5.3-12 S3 測線二維地電阻影像剖面

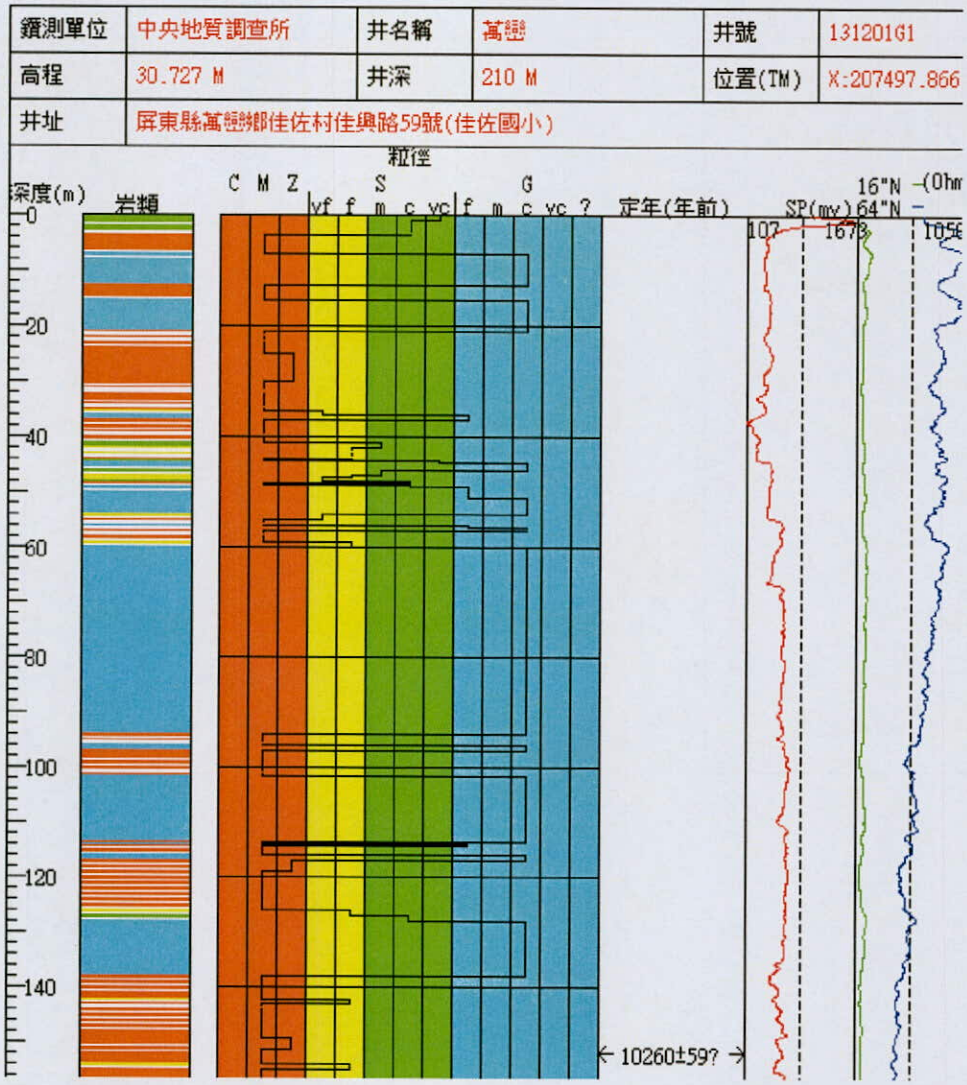



圖 5.3-13 萬巒岩心柱狀圖

(4)餉潭一帶主要補注區邊界：

最後，圖 5.3-14 為南方主要補注區之綜合分析圖，由於地電阻測線多往西南方下游搜尋高電阻的邊界，然餉潭緊鄰潮州斷層，因此並無地電阻之影像剖面可供評判。本區域僅有水質資料與岩芯鑽探柱狀圖可供評估分析，餉潭(1)之水質溶氧為 0.84(mg/l)，其溶氧相對較低，其開篩位於地表下 24 至 60 公尺間，從圖 5.3-15 之餉潭岩芯鑽探柱狀圖來看，該站存在許多泥質材質，其厚度厚於砂或礫質材質。

該區域為來社溪與力力溪分別由南北環繞，至西邊匯集成林邊溪，餉潭站位於來社溪與力力溪兩個沖積扇邊緣，亦即為兩沖積扇之分水嶺處，故表層堆積大量泥質存在，不應列入主要補注區中。本計畫以平行於兩河流流線之方式，將餉潭站與鄰近區域從主要補注區移除。

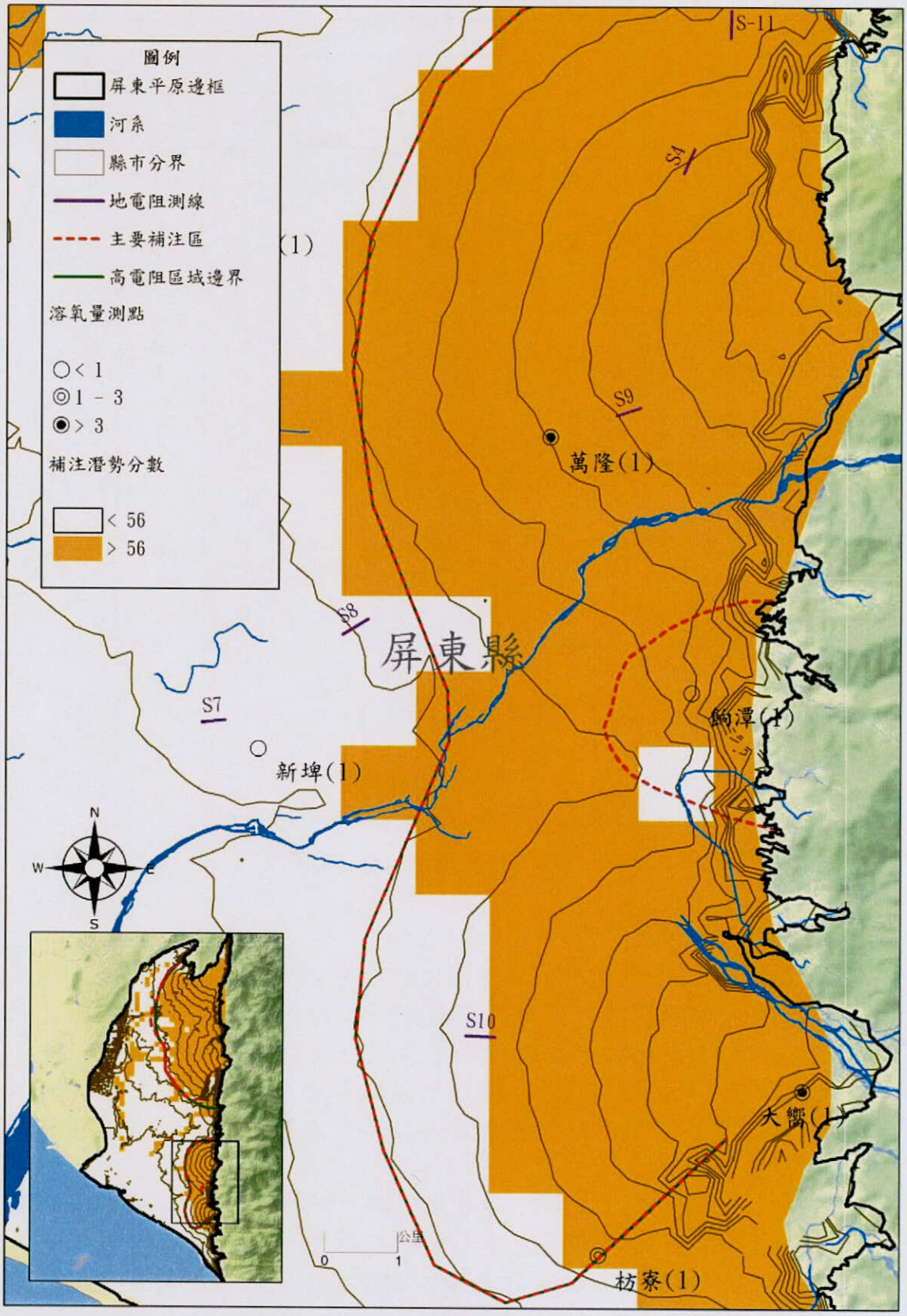



圖 5.3-14 主要補注區綜合分析圖(餉潭一帶)

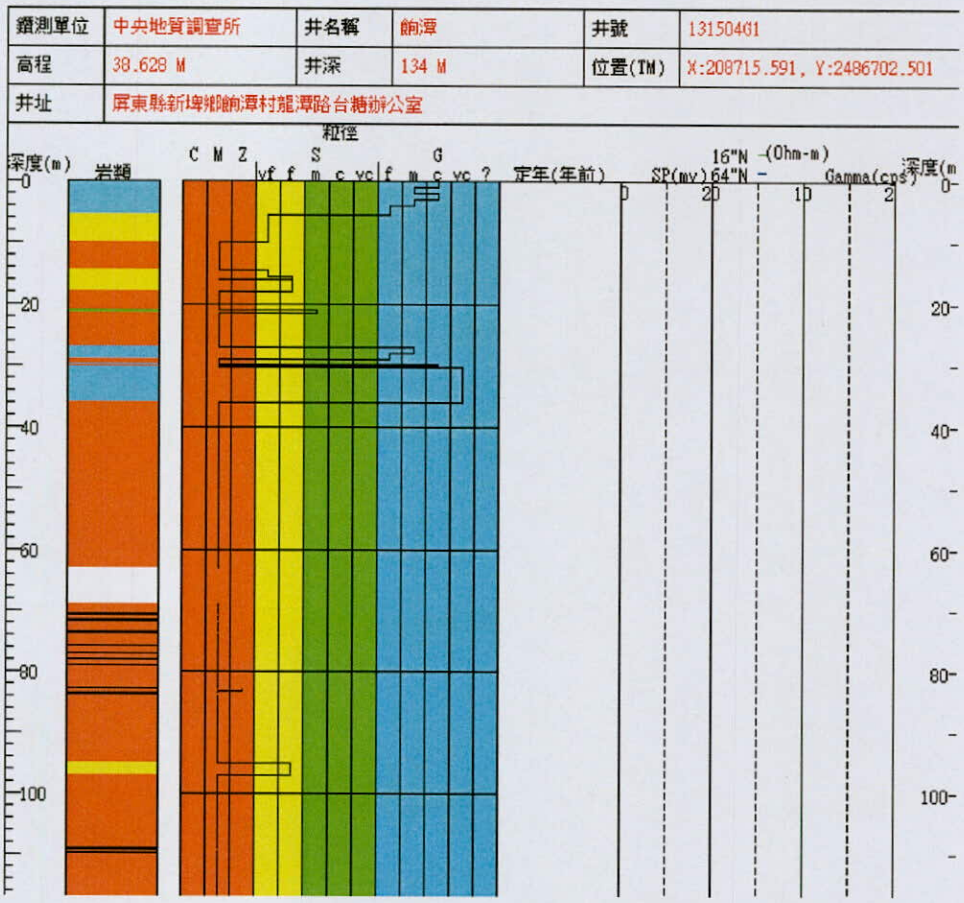



圖 5.3-15 餉潭岩心柱狀圖

# 第六章 水資源評估

## 6.1 分散型地下水歷線法理論概述

Healy and Cook (2002)、Schwartz and Zhang (2003)與江崇榮等人(2006) 指出水位的上升可代表地下水補注量，而水位的下降則代表地下水出滲至河川中。地下水水位同時受到抽水與補注之綜合影響，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(De Vries and Simmers (2002); Healy and Cook (2002); Ketchum et al. (2000); Scanlon et al. (2002); Sophocleous (1991); Moon et al. (2004); Crosbie et al. (2005); Jie et al. (2011))，因此藉由水位歷線的變化即可呈現掌握各項水量進出之歷程，以此概念推估地下水補注量或其他進出水量之方法，可稱之為地下水歷線法 (Groundwater Flucturation Method, GFM)。

圖 6.1-1 為多層系統的地下水分層示意圖，其中地下水系統會由多個含水層與阻水層交互間雜，阻水層結構多存在於下游區域，延伸至上游區域則會逐漸尖滅，因此上游區域則呈現上下通透。過去運用原始型或修正型地下水歷線法，其是以第一層的觀測水位來，由於通透區之不同分層觀測水位皆趨近於一致，顯現在通透區之最表層水位反應，其為該區域上下分層抽水之綜合效應。圖 6.1-2 為原始型或修正型地下水歷線法之地下水系統圖(江崇榮等人,2006; 張良正等人,2009; 張良正等人,2010; 張良正等人,2011)，其系統為第一層與通透區的下層，後續分析欲與地下水數值模式比較，由於地下水數值模式之系統較近似於圖 6.1-1，故後續比較上較為複雜。因此本計畫延伸原始型與修正型地下水歷線法之概念，同時取用上下不同分層之觀測水位，以內插演算法結合，稱為分散型地下水歷線法。

分散型地下水歷線法之流程主要可以分為四個步驟，首先利用各站各時刻之觀測水位，以內插演算法推估全系統全時刻之水位；其次，內插水位搭配比儲率($S_s$) 或比流出率($S_y$) 計算全系統之蓄水量歷線；接著，利用枯水期之蓄水量歷線推估系統抽水量與邊界交換量，並以降雨事件求得降雨造成之垂向補注量與流失量；最後，統計各年度之水平衡分析。為求與數值模式一致，因此地下水歷線法與數值模式之系統定義相同。以屏東平原而言，目前水文地質架構共區分為 F1、F2、F3-1 與 F3-2 四層含水層，T1、T2 與 T3 共三層阻水層，由於 F3-2 觀測井數過少不足以進行模式檢定，因此數值模式僅檢定 F1、T1、F2、T2 與 F3-1，而地下水歷線法亦以 F3-1 之底部，作為屏東平原之水量積分基準面。以下將進一步詳細說明：

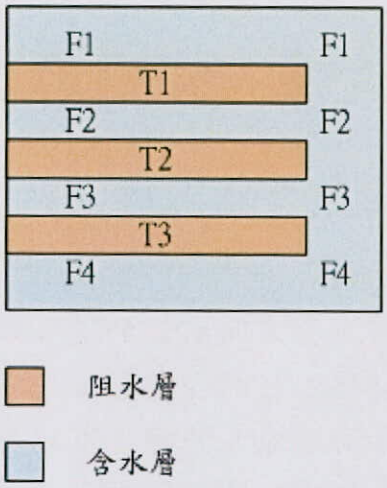



圖 6.1-1 地下水系統分層示意圖

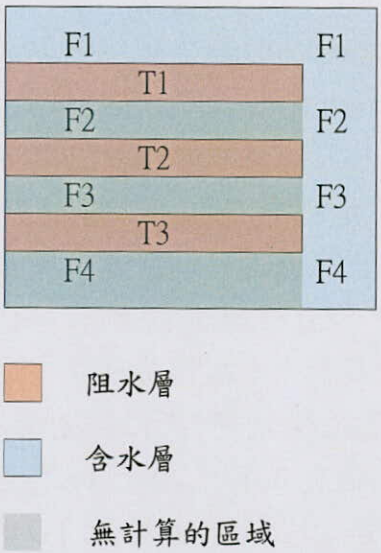



圖 6.1-2 原始型或修正型地下水歷線法之地下水系統圖

### 6.1.1 地下水位內插

以地下水觀測水位為基礎，以河川觀測水位或邊界條件等為輔，搭配水文地質架構，以分層式距離倒數平方法內插推估系統水位($h^t_{i,j,k}$)。內插演算法是以控制點之數值為基礎，以加權平均的方式推估空間上任意點之數值，不同內插方法有不同之權重估算方式。圖 6.1-1 為控制點控制點設置的示意圖。

地下水系統之水文地質架構影響地下水流動與水位變化，一般而言在含水層中因透水性良好，因此多僅有水平流動，而無垂向流動，故在水力梯度方面可假設垂向之水力梯度為 0；在阻水層的部份，則多為垂向流動，故阻水層上下方之含水層則具有垂向水力梯度；在觀測井濾孔開篩方面，大多數開篩會坐落

於相同分層中，因此在此假設濾孔開篩範圍之水位推估值應等於觀測水位。為呈現上述特性，控制點的給定則依據下列條件，將觀測水位設定於控制點上。

濾孔開篩位置：依據濾孔開篩範圍，將控制點給在濾孔開篩的上緣與下緣，因此可確保後續內插上，在此深度範圍內之推估值與觀測水位一致。

濾孔上方或下方有阻水層：如圖 6.1-3 所示，若濾孔上方或下方有阻水層存在，則在阻水層之下緣或上緣高程處，加入一個控制點。如此可確保在相同分層中，垂向之推估水位一致，無垂向水力梯度；在跨越阻水層時，由於阻水層的上下緣均有控制點，其分別由上下兩觀測井之觀測水位給定，因此若分層觀測值呈現水位差，則阻水層位置之推估值亦會呈現垂向水力梯度。

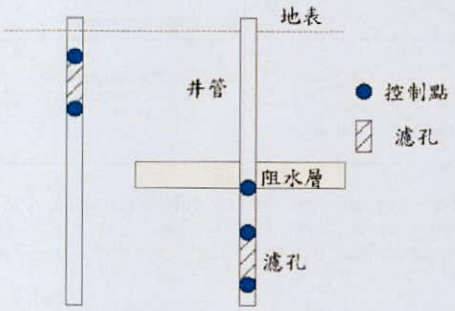



圖 6.1-3 控制點設置示意圖

一般而言，內插演算法是以權重的方式，對鄰近控制點數值以加權平均的方式，來計算內插點數值，因此當內插點與控制點空間上的距離越接近，其所佔權重越高，可使最鄰近控制點的影響加重，進而使得內插值與最近控制點數值越類似。因此對距離倒數平方法而言，其權重為鄰近控制點與其內插點之距離倒數平方。此外，由於內插方法是以鄰近控制點的數值來推估，因此當控制點的距離過遠時，亦應視為無影響，在此以搜尋範圍的方式來區分非鄰近控制點。

本計畫以分層式之距離倒數平方法來計算，其是以現地的水文地質架構來做分層，首先，以相同分層或相鄰分層的控制點作為候選鄰近控制點；其次才以內插點與控制點的水平距離辨別鄰近與非鄰近控制點。

### 6.1.2 蓄水量計算

$$S_i^t = \begin{cases} n_i A_i \times (t_i - b_i) + s_{s,i} A_{v,i} \times (h_i^t - t_i) \times (t_i - b_i) & Confined \\ \quad = s_{s,i} A_{v,i} \times + s_{s,i} A_{v,i} \times (h_i^t - t_i) + Const & \\ s_{y,i} A_{v,i} \times (h_i^t - b_i) & Unconfined \end{cases} \quad \text{(式 6.1-1)}$$

其中，$h_i^t$ 與 $S_i^t$ 分別代表時刻 $t$ 於第 $i$ 個控制體積蘊藏之水位與地下水儲蓄水量，

$S_{s,i}$ 與 $S_{i,y}$ 則分別代表土壤之比儲率(specific storage) 與比流出率(specific yield)，$b_i$ $t_i$ 與 $A_{v,i}$ 則分別代表控制體積之底部高程、頂部高程與俯視面積。藉由式(6.1-1)與前述之內差水位即可求得控制體積內的蓄水量變化。

### 6.1.3 以蓄水量歷線分析主要退水線(Master Recession Curve, MRC)

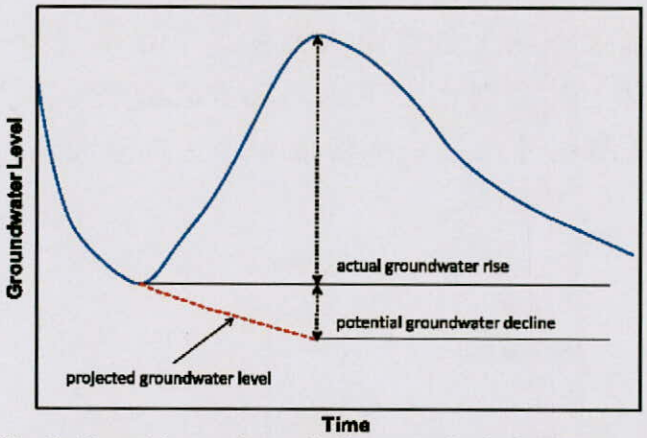



**Fig. 3** Potential groundwater decline curve (*dashed red line*) and measured groundwater level (*solid blue line*) resulting from recharge in an unconfined aquifer (after Healy and Cook 2002)

圖 6.1-4 區域降雨歷線與地下水位歷線起伏變化示意圖

圖 6.1-4 為區域降雨歷線與地下水歷線起伏變化示意圖，圖中顯示兩個階段，在降雨事件之前，地下水歷線持續下降，直降雨事件發生為止；當降雨事件發生期間，地下水位迅速抬升，此時水位達至最高點。發生為止；當降雨事件發生期間，地下水位迅速抬升，此時水位達至最高點。Healy and Cook (2002) 將稱為地下水位潛在下降量(potential groundwater decline) ，可視為系統因河川出滲、邊界流出，甚至人工抽水等行為，導致地下水位持續下降，如降雨期間該下降機制仍持續作用，因降雨實質補注造成之水位抬昇量應為觀測到之抬昇量，再加上潛在下降量。

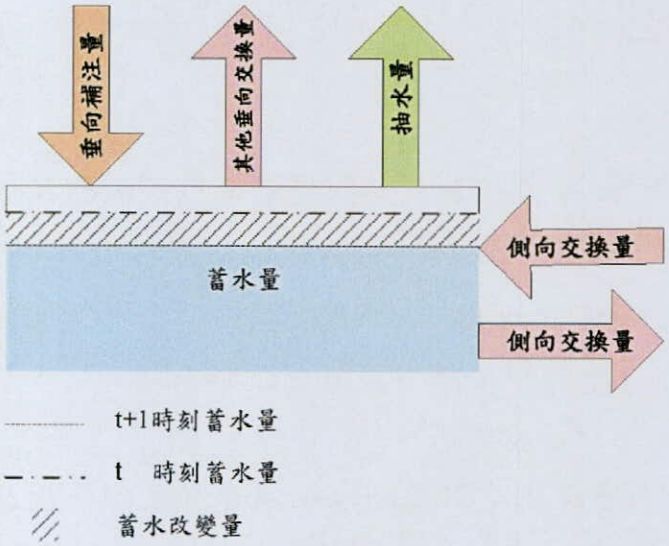



圖 6.1-5 控制體積進出水量概念模型示意圖

圖 6.1-5 為表層水層之概念模型圖，式(6.1-2) 為系統之水平衡方程式，系統之蓄水量變化，受到抽水量、補注量、側向交換量與其他垂向交換量之影響。其他垂向交換量包含河川出滲量與系統對外部之流失量等。前述所謂之地下水潛在下降量，即為水平衡方程式中的抽水量與其他垂向交換量之和。

$$S_i^t - S_i^{t-1} = \Delta S_i^{t,t-1} = I_i^{t,t-1} - W_i^{t,t-1} - VE_i^{t,t-1} + HE_i^{t,t-1} \quad \text{.....(式 6.1-2)}$$

中，$S_i^t$ 代表時刻 $t$ 於第 $i$ 個控制體積之地下水儲蓄水量， $\Delta S_i^{t,t-1}$ 即代表時刻 $t-1$ 至 $t$ 之蓄水改變量，$I_i^{t,t-i}$ 、$W_i^{t,t-i}$ 、$VE_i^{t,t-i}$ 與 $HE_i^{t,t-i}$ 分別代表於時刻 $t$ 與 $t-1$ 間的地下水補注量、抽水量、其他垂向交換量與水平向交換量。

式(6.1-1) 為控制體積內之水位與蓄水量之轉換關係式，其中因應含水層型態之不同，其計算式亦不同。對於非拘限含水層而言，蓄水量可應用比流出率計算；而對於拘限含水層而言，蓄水量之絕對數值應以孔隙率估算填滿孔隙之水量，與以比儲率計算之彈性蓄水部分，然填滿孔隙之水量不為時間之函數，而為一定值，因此後續估算蓄水改變量($\Delta S_i^{t,t-1}$) 時，該定值會彼此對消，因此在計算上可忽略不計。

式(6.1-3) 是以達西公式計算水平流量，並環繞加總可得與鄰近控制體積之水平交換量。另外，藉由參數 $\omega$ 與加權平均的方式，計算時刻 $t-1$ 至 $t$ 間之水平交換量。

$$HE_i^{t,t-1}=\left\{\omega\sum_{j=1}^{M}\left[-\overline{K}_{ij}\frac{h_i^t-h_j^t}{l_{ij}}\right]+(1-\omega)\sum_{j=1}^{M}\left[-\overline{K}_{ij}\frac{h_i^{t-1}-h_j^{t-1}}{l_{ij}}\right]\right\}\times A_{h,ij}$$ .....(式 6.1-3)

$j\in\vec{R}_i$

其中，$\vec{R}_i$代表第$i$個控制體積周遭的鄰近控制體積，$M_i$代表鄰近控制體積個數，$HE_i^{t,t-1}$代表時刻$t-1$至$t$間，由周遭控制體積流入之水平交換量，$h_i^t$則代表第$i$個控制體積於時刻$t$之水位，$\overline{K}_{ij}$代表第$i$與$j$個控制體積間的等效水力傳導係數，$l_{ij}$與$A_{h,ij}$則兩鄰近控制體積間的距離與穿越面積。

$$\rightarrow I_i^{t,t-1}-W_i^{t,t-1}-VE_i^{t,t-1}=\Delta S_i^{t,t-1}-HE_i^{t,t-1}$$ .....(式 6.1-4)

由於地下水歷線法是以觀測水位為運算基礎，因此藉由觀測水位，搭配式(6.1-1) 與(6.1-3) 即可求得$\Delta S_i^{t,t-1}$與$HE_i^{t,t-i}$，如依據已知與未知來作分類，將已知項置放於右方，未知項則放於左方，即可改寫為式(6.1-4) ，等號左方之$I_i^{t,t-i}$、$W_i^{t,t-i}$與$VE_i^{t,t-i}$等三項則留待後續推估。由於枯水期間，因缺少降雨而無補注事件，因此枯水期之水位變化與水平交換，則是受到人工抽水($W_i^{t,t-i}$) 與其他垂向交換($VE_i^{t,t-i}$) 之影響。

江崇榮等人(2004; 2006a) 與張良正等人(2011) 指出，枯水期水位呈現直線下降，由於該時期長期無降雨，因此完全受到抽水之影響，故水位下降之斜率即為區域之平均抽水量，其假設抽水量大小為區域土地利用開發與社經發展之緣故，因此可假設該時期之抽水量為定值。Heppner et al. (2005)指出河川出滲時，由於外部水位比較低，當內部地下水位提高時，造成較大的水力梯度，因此向外流出之量值會隨地下水位或蓄水量的增加而增加，因其為水位或系統蓄水量的函數，越高之水位或越多之蓄水量，則向外流失之量值亦越大，故枯水期之水位歷線或蓄水量歷線並非完全呈現線性，而是約略呈現非線性。

本計畫以枯水期之蓄水量歷線之時序變化，藉由迴歸分析(Regression Analysis) 求得主要退水線(Master Recession Curve, MRC) ，求得蓄水量對單位時間蓄水量減少率之函數關係，如式(6.1-5) 所示，本計畫以指數函數來推估蓄水量減少率(式(6.1-6))，其中常數項$\alpha$由於不受到蓄水量之影響，因此可視為人工抽水，其餘指數項則是為天然之邊界交換量。

$$\frac{dS^t}{dt}=f(S^t)$$ .....(式 6.1-5)

$$\rightarrow=-\alpha-\exp\left[\beta\times(S^t-\gamma)\right]$$ .....(式 6.1-6)

## 6.2 屏東平原之水資源評估

圖6.2-1呈現了1999 年至2010 年間屏東平原之蓄水量與降雨量之歷線圖，圖中顯示降雨量於四五月間增加，而十月份時轉而趨弱，地下水位亦有類似的反應，四五月間迅速上升，至十月份時則逐漸下降。雖然屏東平原枯水期可確定為十月至來年之四五月為止，但期間仍間雜間雜小幅降雨，對水位或蓄水量仍有微幅影響。

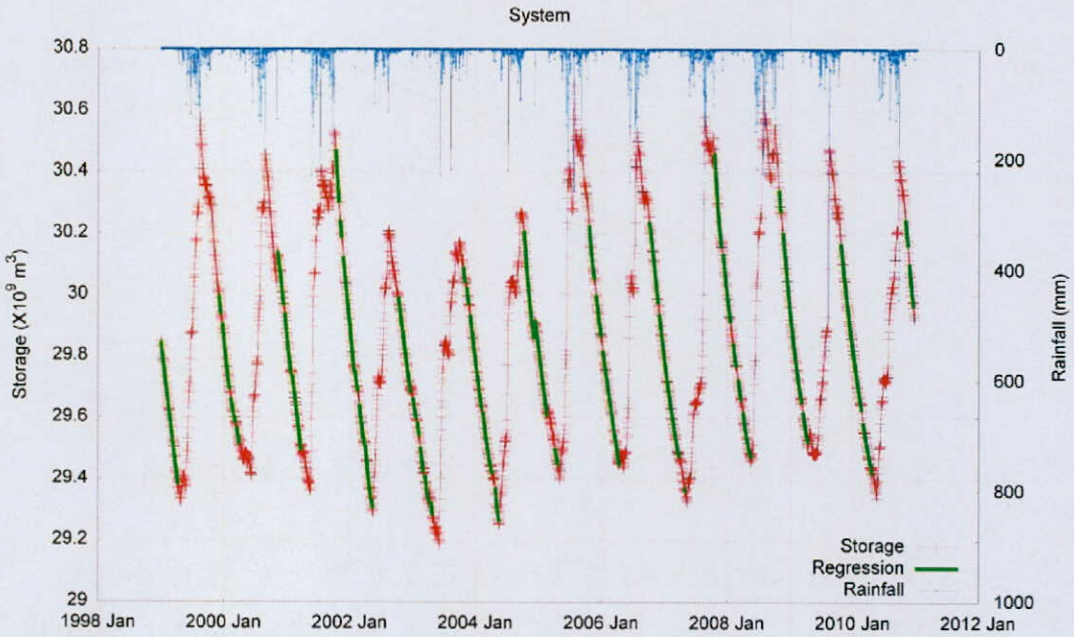



圖 6.2-1 屏東平原全系統蓄水量與降雨量歷線圖

為率除小幅降雨對地下水歷線法之影響，本計畫以 $5(mm/day)$ 降雨強度為門檻值，若有高於門檻值之降雨事件發生，則不納入枯水段之計算。圖上綠線是以枯水段之蓄水量，搭配二次多項式曲線(式(6.2-1)) 迴歸，由於迴歸式為可微分方程式，其一階微分型態為式(6.2-2) ，即可求得各枯水段之退水斜率，以此方式可有效避免雜訊與誤差之影響，而正確取出退水趨勢。

$$y = ax^2 + bx + c \quad \text{(式 6.2-1)}$$

$$y' = 2ax + b \quad \text{(式 6.2-2)}$$

將前述所得枯水段蓄水量之迴歸式與其一階導函數繪於圖面上，橫軸為蓄水量，縱軸為單位時間蓄水量減少率，如圖 6.2-2 所示。以迴歸分析建立蓄水量對退水斜率之迴歸式，如式(6.2-3) 所示。

$$MRC = -0.003166 - \exp\left[2.447543 \times \left(S' - 32.526880\right)\right] (\times 10^9 m^3 / day) \quad \text{(式 6.2-3)}$$

迴歸式中包含常數項與指數項，該迴歸式最小值應等於其常數項(即

$-0.003166$），假設系統內水位最低時、蓄水量最少時，對外流失量為零，該系統之抽水量即等於該常數項，因此屏東平原平均每日抽水量應為 $-0.003146\times10^{9}=-3.146\times10^{6}(m^{3}/day)$，每日抽取3.146百萬噸地下水，其餘部分則為其他垂向交換量之效應。

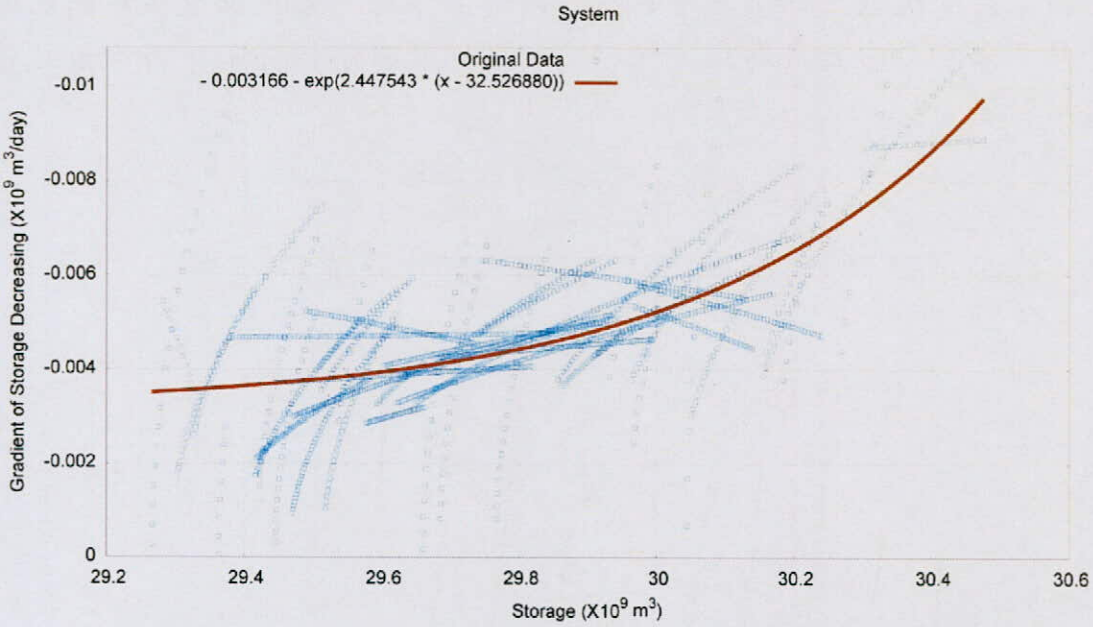



圖 6.2-2 屏東平原蓄水量與蓄水量退水斜率分布圖

此外，由於許多抽水行為會因為降雨補充了水源，故轉而降低抽水量，例如稻作等，若於降雨當天之抽水量應小於平日未降雨之抽水量，在此以一定比值搭配參數檢定的方式來調整，本計畫設定為 0.25 。

本計畫以(式 6.2-3) 為系統之主要退水線(MRC) ，以年為單位進行水平衡分析，分析結果如表 6.2-1 為系統水平衡分析表，表中分析 1999 至 2010 十二年間之水平衡，十二年間之相對豐水年(2005) 之年雨量為 3,294(*mm*) ，相對枯水年(2002) 之年雨量為 1,266(*mm*) 而相對豐水年之抽水量、邊界交換量與補注量分別為 9.70、10.55 與 20.66 億噸，而相對枯水年則為 10.28、4.97 與 12.99 億噸，十二年間之平均值為 9.85、7.75 與 17.66 億噸。

圖 6.2-3 分析各降雨事件之累積降雨量，以及對應之垂向補注量，建立兩者之迴歸關係，式(6.2-4) 為其迴歸式，式中顯示如某降雨事件之累積降雨量為 100(*mm*)，該場降雨所能產生之補注量應為 $62.31\times10^{6}$(噸) ，亦即將近 62 百萬噸。圖 6.2-4 則進一步以降雨事件之長度，建立平均降雨量與平均垂向補注量之關係。相較於圖 6.2-3 其迴歸效果較差。

表 6.2-1 屏東平原水平衡分析表

| 年份 | 年儲蓄改變量[a] | 抽水量[a] | 邊界交換量[a] | 補注量[a] | 降雨量[b] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1999 | 21.3 | -955.4 | -818.8 | 1,795.5 | 2,701 |
| 2000 | -0.1 | -991.0 | -691.8 | 1,682.7 | 2,296 |
| 2001 | 31.8 | -962.5 | -992.3 | 1,986.7 | 2,959 |
| 2002 | -225.5 | -1,027.5 | -496.9 | 1,298.9 | 1,266** |
| 2003 | 108.7 | -1,014.8 | -480.0 | 1,603.5 | 1,701 |
| 2004 | 44.1 | -1,014.8 | -538.7 | 1,597.6 | 1,658 |
| 2005 | 41.5 | -970.5 | -1,054.7 | 2,066.7 | 3,294* |
| 2006 | -70.2 | -986.3 | -832.9 | 1,749.0 | 2,560 |
| 2007 | 203.7 | -962.5 | -869.1 | 2,035.3 | 2,780 |
| 2008 | -42.4 | -982.3 | -1,157.6 | 2,097.5 | 3,014 |
| 2009 | -127.7 | -1,014.8 | -718.0 | 1,605.1 | 2,091 |
| 2010 | 88.4 | -938.0 | -651.7 | 1,678.1 | 2,664 |
| 總計 | 73.6 | | | | |
| 平均 | 6.1 | -985.0 | -775.2 | 1,766.4 | 2,415 |

[a] 單位：$\times 10^6 (m^3)$ ；[b] 單位：(mm)；*與**分別代表豐水年與枯水年

$$f(x) = 0.623132x + 1.900324 \quad \text{(式 6.2-4)}$$

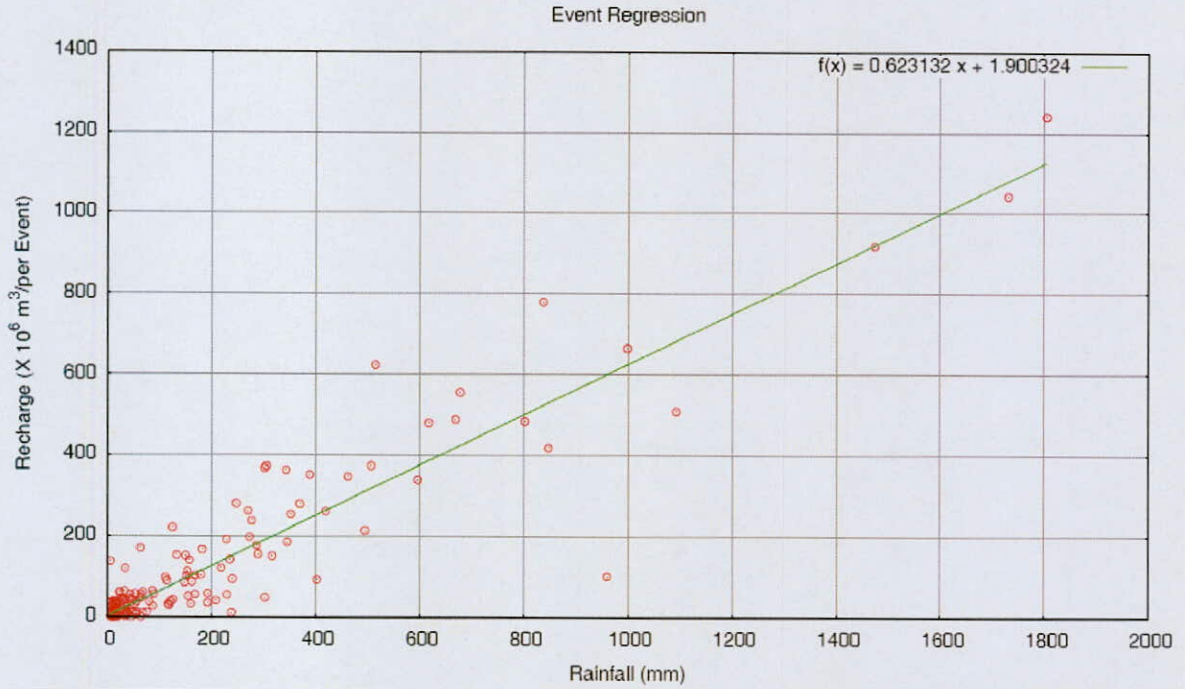



圖 6.2-3 屏東平原降雨事件累積降雨量對累積垂向補注量分布圖

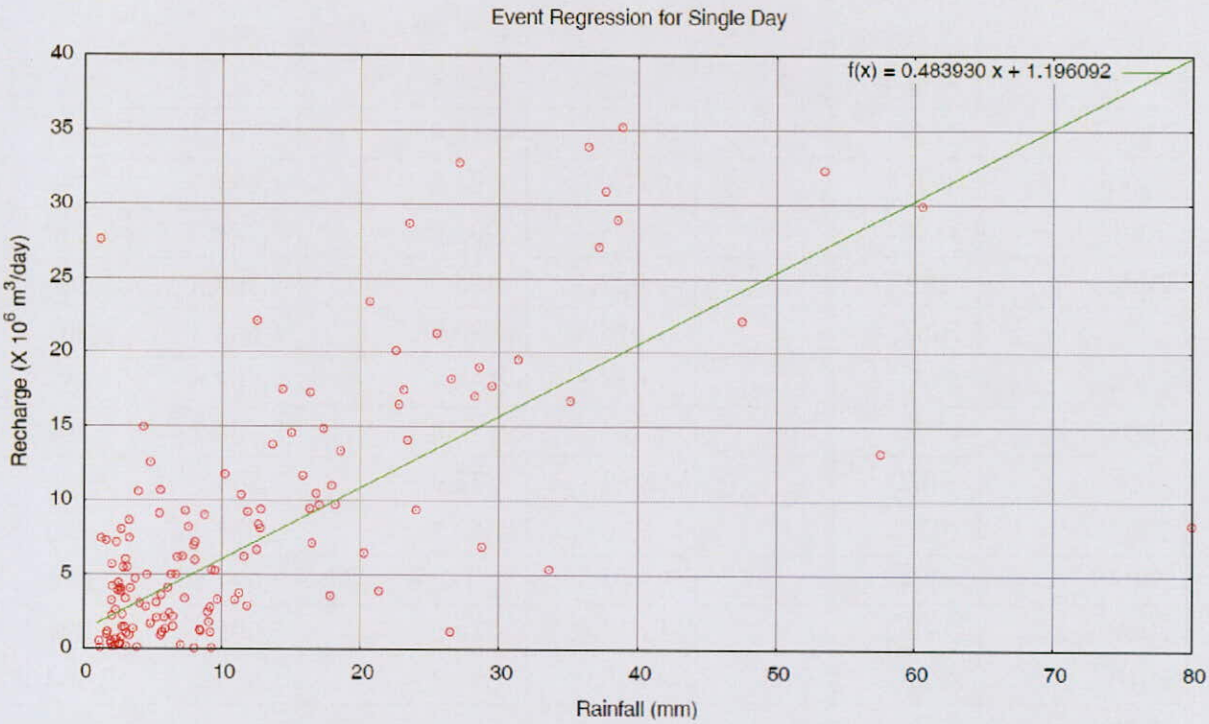



圖 6.2-4 屏東平原降雨事件平均降雨量對平均垂向補注量分布圖

# 第七章 地下水數值模式建置與分析

本章將說明屏東平原之地下水數值模式建置流程、水平衡分析及主要補注區對研究區域地下水系統於水量及水質之影響。首先在 7.1 節說明地下水數值模式之建置流程及步驟，7.2 節簡介本計畫所採用之地下水數值模式 MODFLOW 之發展歷程，並展示屏東平原之地下水模式建置及參數檢定成果。於 7.3 節中對檢定完成之模式進行補注量與抽水量之統計分析，以進一步了解屏東平原地下水系統概況。最後於 7.4 節中，首先應用模式檢定及水平衡分析成果，分析主要補注區對整體地下水系統補注之影響程度，之後應用 MODPATH 套件，分析主要補注區域受汙染時，對整體地下水資源之影響。

## 7.1 地下水數值模式建置與應用流程

本計畫地下水數質模式之建置及後續應用分析流程如圖 7.1-1 所示，可分為五大部分，依序為邊界條件與網格劃分、模式資料輸入、模式參數檢定、水平衡分析及模式應用(如圖 7.1-1 所示)。本計畫採用美國地質調查局開發之 MODFLOW 地下水流模擬模式模擬研究區域之地下水流系統(見 7.2.1 MODFLOW 簡介)。在以 MODFLOW 建模時，首先需先定義研究區域之空間切割，模擬期距，分層架構及邊界條件等設定，接著再設定初始條件與含水層參數(如透水係數、儲水係數、含水層厚度等)；其輸出資訊則包含各含水層之地下水位分佈、洩降分佈、模式水平衡等。在給定建模所需之基本資料後，本計畫應用規則式專家系統(見 7.2.4 參數檢定方法)進行淨補注量檢定，檢定模擬期距(1999 年~2010 年)中，各月份之表層淨補注量與深層抽水量。在水平衡分析時，因本計畫乃以參數檢定方式檢定表層淨補注量，因此需再以分散型水位歷線法之分析結果，將模式之表層淨補注量分離出表層垂向補注量、表層抽水量及流失量。最後本計畫進一步分析主要補注區對整體地下水系統於水量及水質之影響，其中在水量的評估部分，本計畫分析主要補注區對整體地下水系統之補注量影響程度，而在水質之評估部分，本計畫以檢定後之地下水模式搭配 MODPATH 進行污染範圍分析，評估主要補注區受汙染後，對整體地下水系統之影響。

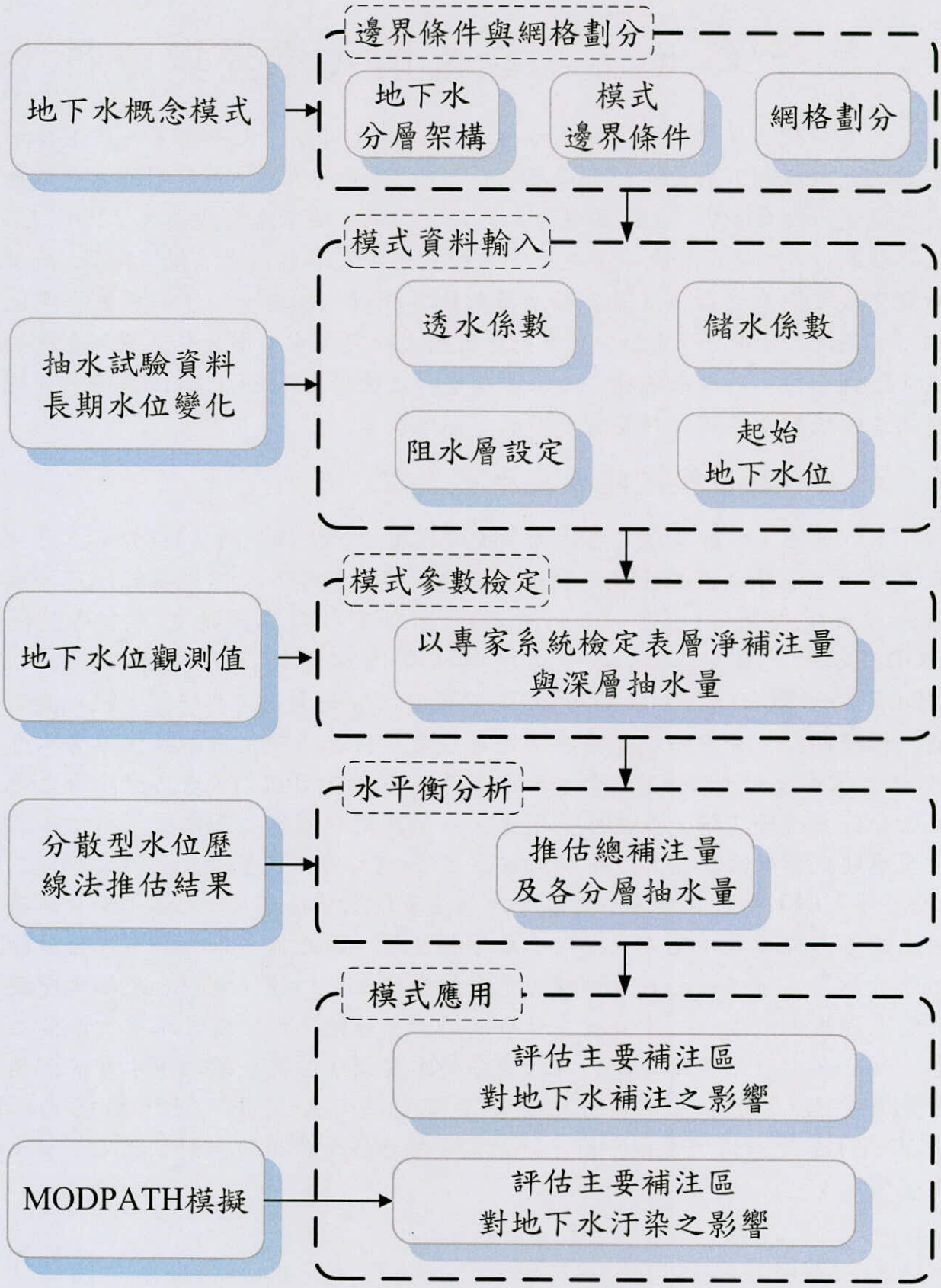



圖 7.1-1 地下水數值模式建置與應用流程示意圖

## 7.2 地下水數值模式建置

### 7.2.1 MODFLOW 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，含水層種類可分為自由、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 MODPATH、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 6.0 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，因此本計畫採用美國地質調查局(U.S.G.S)發展的 MODFLOW 程式，建立屏東平原數值模式之架構，再配合分散型地下水位歷線法，推估平原之總補注量與總抽水量。

### 7.2.2 邊界條件與格網劃分

1.地下分層架構

MODFLOW 模擬之設定上，可將含水層型態設定為拘限含水層或非拘限含水層，並需分別輸入各分層之上部高程和底部高程。本計畫參考中央地質調查所於民國 91 年出版之「台灣地區地下水觀測網第一期計畫屏東平原水文地質調查研究報告」，以屏東平原 53 站地層柱狀圖，完成水文地質剖面一至十三(深度最深至 300 公尺左右)，劃分出屏東平原概念分層，依深度分別為含水層 1、阻水層 1、含水層 2、阻水層 2、含水層 3-1、阻水層 3 及含水層 3-2，屏東平原模式共分為第一至七分層，如圖 7.2-1 所示，本章將含水層一視為淺層含水層，含水層二以下之含水層視為深層含水層。

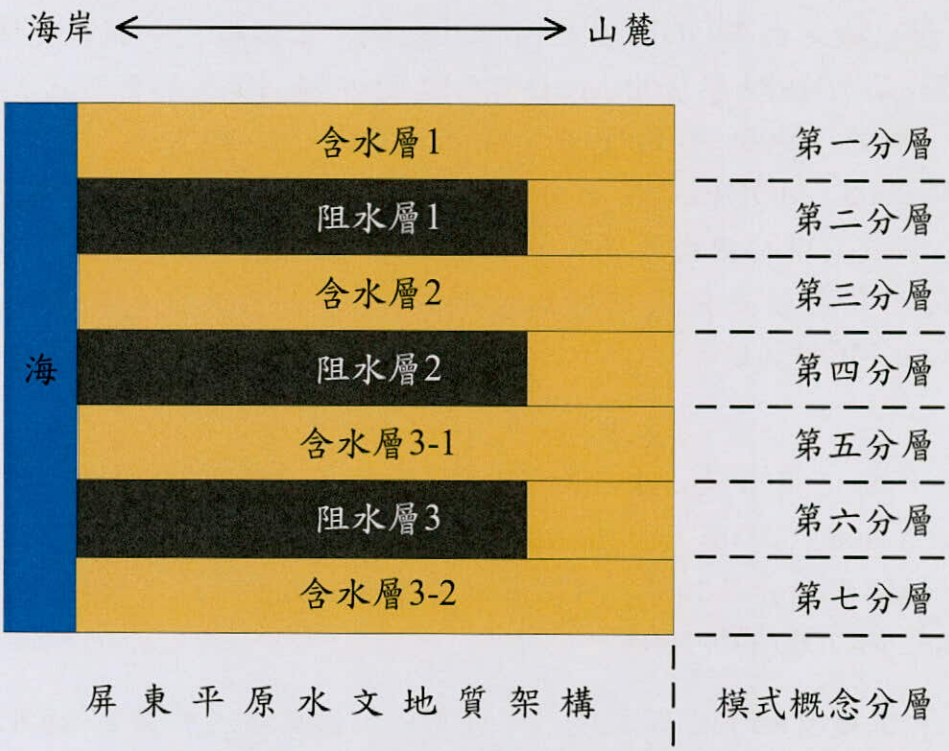



圖 7.2-1 屏東平原概念分層

2.模式邊界條件與格網劃分

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

格網劃分上，南北方向將模擬區域分為 78 列，東西方向分為 30 行。考量

資料密度及計算精度，本計畫採用 1 公里乘 1 公里之等間距格網，此外由於第七分層(含水層 3-2)因觀測井數量僅 11 口，且集中於屏東平原南部區域，因此無論在地質參數或是水位資訊上均不足以提供建模所需，故本計畫只取第一分層至第五分層建置數值模式，其中第一分層包含部分非受壓含水層與部分受壓含水層，第二分層以下均為受壓含水層，屏東平原地下水區如圖 7.2-2 所示。

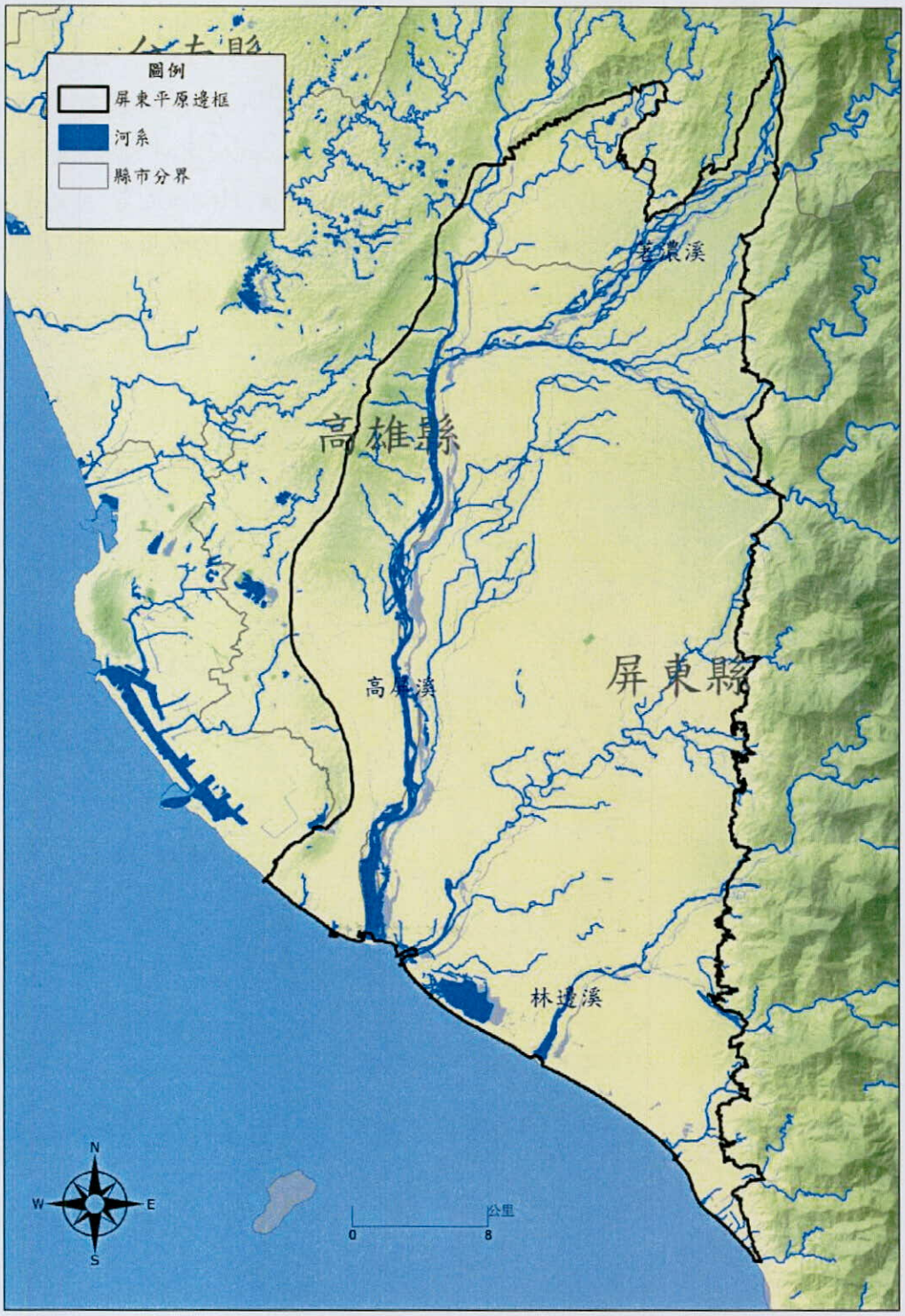



圖 7.2-2 屏東平原地下水模擬區域

邊界條件設定上假設東、西與北之區域邊界其地質特性無水流流動，設定為零流量 (No flow)邊界(Neumann boundary condition)，但在東側部分因與潮州斷層相鄰，有大量山邊側流量流入，故在右方邊界河流出山口處以給定水頭方式模擬山邊側流量，並假設出山口處之總水頭高為最近之觀測井的水頭高加上兩處間之高層差，因此設定口社溪出山口總水頭高為關福(1)水位高加 10 公尺，隘寮溪出山口總水頭高為瑪家(1)水位高加 17 公尺，萬安溪出山口總水頭高為老埤(1)水位高加 11 公尺，來社溪出山口總水頭高為萬隆(1)水位高加為 20 公尺，力力溪出山口總水頭高為大響(1)水位高；另於屏東平原西南處建有鳳山水庫，因終年蓄水，有固定入滲，故以定水頭方式模擬水庫入滲，並設定水庫底部高層為總水頭高，固定其為 44 公尺；南方邊界以海拔負 10 公尺等高線作為邊界，設為定水頭，水位高為 0 公尺，邊界條件設定如圖 7.2-3 所示，白色部分為模擬區域，灰色格網設定為零流量，藍色格網設定為給定水頭。

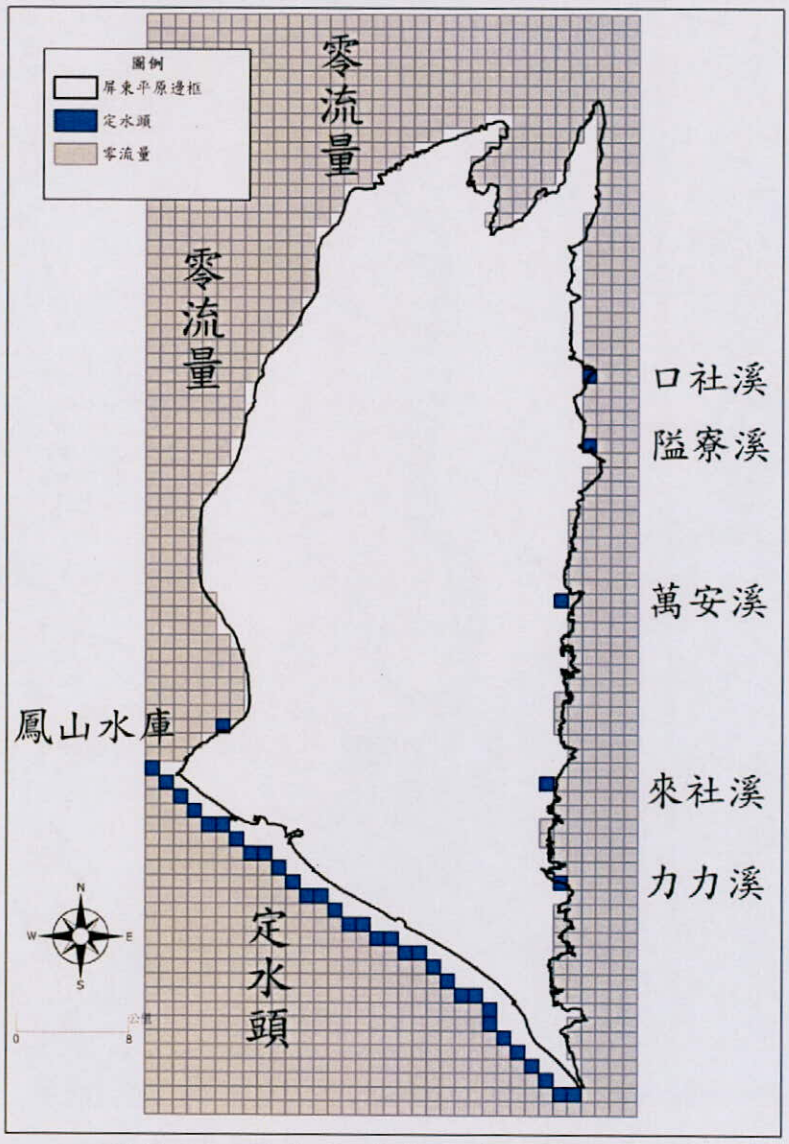



圖 7.2-3 屏東平原邊界條件格網劃分

### 7.2.3 模式資料輸入

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

1.透水係數

觀測站網建置時，各觀測井必進行單井或複井抽水試驗，因此幾乎各觀測井於不同含水層均擁有其導水係數(Transmissivity，T 值)現地試驗值，但因MODFLOW 模式所需參數為透水係數(Hydraulic Conductivity，K 值)，因此台灣地區地下水觀測網第一期計畫所得之導水係數，再除以含水層厚度(b)即可轉換求得透水係數，後續再以徐昇氏法分區將點位型式之數值推估至整個屏東平原，圖 7.2-4~圖 7.2-6 分別為模式第 1、3 及 5 分層之徐昇氏分區圖。而概念分層中之第 2 及 4 分層為阻水層，其分布範圍位於平原中、下游區域，模式於平原中、下游區域阻水層之透水係數乃參考 Fundamentals of Ground Water (Franklin W. Schwartz and Hubao Zhang, 2003)中建議之值域，在此設定為 $4\times10^{-3}$ (公尺/天)。此外，由於抽水試驗所得結果為水平向之透水係數，故在此假設垂向透水係數為水平向之 1/50。

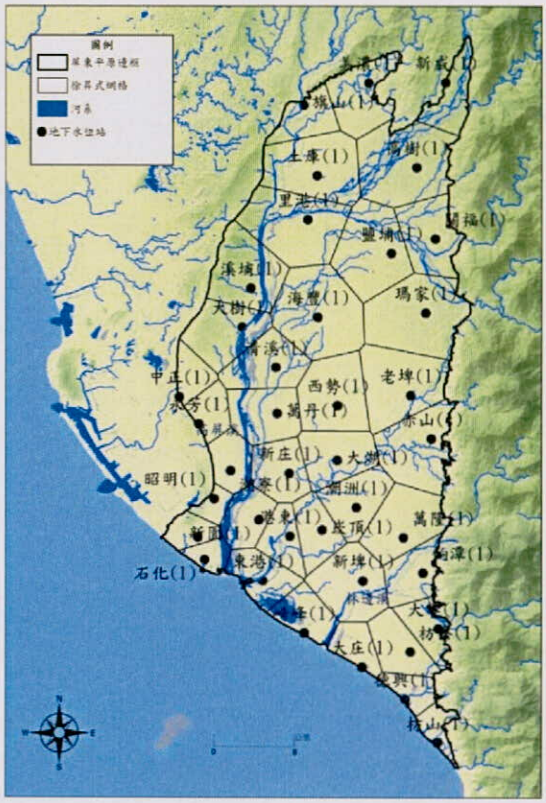



圖 7.2-4 含水層 1 徐昇式分區

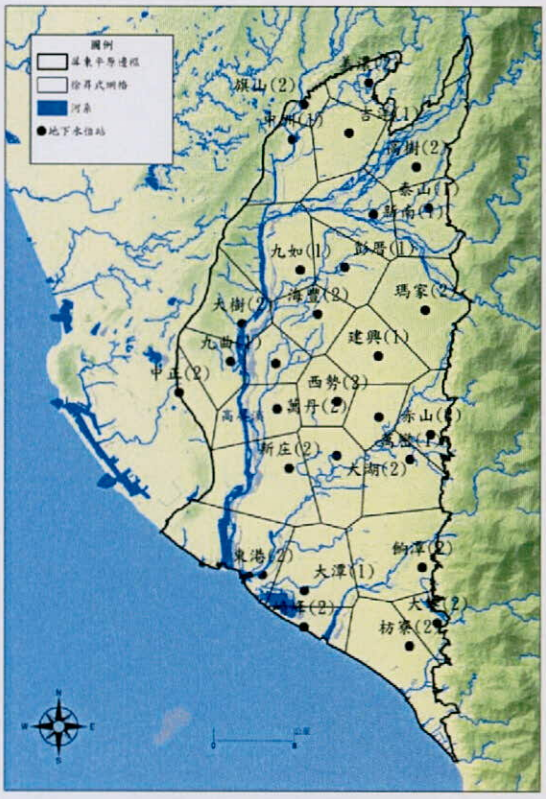



圖 7.2-5 含水層 2 徐昇式分區

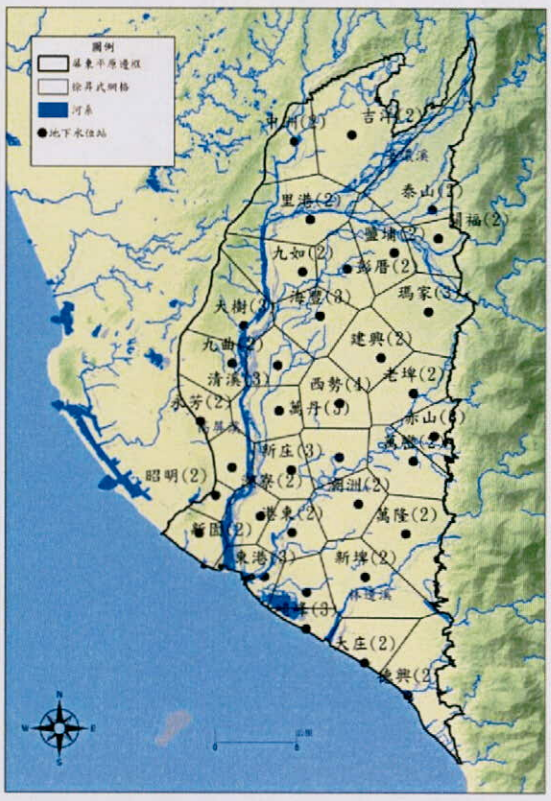



圖 7.2-6 含水層 3 徐昇式分區

2.儲水係數

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

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

3.阻水層設定

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

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

4.起始地下水水位

對於暫態模式而言，初始地下水位代表模式之初始條件，不同初始條件影響模擬結果極巨，因此應選取適當之初始水位以得到較佳之模擬結果。本計畫建置之地下水系統模擬期距為 1999 年~2010 年，為月模擬，模擬起始時刻為西元 1999 年 1 月，因此以西元 1998 年 12 月之平均水位作為起始水位。

5.抽水量、補注量

由於現地抽水量資料較不完整，且地下水補注為未知，故本計畫將以專家系統(見 7.2.4 參數檢定方法) 檢定淺層淨補注量與深層抽水量，再結合分散型水位歷線法之分析成果分離淺層垂向補注量、淺層抽水量及流失量。

本計畫設定之模擬時刻長度為月，參數檢定之依據為各觀測井之月平均水位，此外，本計畫採用徐昇氏法進行參數分區，以降低參數維度。

### 7.2.4 參數檢定方法

1.參數檢定變數說明

MODFLOW 三維地下水模式乃以有限差分法進行數值離散，其在空間離散上採用矩形網格，因此每一模擬網格皆為一六面體，如圖 7.2-7 所示，模式中各網格之每一面與其相鄰網格之流量，皆可以達西公式計算，因此當水位與透水係數已知時，六面體與四周網格之交換量(flux)即可求得。然而，若此網格位於含水層一時，其與地表接觸的面並無法以達西公式計算，該平面之水量進出乃藉由地表補注(Recharge)或是人為抽水進出該網格，因此本計畫在進行參數檢定時，於含水層一檢定所得之量值即為補注與抽水之綜合效應，無法拆開，因此本計畫定義含水層一所檢定之量值為淺層淨補注量(Net recharge)。在含水層一以下之各個網格，其內部水量進出網格之形式除了因與相鄰網格之水位差造成之交換量外，亦可透過源流(source)或沉流(sink)之形式進出網格，意即將水量以抽水井或補注井之形式取出或注入該網格，惟在深層含水層中，幾乎不可能發生補注之行為，因此本計畫設定深層含水層僅能抽水而不能補注，故深層含水層檢定之量值即為抽水量。

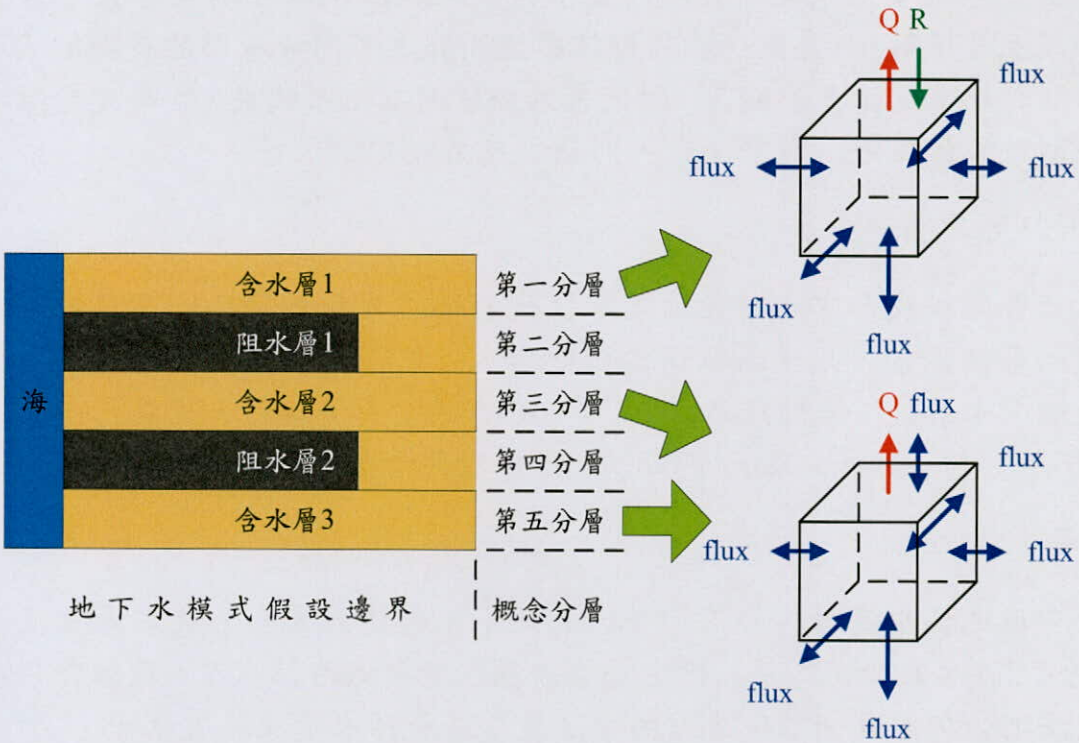



圖 7.2-7 地下水模式流量計算概念圖

2.參數檢定方法介紹

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

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

本計畫採用專家系統進行參數檢定，期能在保有自動化參數優選檢定的快速及方便的同時，亦能保有人工參數檢定之彈性，並能累積整合專家之經驗，使得參數檢定的工作更易進行。由於專家系統與地下水模擬 MODFLOW 系統之資料使用格式不同，必須透過檔案格式之轉換，使屏東平原地下水模式之資訊，能在此兩種系統中流通使用。圖 7.2-8 為參數檢定之系統架構，可瞭解資訊在兩種系統中傳遞的情形。

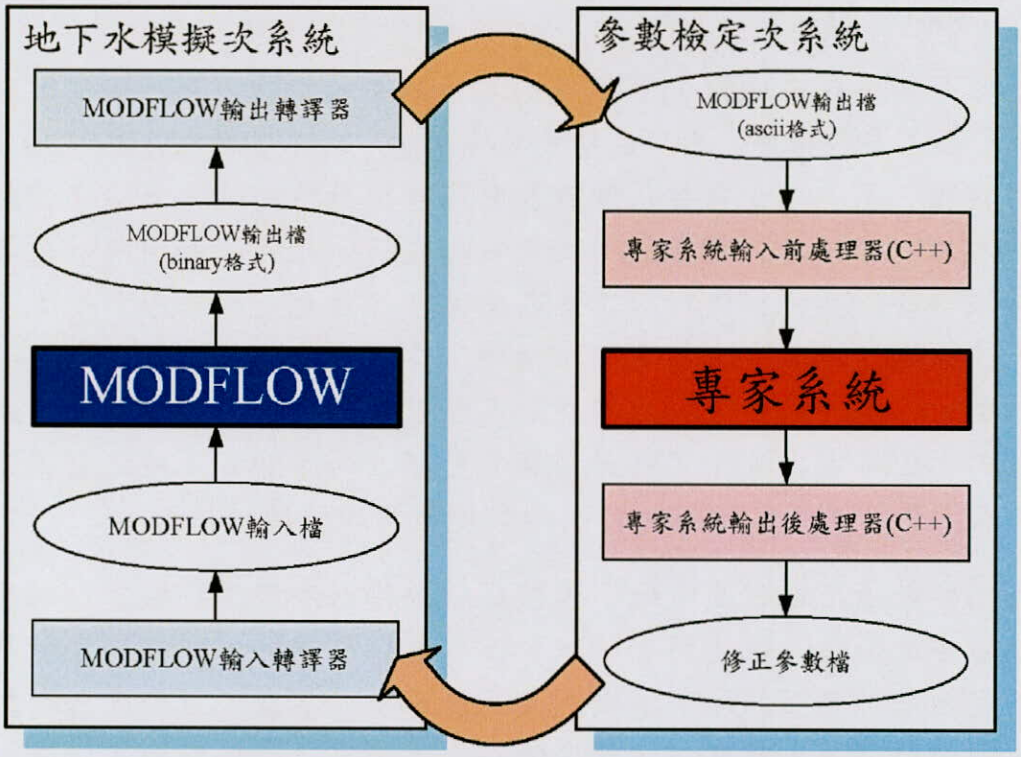



圖 7.2-8 地下水參數檢定系統架構圖

3.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。

4.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：

a. 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。

b. 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。

c. 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：

a. 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。

b. 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。

c. 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。

d. 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。

5.參數檢定流程

利用專家系統進行參數檢定流程如圖 7.2-9 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。

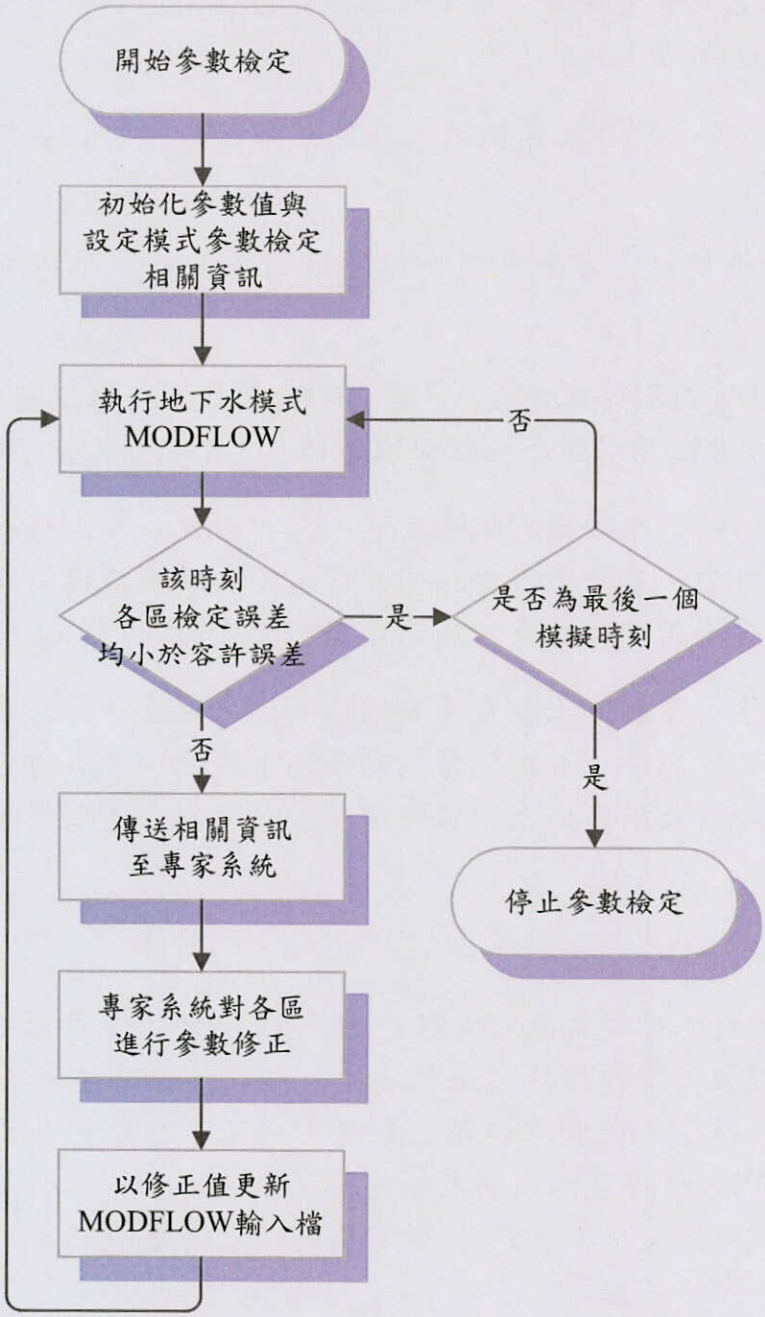



圖 7.2-9 參數檢定流程

### 7.2.5 檢定誤差統計分析

本暫態模式模擬設定一時刻長度為一個月，以西元 1999 年至西元 2010 年屏東平原各觀測井之月平均水位，作為暫態模式各時刻之參照水位，設定各分區最大容許誤差值為 2 公尺進行參數檢定，檢定後全區全時刻均方根誤差為 0.429 公尺，以下將以各分層誤差空間分布及誤差統計進行說明。

1.檢定成果之誤差空間分布

此部份主要呈現檢定誤差在空間上的分佈。圖 7.2-10 ~ 7.2-12 分別為屏東平原第一分層、第三分層與第五分層各時刻所有模擬值之均方根誤差等值圖，等值線的間距為 0.1 公尺。圖中顯示均方根誤差皆小於 1 公尺，檢定成果良好。

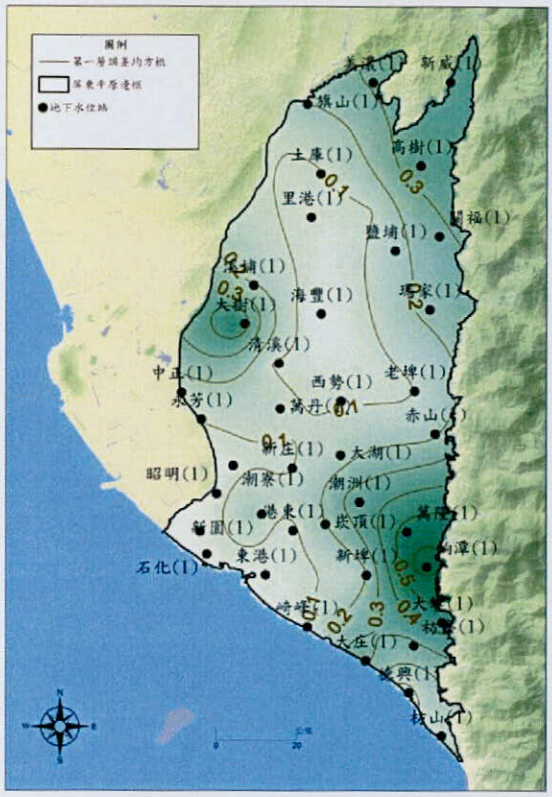



圖 7.2-10 第一分層誤差均方根

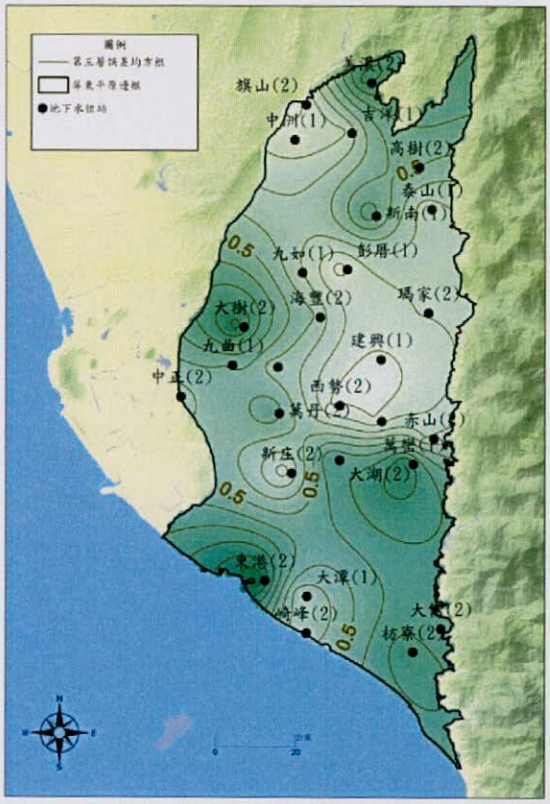



圖 7.2-11 第三分層誤差均方根

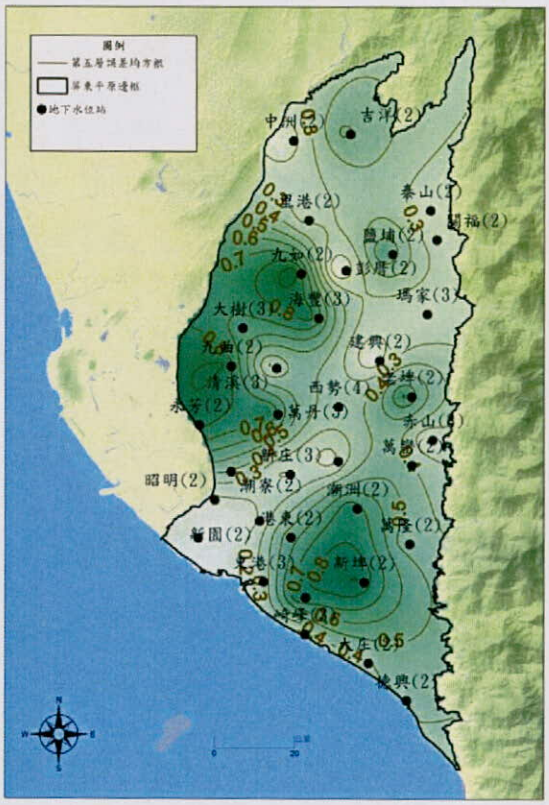



圖 7.2-12 第五分層誤差均方根

2.檢定成果之誤差空間分布

此部份主要呈現檢定誤差在時間上的分佈。將各月份均方根誤差依時間排序，如圖 7.2-13 所示。圖中均方根誤差最大值為 0.627 公尺，最小值為 0.284 公尺，其餘均方根誤差均在 0.3-0.6 公尺之間，顯示檢定成效良好，檢定誤差皆能維持在一定區間內。

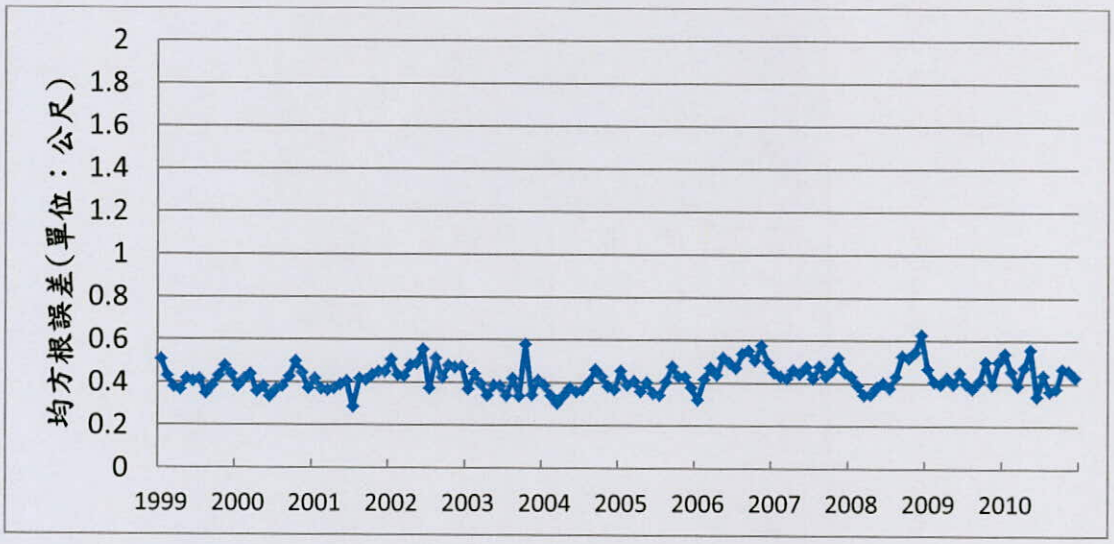



圖 7.2-13 各月份均方根誤差變化圖(1999-2010)

3.檢定成果之誤差統計

將 1999 年至 2010 年所有模擬誤差以 0.4 公尺為誤差區間進行統計，並將此結果繪製成誤差主體圖，如圖 7.2-14 所示，由圖可知 80%的誤差在-0.4 公尺與+0.4 公尺之間，檢定成果良好。

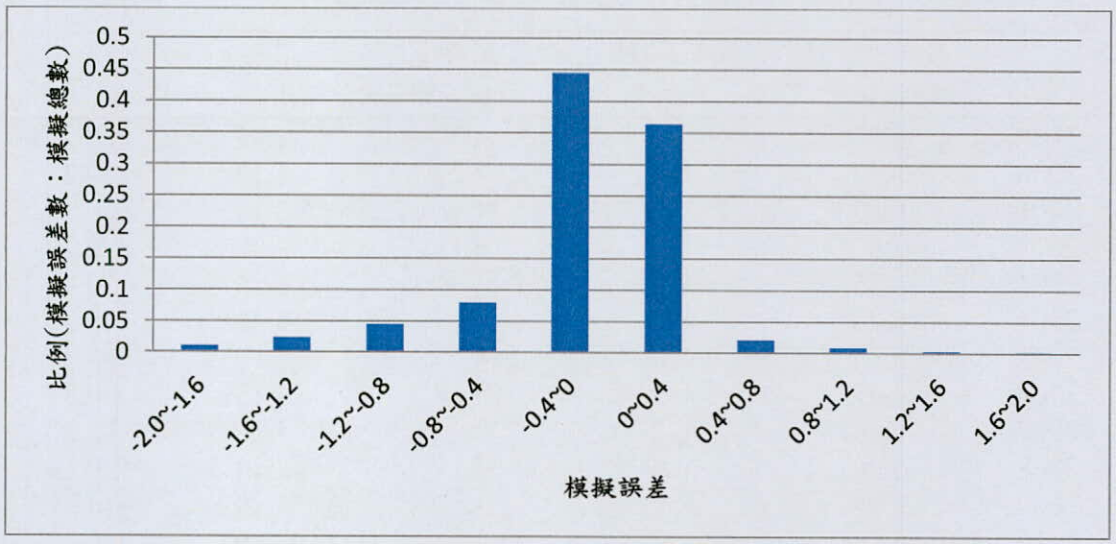



圖 7.2-14 模擬水位誤差主體圖(1999-2010)

## 7.3 區域水平衡分析

本節說明由模式檢定所得之表層淨補注量、含水層二抽水量、含水層三抽水量、山邊側流入量及海岸淨流入量，如表 7.3-1 所示。

表 7.3-1 模式檢定所得參數

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

(單位：億噸/年)

由表可知，第一含水層之淨補注量值約介於 2.97~6.90 億噸之間，年平均約為 5.20 億噸；第二含水層之抽水量值約介於 3.83~4.73 億噸之間，年平均約為 4.40 億噸，第三含水層之抽水量值約介於 3.74~4.34 億噸之間，年平均約為 4.11 億噸，山邊側流入量值約介於 3.02~3.20 億噸之間，年平均約為 3.13 億噸，海岸淨流入量值約介於 0.14~0.31 億噸之間，年平均約為 0.23 億噸。以上歸納可得深層抽水量、山邊側流入量與海岸淨流入量皆屬相對穩定之量值，而含水層一之淨補注量則變化幅度較大。由於本計畫在含水層一所檢定之量值為淨補注量，而此淨補注量為垂向補注量、第一層抽水量及流失量之總和，若要分離出此三個量值，則需以前一章所提之分散型水位歷線法輔助推求，此部分將於後續文章說明。

為說明如何以分散型水位歷線法與數值模式計算含水層一之補注量、抽水量與流失量，本計畫將先說明原始地下水系所包含之各主要分量，接著說明分散型地下水位歷線法與數值模式之簡化系統，並說明如何以兩方法之分析成果換算出原始系統之各分量值，再對各分量進行統計分析。

首先介紹地下水系統之各項分量，如圖 7.3-1 所示，一般台灣平原區地下水系統之水量進出可分為垂向補注量、山邊側流量、沿海流入量、各含水層抽水

量及流失量，由這些分量及相應之蓄水變化量達成系統水平衡。其中垂向補注量為降雨及地表逕流入滲地下水之補注；山邊側流量為由潮州斷層側向流入之補注；沿海流入量為海水流入地下水之水量；各含水層抽水量為地下水各分層之人工抽水；流失量如地下水由河川之出滲量及出滲至地表之自流量。

分散型地下水位歷線法與數值模式因其計算分析之原理與假設不同，故兩者之地下水系統需進行相當程度之簡化，以下將分別說明之。圖 7.3-2 為分散型水位歷線法之系統概念圖，其系統分量包含垂向補注量、抽水量、邊界交換量及儲蓄改變量，其中，抽水量則為各含水層之抽水量總和，邊界交換量則為沿海流入量、山邊側流量與流失量之總和。而數值模式之系統概念圖如圖 7.3-3 所示，其系統分量可分為沿海流入量、山邊側流量、淺層淨補注量、深層抽水量(含水層二及含水層三之抽水量)及儲蓄改變量，其中淨補注量為垂向補注量、含水層一之抽水量及流失量總和。上述兩種方法因原理與假設不同而對原地下水系統各有所簡化，難以單一方法求得地下水系統之各分量，因此本計畫以此兩方法之成果，換算出地下水系統之各分量值，換算公式說明如下：

分散型水位歷線法之邊界交換量(Bh)為沿海流入量、山邊側流量及流失量之總和，其中山邊側流量、及沿海流入量可由模式求得，因此經過換算後可求得流失量，如式(7.3-1)所示。

分散型水位歷線法之抽水量則為各分層抽水量之總和，而含水層二與含水層三之抽水量可由模式求得，因此可以換算出含水層一之抽水量，如式(7.3-2)所示。

模式檢定之淨補注量則為垂向補注量、含水層一抽水量及流失量之總和，而流失量與含水層一之抽水量已由式(7.3-1)與式(7.3-2)求得，因此可換算出垂向補注量，如式(7-3)所示。

$B_h = COAST_m + FAULT_m + LOSS$ .....(式 7.3-1)

$B_h$ = 邊界交換量，下標 h 代表由水位歷線法取得

$COAST_m$ = 沿海流入量，下標 m 代表由數值模式取得

$FAULT_m$ = 山邊側流量，下標 m 代表由數值模式取得

LOSS = 流失量

$PUMP_h = PF2_m + PF3_m + PF1$ .....(式 7.3-2)

$PUMP_h$ = 抽水量，下標 h 代表由水位歷線法取得

$PF2_m$ = 含水層二(F2)抽水量，下標 m 代表由數值模式取得

$PF3_m$ = 含水層三(F3)抽水量，下標 m 代表由數值模式取得

PF1 = 含水層一(F1)抽水量

$$NET\ RECHARGE_m = LOSS + PF1 + RECHARGE \quad \text{(式 7.3-3)}$$

$NET\ RECHARGE_m$ = 淨補注量，下標 m 代表由數值模式取得

LOSS = 流失量

PF1 = 含水層一(F1)抽水量

RECHARGE = 垂向補注量

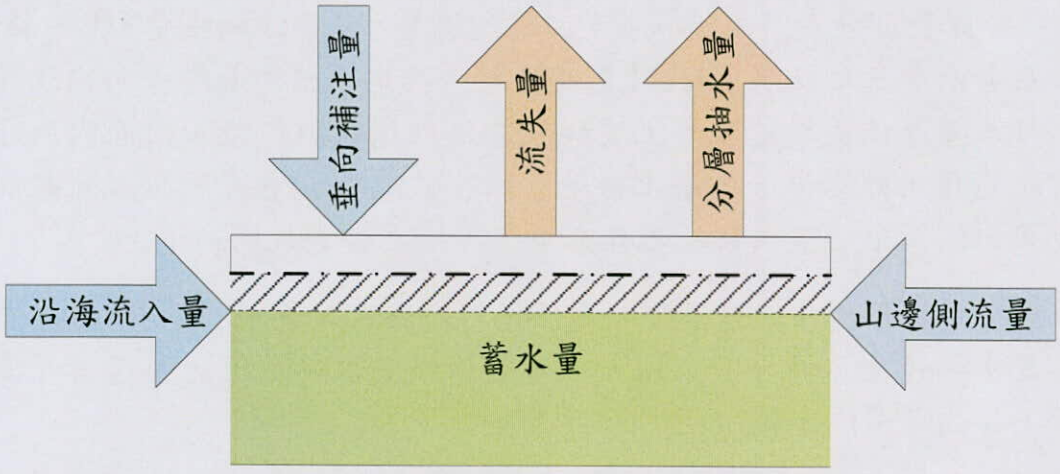



圖 7.3-1 進出地下水系統各項分量概念圖

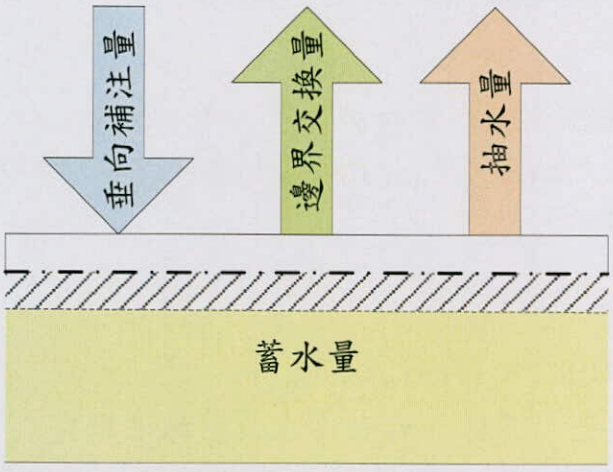



圖 7.3-2 分散型水位歷線法水平衡概念圖

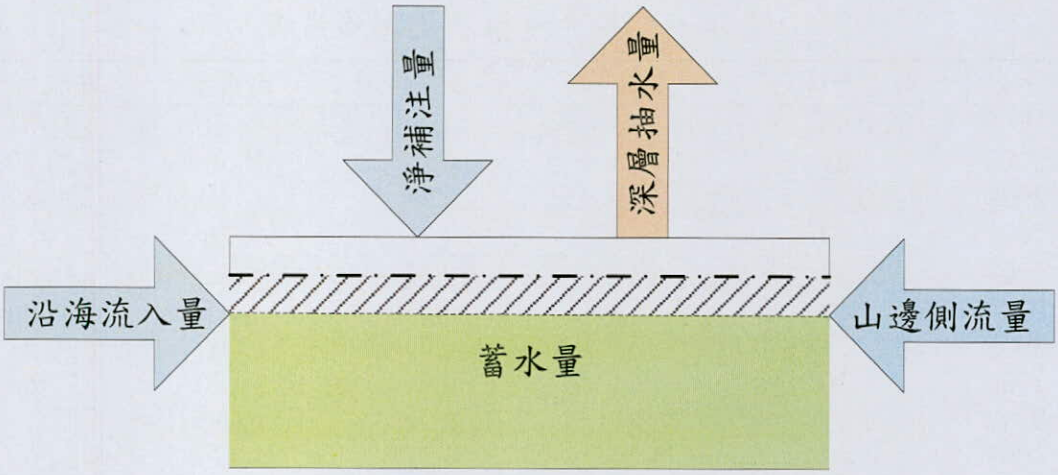



圖 7.3-3 數值模式水平衡概念圖

表 7.3-2 分別為各分層抽水量及流失量之統計結果，圖 7.3-4 則為各含水層抽水量與流失量之歷線分布。表 7.3-3 分別統計各流入量，包含垂向補注、山邊側向流入及海岸淨流入，圖 7.3-5 則說明地下水系統之補注來源，由圖可知，垂向補注(ie.降雨及河川補注)為屏東平原之主要補注來源。表 7.3-4 則統整各年份屏東平原系統總流入量與總流出量，藉以分析各年份儲蓄改變量之變化趨勢。綜合表 7.3-2 至表 7.3-4 之結果可知，在系統流出之量值部分，12 年中之最大系統總流出量為 24.68 億噸，最小系統總流出量為 18.40 億噸，平均總流出量為 20.96 億噸；平均總抽水量為 9.85 億噸，平均流失量為 11.11 億噸。在系統流入之量值部分， 12 年之最大系統總流入量為 24.52 億噸，最小系統總流入量為 15.99 億噸，平均總流入量為 21.01 億噸，平均垂向補注量為 17.65 億噸，平均側向流入量(山邊側流入+海岸淨流入)為 3.36 億噸。

表 7.3-2 各分層抽水量與流失量

| 年分 | 第一層(F1) | 第三層(F2) | 第五層(F3) | 流失量 | 總流出量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1999 | 0.48 | 4.73 | 4.34 | 11.50 | 21.05 |
| 2000 | 1.21 | 4.45 | 4.25 | 10.28 | 20.19 |
| 2001 | 0.67 | 4.59 | 4.36 | 13.25 | 22.87 |
| 2002 | 1.47 | 4.62 | 4.18 | 8.26 | 18.53 |
| 2003 | 1.32 | 4.52 | 4.31 | 8.25 | 18.40 |
| 2004 | 1.60 | 4.32 | 4.23 | 8.81 | 18.96 |
| 2005 | 1.29 | 4.38 | 4.03 | 13.93 | 23.63 |
| 2006 | 1.20 | 4.65 | 4.01 | 11.80 | 21.66 |
| 2007 | 1.41 | 4.30 | 3.91 | 12.11 | 21.73 |
| 2008 | 1.42 | 4.29 | 4.11 | 14.86 | 24.68 |
| 2009 | 2.13 | 4.09 | 3.93 | 10.49 | 20.64 |
| 2010 | 1.81 | 3.83 | 3.74 | 9.83 | 19.21 |
| 平均 | 1.33 | 4.40 | 4.12 | 11.11 | 20.96 |

(單位：億噸/年)

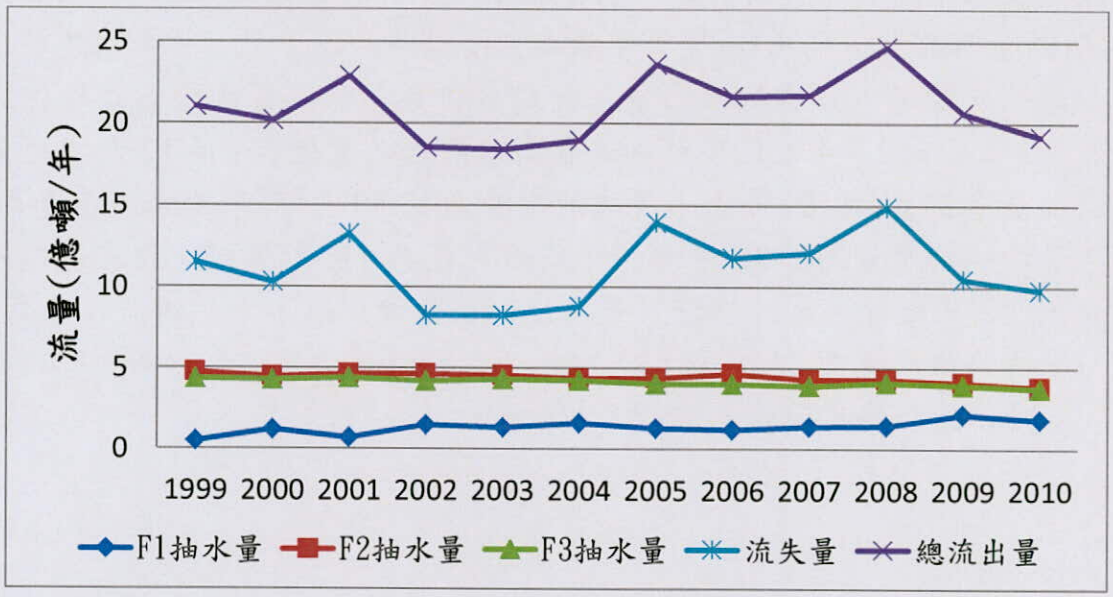



圖 7.3-4 屏東平原年系統流出量

表 7.3-3 垂向補注、山邊側流入與海岸淨流入量

| 年分 | 垂向補注 | 山邊側流入 | 海岸淨流入 | 總流入量 |
|---|---|---|---|---|
| 1999 | 17.91 | 3.11 | 0.20 | 21.22 |
| 2000 | 16.86 | 3.12 | 0.24 | 20.22 |
| 2001 | 19.79 | 3.14 | 0.19 | 23.12 |
| 2002 | 12.70 | 3.02 | 0.27 | 15.99 |
| 2003 | 16.42 | 3.15 | 0.30 | 19.87 |
| 2004 | 15.61 | 3.11 | 0.31 | 19.03 |
| 2005 | 20.85 | 3.10 | 0.28 | 24.23 |
| 2006 | 17.49 | 3.16 | 0.31 | 20.96 |
| 2007 | 20.42 | 3.20 | 0.22 | 23.84 |
| 2008 | 21.24 | 3.14 | 0.14 | 24.52 |
| 2009 | 15.66 | 3.10 | 0.21 | 18.97 |
| 2010 | 16.88 | 3.16 | 0.15 | 20.19 |
| 平均 | 17.65 | 3.13 | 0.23 | 21.01 |

(單位：億噸/年)


圖 7.3-5 屏東平原年系統流入量

表 7.3-4 系統總流入量、總流出量與年儲蓄改變量

| 年分 | 系統總流入量 | 系統總流出量 | 年儲蓄改變量 |
|---|---|---|---|
| 1999 | 21.22 | 21.05 | +0.17 |
| 2000 | 20.22 | 20.19 | +0.03 |
| 2001 | 23.12 | 22.87 | +0.25 |
| 2002 | 15.99 | 18.53 | -2.54 |
| 2003 | 19.87 | 18.40 | +1.47 |
| 2004 | 19.03 | 18.96 | +0.07 |
| 2005 | 24.23 | 23.63 | +0.60 |
| 2006 | 20.96 | 21.66 | -0.70 |
| 2007 | 23.84 | 21.73 | +2.11 |
| 2008 | 24.52 | 24.68 | -0.16 |
| 2009 | 18.97 | 20.64 | -1.67 |
| 2010 | 20.19 | 19.21 | +0.98 |
| 平均 | 21.01 | 20.96 | +0.05 |

(單位：億噸/年)

為觀察屏東平原蓄水量之變化，本計畫將年儲蓄改變量依時間序列作圖，如圖 7.3-6 所示，由圖可知 2007 年增加量最大，儲蓄量增加 2.11 億噸；2002 年減少量最多，儲蓄量減少 2.54 億噸； 再進一步觀察近 12 年間之累積儲蓄量，如圖 7.3-7 所示，以 1998 年為基準，設其累積儲蓄量為零，後續年分持續累加年儲蓄改變量。由圖可知，2007 年之蓄水量在 12 年間為最高，2002 年之蓄水量在 12 年間為最低，再將歷年累積儲蓄量與年雨量對比可發現，儲蓄改變量與當年及前一年降雨量有相當關係，當降雨量相較前一年驟減時，儲蓄量會大量減少，當降雨量持續維持在豐沛水準時，儲蓄量會持續增加，並至某一儲蓄量水準後幾乎持平。

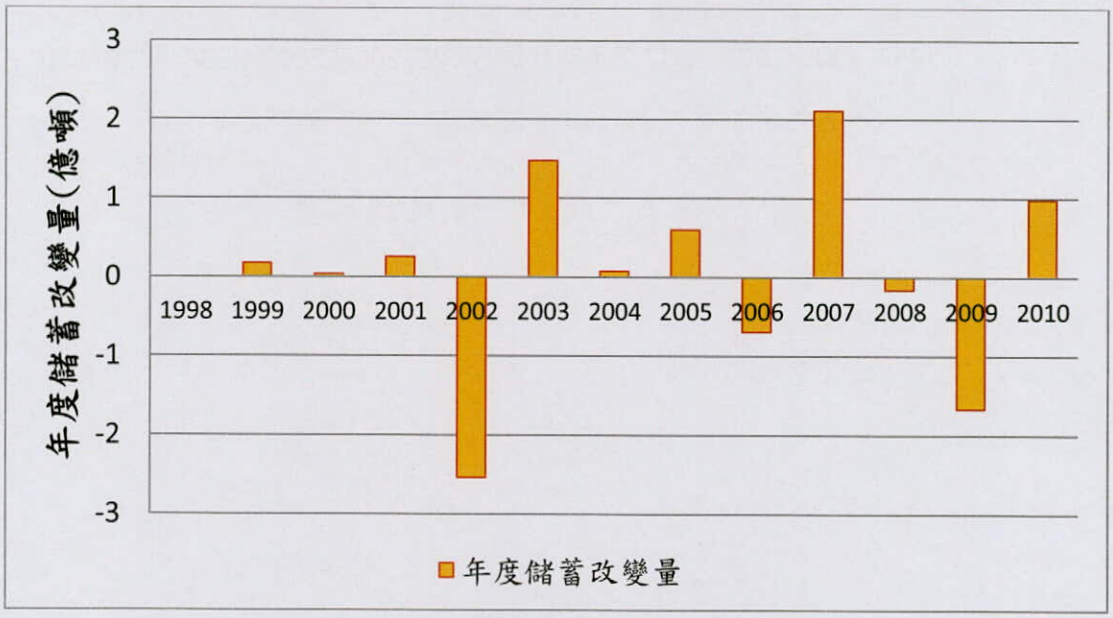



圖 7.3-6 屏東平原年儲蓄改變量

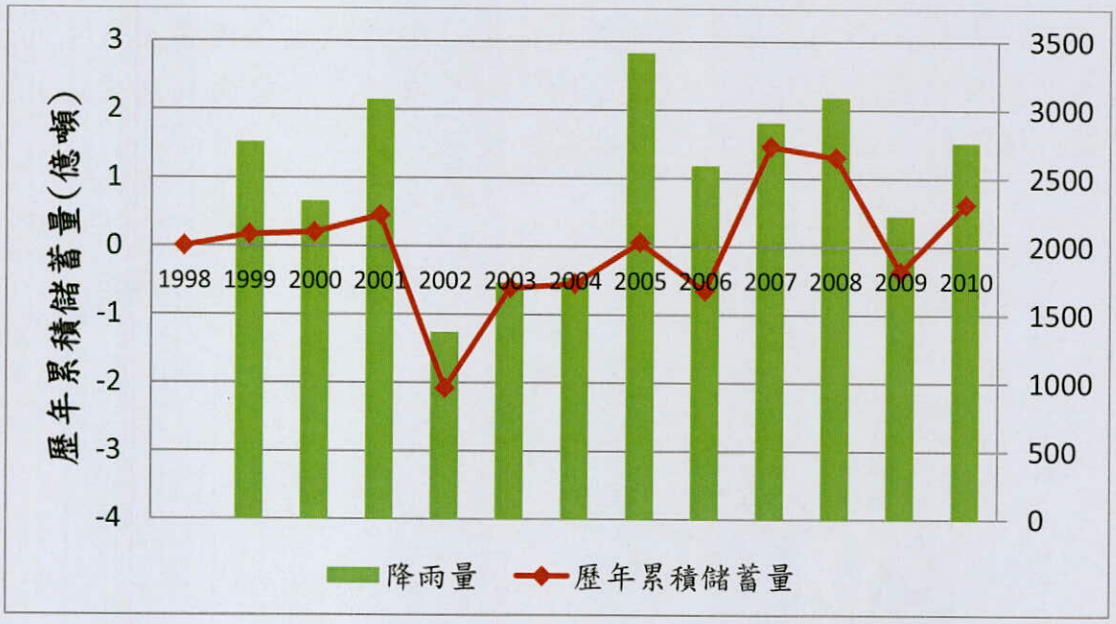



圖 7.3-7 屏東平原歷年累積儲蓄量

圖 7.3-8 為補注量與抽水量隨時間變化關係圖，圖中顯示垂向補注量隨雨季與旱季交替而有明顯變化，雨季時垂向補注量顯著增加，旱季時垂向補注量大減，而山邊及海岸流入量、總抽水量變化較不明顯，雖量值有所增減，但均維持在一定區間內，隨時間推移，未有大幅度變動。

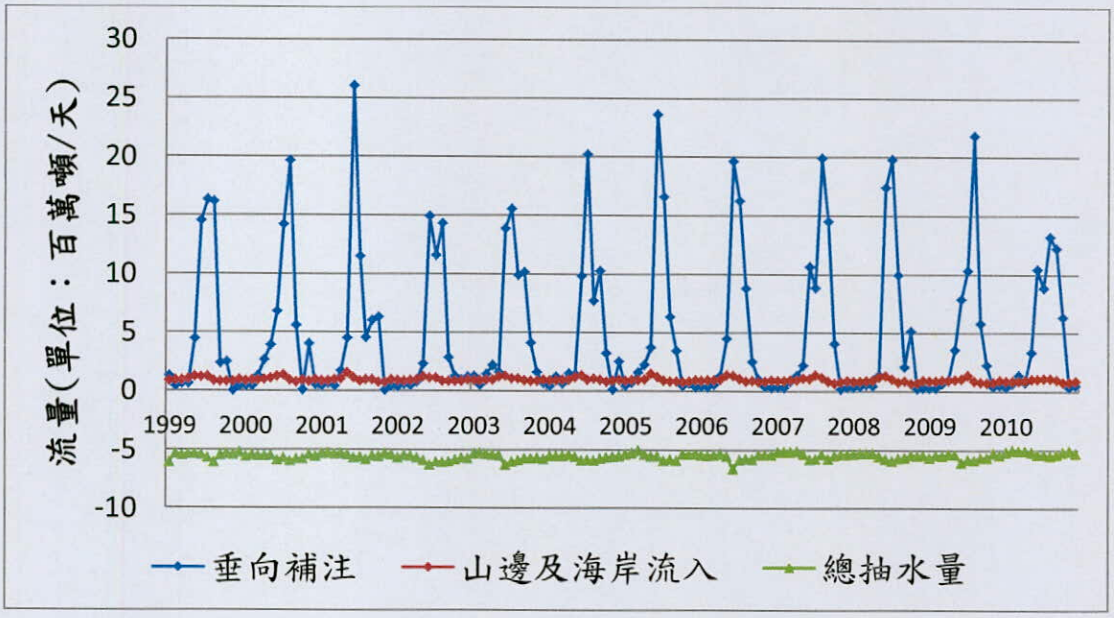



圖 7.3-8 補注量與抽水量變化圖

圖 7.3-9 為月雨量與垂向補注量關係圖，由圖中之線性迴歸線可知，月降雨量愈大，垂向補注量愈高，但非完全線性相關，其原因為降雨入滲量與降雨延時、降雨強度及土壤飽和度有關，當降雨延時短、強度大時，地表水入滲相對

較低，使得大部分降雨由地表逕流方式流失，即會造成降雨量大，垂向補注量低的情形，反之持續多天的低強度降雨，則會有較大之垂向補注，因此經由降雨對垂向補注關係回歸後，其線性相關係數不高。

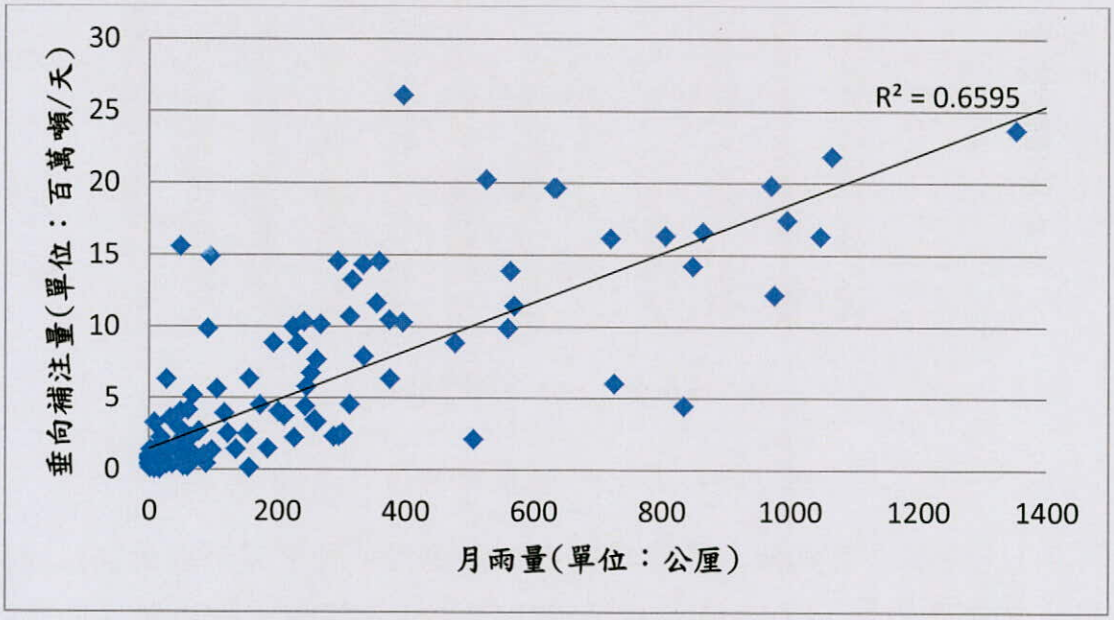



圖 7.3-9 月雨量與垂向補注量關係圖

## 7.4 主要補注區對地下水資源影響分析

### 1.主要補注區對地下水系統補注之影響分析

為進一步了解主要補注區對整體地下水系統之補注影響程度，本計畫分別統計主要補注區之補注量與其所占整體補注量之百分比，表 7.4-1 為歷年屏東平原垂向補注量與主要補注區垂向補注量所占百分比，由表可知，2002 年主要補注區之垂向補注量所占比例最高，約為 72.73%，而 2010 年主要補注區之垂向補注量所占比例最低，約為 65.41%。接著由表 7.4-2 分析，可再進一步探討主要補注區對整體地下水系統補注之重要性：屏東平原總面積約 1231.26 平方公里，主要補注區面積約 367.57 平方公里，主要補注區面積占屏東平原總面積 29.85%，而屏東平原年平均垂向補注量為 17.65 億噸，主要補注區年平均垂向補注量為 12.19 億噸，因此可求得主要補注區之垂向補注量占整體垂向補注量之 69.07%。由此可知，若於主要補注區進行開發，導致地表透水性降低，將對屏東平原之垂向補注造成相當程度之影響。

表 7.4-1 主要補注區補注量與整體補注量關係表

| 年分 | 屏東平原<br>垂向補注量 | 主要補注區<br>垂向補注量 | 主要補注區<br>補注量百分比 |
|---|---|---|---|
| 1999 | 17.91 | 11.91 | 66.49 |
| 2000 | 16.86 | 11.79 | 69.90 |
| 2001 | 19.79 | 13.81 | 69.76 |
| 2002 | 12.70 | 9.24 | 72.73 |
| 2003 | 16.42 | 11.38 | 69.28 |
| 2004 | 15.61 | 10.80 | 69.19 |
| 2005 | 20.85 | 14.09 | 67.60 |
| 2006 | 17.49 | 12.24 | 70.00 |
| 2007 | 20.42 | 14.23 | 69.67 |
| 2008 | 21.24 | 14.93 | 70.28 |
| 2009 | 15.66 | 10.73 | 68.49 |
| 2010 | 16.88 | 11.04 | 65.41 |
| 平均 | 17.65 | 12.19 | 69.07 |

(單位：億噸/年)

表 7.4-2 主要補注區面積及垂向補注量統計表

| 面積($km^2$) | | 補注量(億噸/年) | |
|---|---|---|---|
| 屏東平原 | 1231.26 | 屏東平原 | 17.65 |
| 主要補注區 | 367.57 | 主要補注區 | 12.19 |
| 百分比 | 29.85% | 百分比 | 69.07% |

2.主要補注區對地下水系統汙染之影響分析

完成地下水數值模式建置後，可利用此模式搭配 MODPATH 汙染傳輸模式，分析主要補注區受汙染後，可能之影響範圍。MODPATH (Pollock, 1994)亦是由美國地質調查局(U.S.G.S)所開發，其為 MODFLOW 模式之後置處理程式，因其利用水流模式計算後之水頭分佈推算流場分佈，再以流場直接模擬汙染質點之移動路徑(亦即僅考量傳流相，advection term)，而質點流經範圍即為受汙染範圍。因此 MODPATH 模擬不考慮汙染物質於地下水中之擴散及土壤吸附力等效應，且模擬質點傳輸時，質點將隨水流移動且不影響流場(蔡英傑，2006；陳祐誠，2009)。

以下說明應用 MODPATH 程式，評估主要補注區受污染後，污染質對各含水層之影響範圍，其說明如下：

為評估主要補注區受污染後對地下水資源之影響，本計畫應用穩態模式，於主要補注區內表層各格網上設定汙染質注入點，模擬時間為 100 年及 200 年，以推估污染質可能傳輸之範圍，模擬結果如圖 7.4-1 ~ 圖 7.4-3 所示，紅線畫分區域為主要補注區，土黃色區域為 100 年後汙染質影響範圍，綠色區域為 200 年後汙染質影響範圍。由圖可知，當模擬至 100 年後，部分汙染質逐漸由含水層一進入深層含水層，並且持續向下游蔓延，模擬至 200 年後，留於含水層一之大部分汙染質點均已流經整個屏東平原至最低水位處。

由屏東平原之水流流場可知，整體含水層水平向之水力梯度由山區向海邊逐漸縮小，因此流場強度分佈為模擬區域東方大於西方，北方大於南方，且因為水平向之水力梯度較大，故汙染質大部分皆在含水層一之間流動，即在入滲至深層含水層前，大部分均已流出主要補注區外，如圖 7.4-1 所示。此外，由圖 7.4-2 與圖 7.4-3 可知，仍有部分汙染質入侵深層含水層，分析造成北區之主要補注區垂向流動之位置可知，此處之觀測井高樹、關福、泰山之各含水層間有水位差，故可造成垂向流動，進而帶動汙染質入侵深層含水層；而南區之主要補注區內各含水層間之垂向水位差甚小，垂向流場幾乎可忽略，故此區域之汙染質幾乎未進入深層含水層。

綜合前述分析可知，北區主要補注區若未妥善管理而遭汙染，大部分汙染質將在淺層含水層中流動，少部分汙染質流入深層含水層，因此將對淺層含水層及部分深層含水層之用水產生安全上之疑慮，而南區主要補注區若遭汙染，雖以現況模擬，汙染質看似未進入深層含水層，然該區之水文地質架構亦是由透水性良好之礫石及粗砂所組成，若往後大規模開發，大量抽取深層地下水，即會導致地下水流場改變，此時就極有可能造成深層地下水之重大影響，因此建議不論於北區或南區之主要補注區，其在開發後，均為易影響整體淺層及深層地下水之區域，應盡速完成妥善之保育規劃。

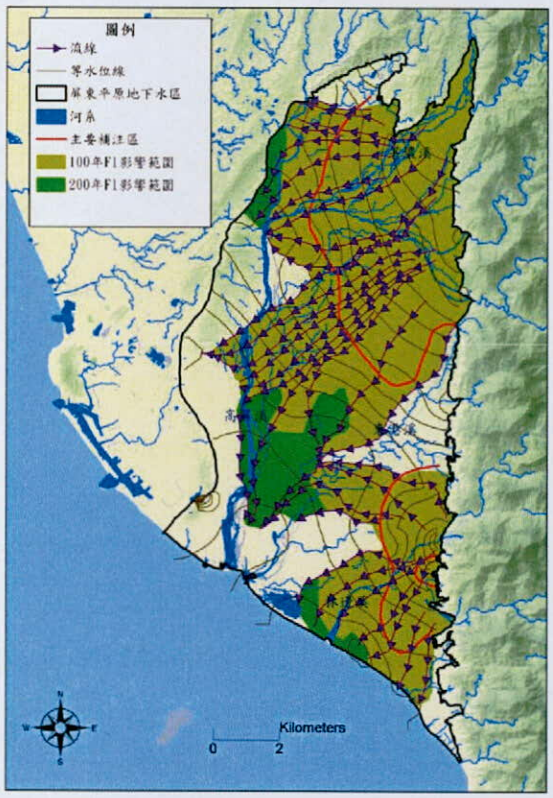



圖 7.4-1 對含水層 1 之影響

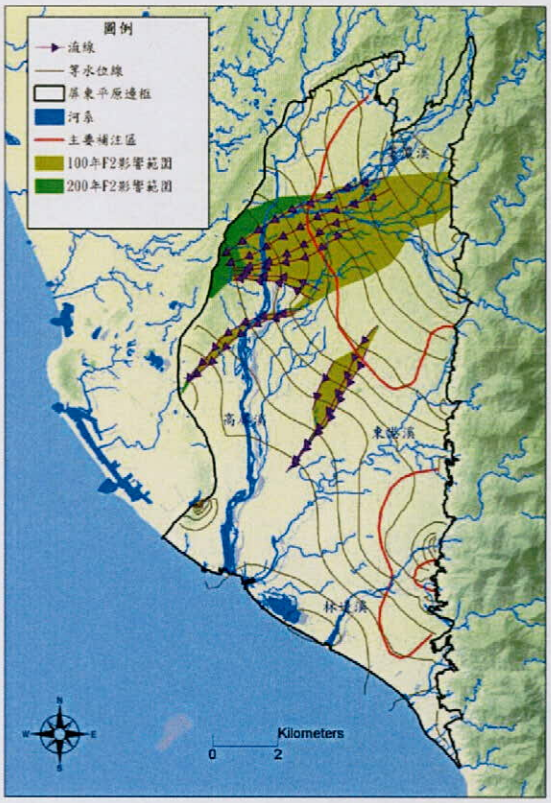



圖 7.4-2 對含水層 2 之影響

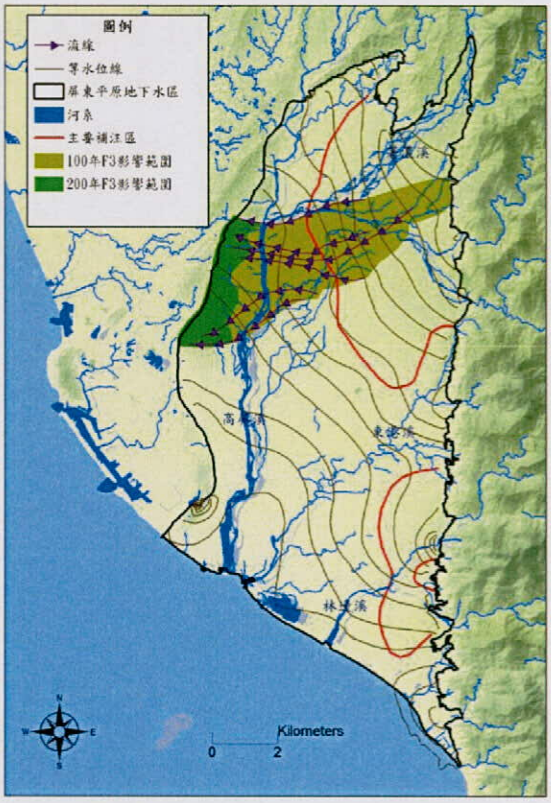



圖 7.4-3 對含水層 3 之影響

# 結論與建議

屏東平原相關研究於民國 100 年至 101 年完成，計畫主要成果在完成地下水主要補注區範圍建議、區域抽水量與補注量推估、現地補充調查試驗含地電阻調查與水質調查、數值模擬與水平衡分析等，相關結論與建議分述如下。

## 一、結論

### (一) 主要補注區劃定

本計畫綜合高補注潛勢區、高地電阻區與高溶氧區三者，並搭配岩心鑽探柱狀圖與數位地表高程(DTM)等資訊，得出屏東平原主要補注區分布。其主要範圍包含屏東平原北區與南區，北區包含旗山鄉、美濃鄉、高樹鄉、里港鎮、鹽埔鄉、長治鎮及內埔鄉，南區部分包含萬巒鄉、潮洲鄉與新埤鄉。

### (二) 補注量及抽水量推估

本計畫應用分散型地下水歷線法進行評估，綜合屏東平原淺層與深層觀測井，分析取 1999~2010 年之水平衡。此外，分散型地下水歷線法亦針對事件降雨量與補注量進行線性回歸，如有 100(mm)之累積降雨降於屏東平原，約可貢獻將近 62 百萬噸之補注量。而於數值模式方面，則應用 MODFLOW 建立地下水數值模式，以 1999~2010 年地下水位資料進行淨補注量之檢定，平均檢定誤差約 0.4 公尺。

本計畫綜合分散型地下水歷線法與數值模式之結果，推估得屏東平原全區之垂向補注量為 17.65 億噸，上游山邊側向流入量為 3.13 億噸，下游海岸側向流入量為 0.23 億噸，三項總合之系統總流入量為 21.01 億噸。於系統流出量方面：含水層一抽水量 1.33 億噸，含水層二抽水量 4.40 億噸，含水層三抽水量 4.12 億噸，流失量 11.11 億噸，四項總合之系統總流出量為 20.96 億噸。

### (三) 主要補注區對全區地下水系統水量、水質之影響

本計畫建置之數值模式，除可用於推估抽水量與補注量外，亦可用於探討主要補注區管制與否對地下水系統之影響，本計畫分別從水量與水質方面來進

行分析。

在水量方面，分別統計屏東平原與主要補注區之面積與垂向補注量，統計結果為屏東平原面積為 1231.26 平方公里，整體之垂向補注量為 17.65 億噸，主要補注區面積為 367.57 平方公里(約佔平原面積三成)，主要補注區內之垂向補注量為 12.19 億噸(約佔整體垂向補注量七成)。因此若主要補注區內未妥善管理開發行為，而導致區域內透水面積大減，將大幅降低整體補注量，影響系統水平衡甚劇。

在水質方面，搭配水質模式(MODPATH)進行評估，假設無妥善管理主要補注區內的污染行為，在 200 年內污染物質已傳輸至第一含水層(F1)之下游沿海處，部分污染物質則進一步滲透至深層含水層(F2 與 F3)，顯現主要補注區除可提供大量補注量外，對深層地下水之水質影響亦極為重大。

(四) 資料之檢視與補遺

本計畫全面檢視屏東平原地下水觀測網，自 1999 年至 2010 年間之地下水位資料，發現少數水井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，故需進行資料校正與補遺。資料之缺漏部分，本計畫係以人工方式配合統計相關分析進行補遺，並逐站進行之。資料之誤差部分，疑似有一定程度之儀器校正誤差，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，故以人工方式逐站修正之。

(五) 現地補充調查試驗

1. 地電阻調查分析:

二維地電阻調查分析部分，本計畫 100 年度及 101 年度分別完成屏東平原地區 7240 與 6620 公尺二維地電阻現地量測，合計共 13860 公尺，並進行一維地電阻半施蘭卜吉(Half-Schlumberger)探測結果之反演，地電阻量測之高電阻區域，與一維反演深度 30 公尺資料相符，除了在美濃與內埔測線有些微不同之外，其他段測線並沒有太大爭議。因屏東平原的沖積由大塊礫石快速轉變為砂泥互層，而非轉為砂層再轉為泥層，故屏東平原二維地電阻量測結果顯示，高電阻區域邊界與沖積扇的扇緣雷同，並可作為主要補注區判視之參考。剖面影像解析亦大致上反映了地質分佈之狀況，因此印證先前本計畫認為可以利用地電阻剖面影像描繪阻水層分佈之假設。

2. 水質調查分析:

地下水之高溶氧帶位於高樹、新南至大響及枋寮等區位。硝酸鹽帶的分布再往西(更下游)，其空間分布更廣。扇頂地下水大都以碳酸氫鈣水質為主，只有少數地下水偏碳酸氫鈉，此現象應為陽離子交換的結果。只有一口井導電度有偏高，有 2 口井的導電度有增加的趨勢，與濁水溪扇頂比較，屏東地區扇頂地下水並沒有鹹化現象。屏東地區扇頂區的硝態氮濃度皆小於 10mg/l(環保署飲用水源水質標準)。統計沿海含水層共 27 口觀測井，87-101 年之導電度，前幾年有變鹹、但近年有變淡的趨勢。地下水氨態氮以西南靠海側較高，為泥質地層較多的中下游，可能由地層中的有機物溶解/降解。

## 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，建議在經費充足情況下，應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) 本計畫已完成屏東平原地下水主要補注區劃設，惟在二維地電阻調查部分，因內埔觀測井至老埤觀測井附近場地不佳，因此無法取得最佳位置施測，故內埔老埤地區測線分布較為不足，參考中央地質調查所鑽鑿之屏科大 1 號井及 2 號井岩心紀錄後，本計畫研判此一地區屬於隆起之礫石台地，因此初步建議排除在補注區範圍之外，惟建議就此一地區未來可能增加地質鑽井以協助補注區劃設研判。

(四) 由於屏東地區為由數個發源於潮州斷層以西之山區沖積扇所共同組合而成，部分聯合幾個沖積扇之補注區，在各個沖積扇靠斷層之側向扇緣交接區域，也可能有厚層泥質地層存在，但因地電阻施測耗時較多，鑑於期程所限，因此無法就扇頂其餘部分進行普測，因此易忽略局部的扇緣泥層部分，建議將來對於扇頂部分進行更詳細之地電阻施測，以釐清局部泥層之延伸情況。

(五) 未來應針地下水補注區之降雨垂向入滲、扇頂區農牧及土地利用、化糞池、工商業(例如工業區、加油站)可能的影響進行調查研究與評估，以有效保護珍貴的地下水資源。

(六) 未來可以現行地下水概況為基礎，應用數值模式輔助推估地下水可用(安全)出水量，以有效管理地下水開發及使用。

(七) 未來可針對主要補注區因環境改變而造成入滲率下降進行評估，探討對地下水可能之影響，以凸顯主要補注區之重要性。

# 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. Crosbie, R., Binning, P., and Kalma, J. (2005). A time series approach to infer-ring groundwater recharge using the water table uctuation method. Water resources research, 41(1):W01008.
9. De Vries, J. and Simmers, I. (2002). Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. Hydrogeology Journal, 10(1):5-17.
10. Healy, R. and Cook, P. (2002). Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10(1):91-109.
11. Heppner, C., Nimmo, J., and Geological Survey, Menlo Park, C. (2005). A com-puter program for predicting recharge with a master recession curve. Technical report, United States Geological Survey.
12. 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.
13. Johnson, A.I. (1967) Specific yield- compilation of specific yields for various materials. U.S.G.S. Water-Supply Paper, 162-D, 74p.
14. Jie, Z., van Heyden, J., Bendel, D., and Barthel, R. (2011). Combination of soil-water balance models and water-table uctuation methods for evaluation and

improvement of groundwater recharge calculations. Hydrogeology Journal, pages 1-16.
15. Ketchum, J., Donovan, J., and Avery, W. (2000). Recharge characteristics of a phreatic aquifer as determined by storage accumulation. HYDROGEOLOGY JOURNAL, 8(6):579-593.
16. Kendall, M.G. (1975) Rank correlation methods. 4th ed. Charles Griffin, London.
17. 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.
18. 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.
19. McNeely RN, Neimanis VP, Dwyer L. (1979) Water quality sourcebook - A guide to water quality parameters. Inland Waters Directorate, Water Quality branch, Ottawa.
20. Moench , A.F. (1994) Specific yield as determined by type-curve analysis of aquifer-test data. Ground Water 32/6, 949-957.
21. Moench, A.F. (2001) Accurate estimates of specific yield: are long-term aquifer tests really necessary? American Geophysical Fall Meeting 2001, abstract #H11E-02.
22. 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.
23. Moon, S., Woo, N., and Lee, K. (2004). Statistical analysis of hydrographs and water-table uctuation to estimate groundwater recharge. Journal of Hydrology, 292(1):198-209.
24. Morgan L (2005) Critical aquifer recharge areas guidance document, Washington State Department of Ecology, Water Quality Program, 69p.
25. Michalski, A., 1989. Application of temperature and electrical-conductivity logging in ground water monitoring. Ground Water Monitoring Remediation. 9/3, 112 - 118.
26. Mukherjee, S. (1996) Targeting saline aquifer by remote sensing and geophysical methods in a part of Hamirpur-Kanpur, India, Hydrology Journal, 19, 53-64.
27. National Water Well Association," DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings" ,USEPA,May 1985.
28. 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.
29. 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.

30. Rorabaugh, M.I. (1953) Graphical and theoretical analysis of step- drawdown test of artesian well. Proc. Sep. No. 362, ASCE. Vol. 79.
31. Scanlon, B., Healy, R., and Cook, P. (2002). Choosing appropriate techniquesfor quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal, 10(1):18-39.
32. Schwartz, F.W., and Zhang, H. (2003) Fundamentals of ground water, John Wiley & Sons, New York.
33. 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.
34. Sophocleous, M. (1991). COMBINING THE SOILWATER BALANCE AND WATER-LEVEL FLUCTUATION METHODS TO ESTIMATE NATURAL GROUNDWATER RECHARGE - PRACTICAL ASPECTS. JOURNAL OF HYDROLOGY, 124(3-4):229-241.
35. 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.
36. U.S. EPA, 1995. Benefits and Costs of Prevention: Case Studies of Community Wellhead Protection, EPA 813-B-95-005, 74 pp.
37. 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&MId=944&wversion=Staging
38. 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&MId=944&wversion=Staging
39. 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.
40. 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。
41. 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。
42. 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。
43. 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，八十五年度報告，經濟部中央地質調查所。
44. 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。
45. 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。
46. 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。
47. 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。
48. 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。
49. 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。
50. 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。
51. 江崇榮, 黃智昭, and 陳瑞娥(2004). 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, 17:21-51
52. 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，經濟部中央地質調所彙刊，第十八號，第 1-28 頁。
53. 江崇榮, 黃智昭, and 陳瑞娥(2006a). 以地下水位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, 19:61-90.
54. 江崇榮, 黃智昭, and 陳瑞娥(2006b). 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, 19:61-90
55. 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。
56. 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。
57. 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。
58. 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。
59. 李天浩、林國峰、劉振宇，1997，濁水溪沖積扇扇頂平原地區地表垂向補注量估計，台灣省水利處，96P。
60. 林朝棨，1957，台灣地形。台灣省文獻會，共 423 頁。
61. 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。
62. 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。
63. 吳建民、曾鈞敏，「屏東平原地下水數值模式之研究」，地下水資源及水質保護研討會論文專集，第 237-253 頁（1994）。
64. 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。
65. 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。
66. 地下水工程處，1961，屏東平原地下水源勘查報告，共 74 頁。
67. 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。
68. 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。
69. 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。
70. 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。
71. 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。
72. 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。
73. 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。
74. 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
75. 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。
76. 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。
77. 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。
78. 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。
79. 劉聰桂，1993-2001，地下水定年分析，經濟部水利署出版。
80. 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。
81. 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。

82. 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。
83. 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。
84. 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。
85. 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。
86. 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。
87. 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。
88. 經濟部中央地質調查所，2002，屏東平原地下水自然補注之研究。
89. 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。
90. 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。
91. 經濟部水資源局，1999，臺灣水文年報。
92. 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。
93. 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。
94. 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。
95. 經濟部水利署，2002，地下水資源整體營運規劃與綜合評估。
96. Anderson MP (2005) Heat as a ground water tracer. Ground Water 43/6, 951-968.
97. 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。
98. 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。
99. 張良正等人(2011). 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(3/4). 經濟部中央地質調查所計畫報告. Technical report, 經濟部中央地質調查所.

**網頁部分：**

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&MId=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&MId=944&wversion=Staging

環保署全國環境水質監測網(2009), http://wqshow.epa.gov.tw/。

# 附錄 A 屏東平原觀測水位

表 A-1 爲屏東平原與鄰近區域觀測站網列表，圖 A-2 至 A-48 爲屏東平原所有水位站。

表 A-1屏東平原與鄰近區域觀測站網列表

| 站號 | 站名 | X坐標* | Y坐標* | 井頂高[1] | 站號 | 站名 | X坐標* | Y坐標* | 井頂高[1] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 120101 | 中正 | 185015 | 2503504 | 14.18 | 120201 | 石化 | 187485 | 2487965 | 4.67 |
| 120202 | 林園 | 186809 | 2490130 | 4.07 | 120301 | 潮寮 | 190004 | 2496500 | 8.23 |
| 120302 | 永芳 | 186942 | 2500950 | 16.60 | 120303 | 昭明 | 188414 | 2493802 | 6.58 |
| 120401 | 溪埔 | 191978 | 2513893 | 29.14 | 120403 | 大樹 | 191135 | 2510159 | 23.31 |
| 121901 | 中洲 | 195993 | 2528009 | 38.40 | 121902 | 旗山 | 197100 | 2531368 | 45.28 |
| 122001 | 吉洋工作站 | 201510 | 2528640 | 54.39 | 122002 | 美濃 | 203425 | 2525409 | 52.70 |
| 122101 | 新威 | 210915 | 2533502 | 153.13 | 130101 | 清溪 | 194408 | 2506330 | 19.94 |
| 130102 | 海豐 | 198476 | 2511130 | 33.64 | 130201 | 潮洲 | 202232 | 2492984 | 16.36 |
| 130302 | 東港 | 193156 | 2485971 | 2.37 | 130501 | 新庄 | 195738 | 2496246 | 10.31 |
| 130502 | 萬丹 | 194540 | 2501970 | 15.56 | 130601 | 繁華 | 205264 | 2511656 | 60.06 |
| 130801 | 九如 | 196776 | 2515370 | 34.75 | 130901 | 土庫 | 198425 | 2524645 | * |
| 130902 | 里港 | 197514 | 2520447 | 38.69 | 131001 | 鹽埔 | 205622 | 2517240 | 58.97 |
| 131002 | 彭厝 | 201104 | 2515658 | 40.84 | 131101 | 高樹 | 208068 | 2525407 | 89.72 |
| 131102 | 泰山 | 209266 | 2521392 | 68.78 | 131103 | 新南 | 203915 | 2520763 | 52.04 |
| 131104 | 關福 | 209883 | 2518620 | 77.15 | 131202 | 赤山 | 209521 | 2499542 | 31.37 |
| 131301 | 建興 | 204395 | 2507086 | 38.04 | 131303 | 老埤 | 207504 | 2503670 | 36.44 |
| 131401 | 西勢 | 200397 | 2502704 | 20.38 | 131402 | 大湖 | 200368 | 2497500 | 12.16 |
| 131501 | 新埤 | 202895 | 2485957 | 12.97 | 131502 | 萬隆 | 206802 | 2490112 | 45.98 |
| 131503 | 大響 | 210206 | 2481360 | 55.58 | 131504 | 鉤潭 | 208707 | 2486714 | 38.63 |
| 131602 | 枋寮 | 207476 | 2479160 | 32.71 | 131603 | 大庄 | 202810 | 2477706 | 3.00 |
| 131604 | 德興 | 207000 | 2474613 | 3.65 | 131701 | 新園 | 192774 | 2491800 | 4.33 |
| 131801 | 崁頂 | 198929 | 2490845 | 9.50 | 131802 | 港東 | 195798 | 2490241 | 3.28 |
| 131901 | 崎峰 | 197186 | 2480959 | 3.72 | 132501 | 枋山 | 210142 | 2470440 | 8.17 |
| 132801 | 瑪家 | 208976 | 2511539 | 83.31 | | | | | |

* UTM 二度分帶座標；[1] 單位：(m) height

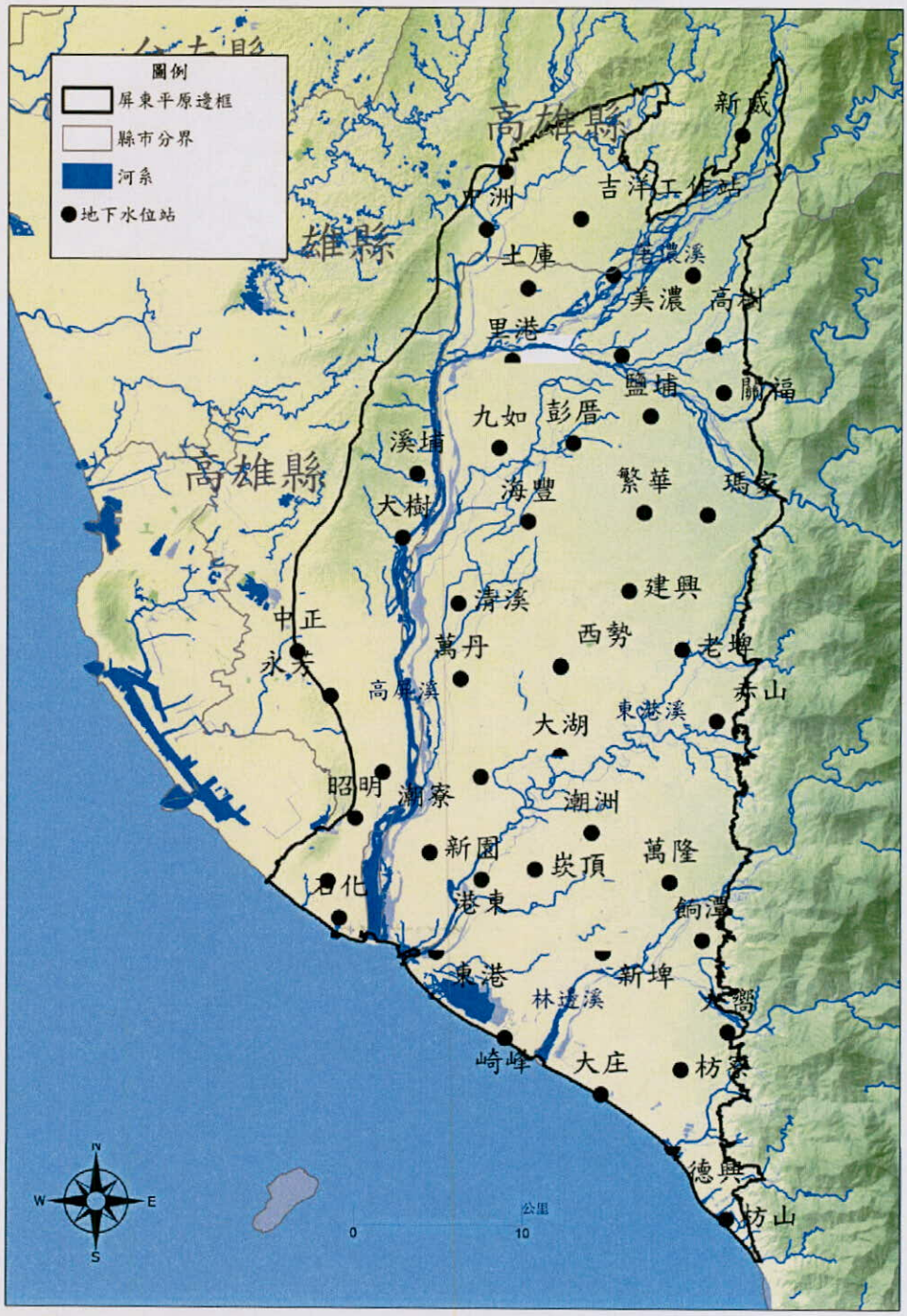



圖 A-1 屏東平原站網分布圖

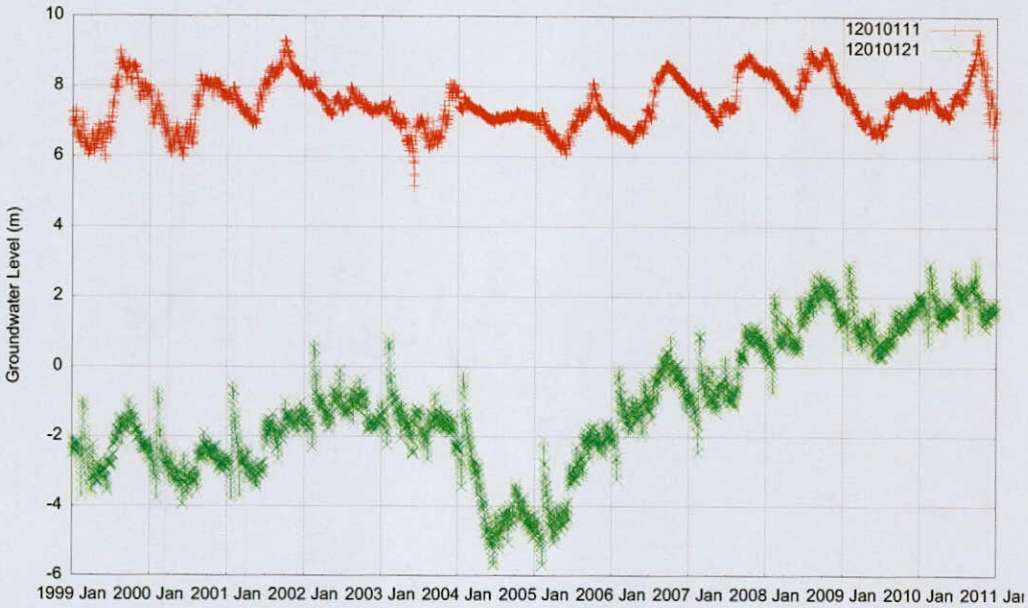



圖 A-2 中正站地下水位歷線圖

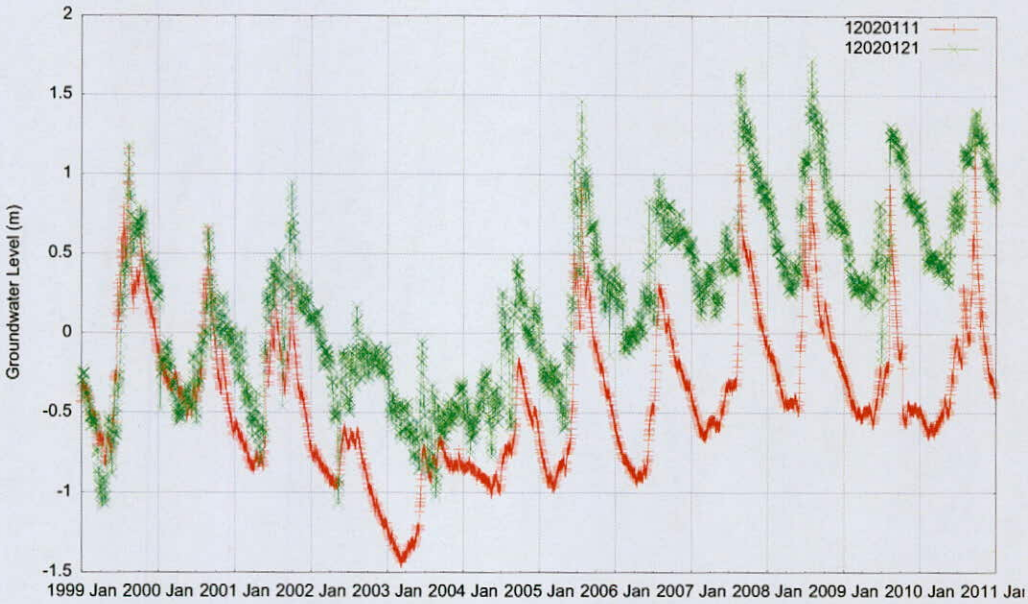



圖 A-3 石化站地下水位歷線圖

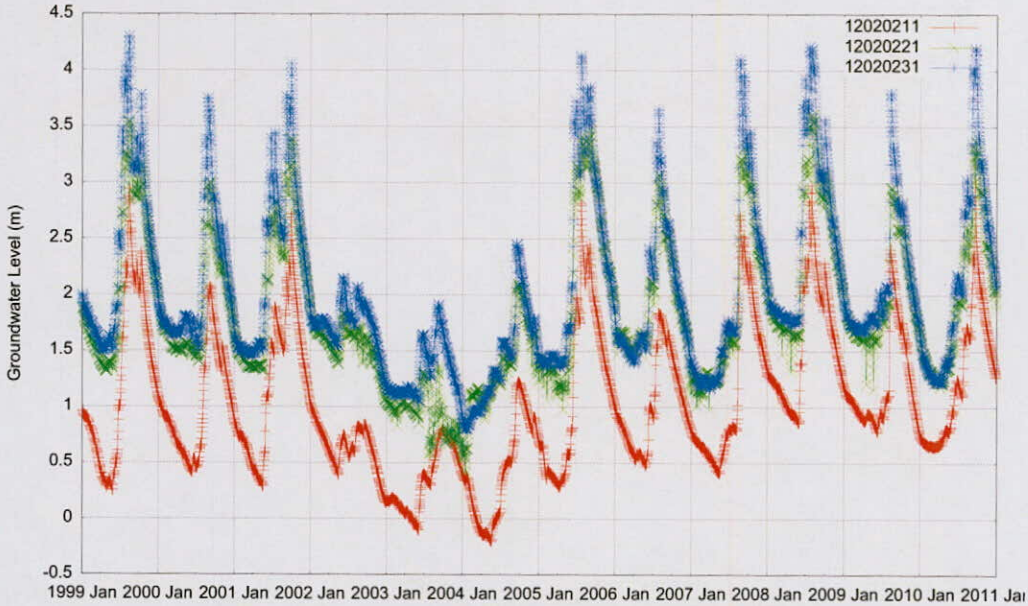



圖 A-4 林園站地下水位歷線圖

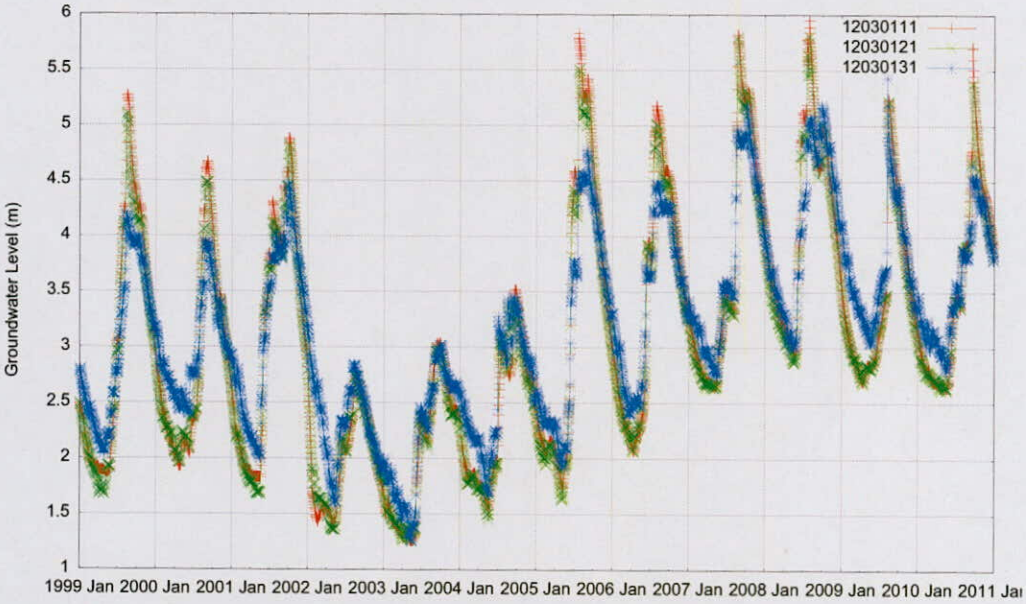



圖 A-5 潮寮站地下水位歷線圖

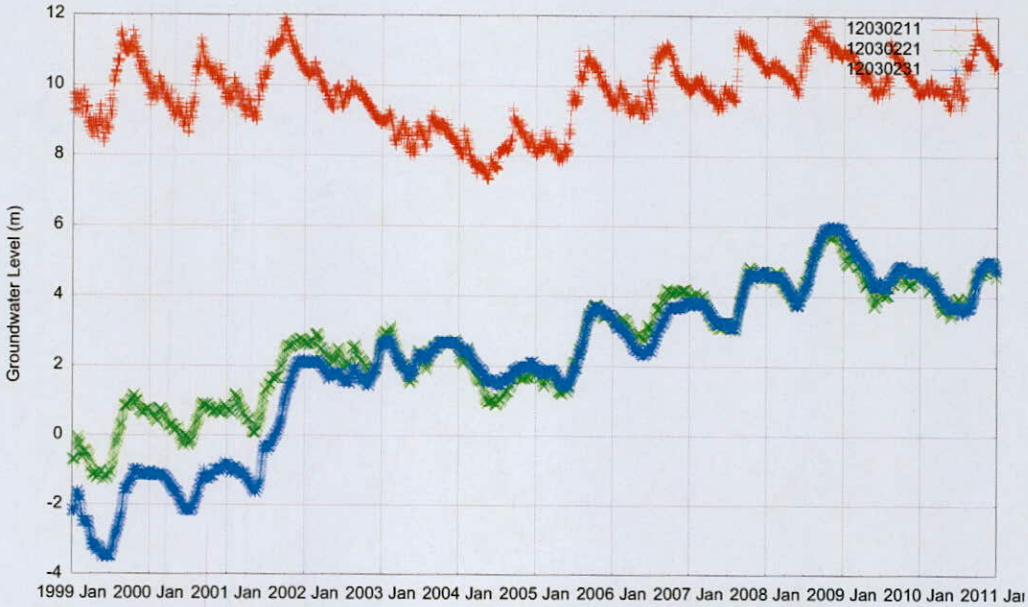



圖 A-6 永芳站地下水位歷線圖

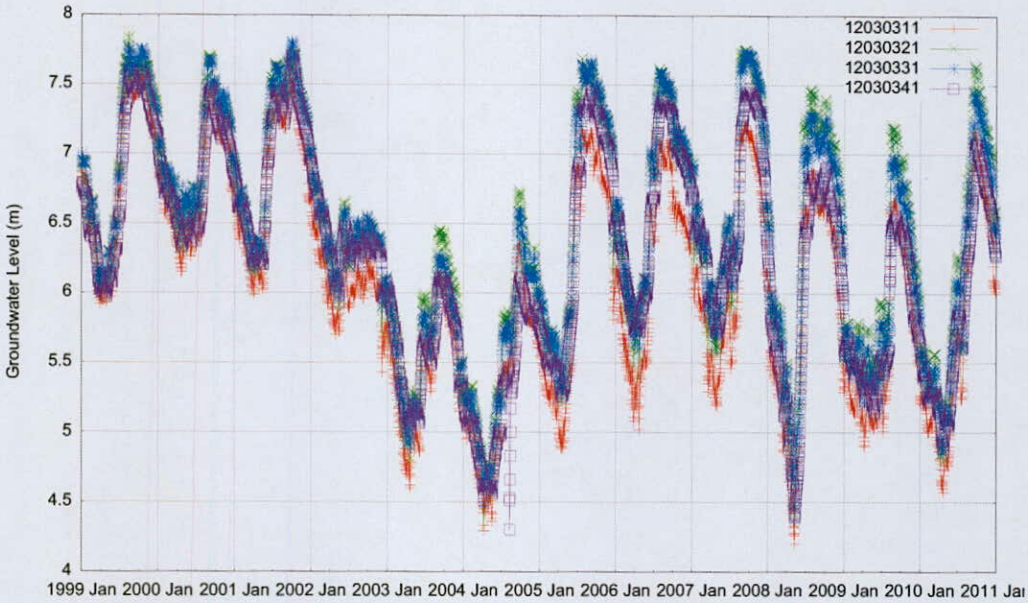



圖 A-7 昭明站地下水位歷線圖

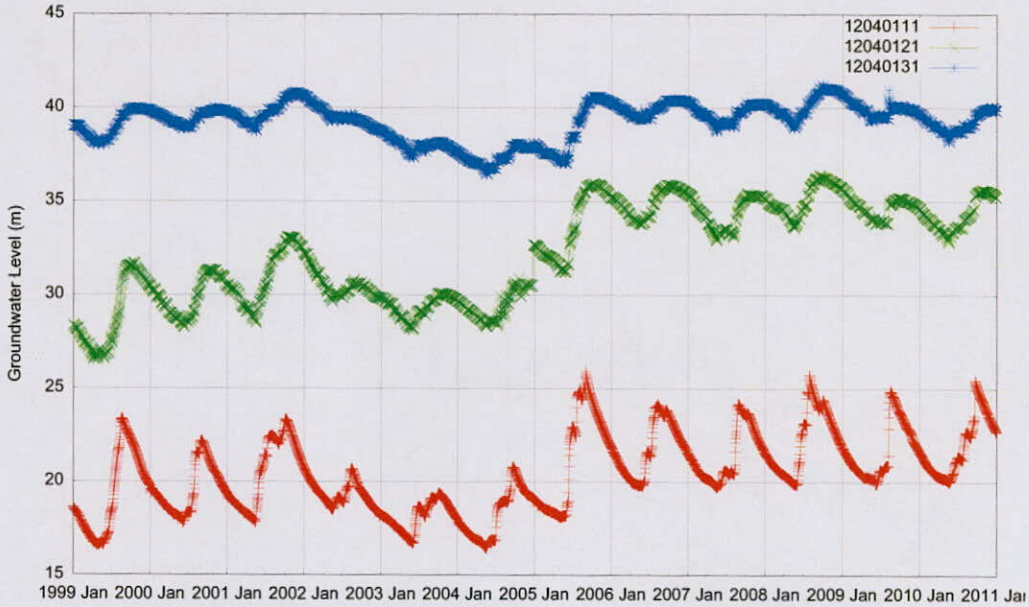



圖 A-8 溪埔站地下水位歷線圖

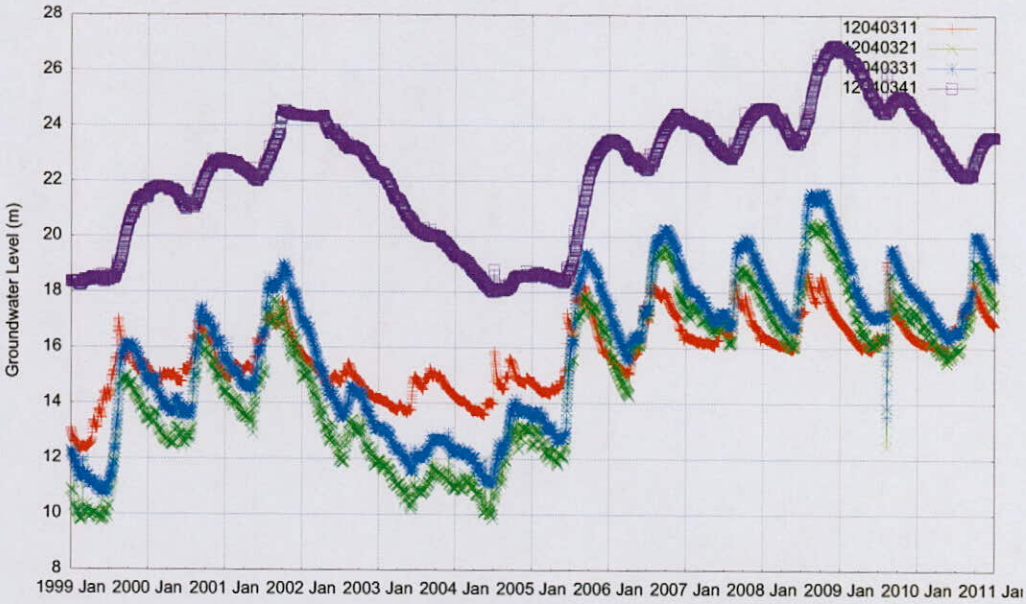



圖 A-9 大樹站地下水位歷線圖

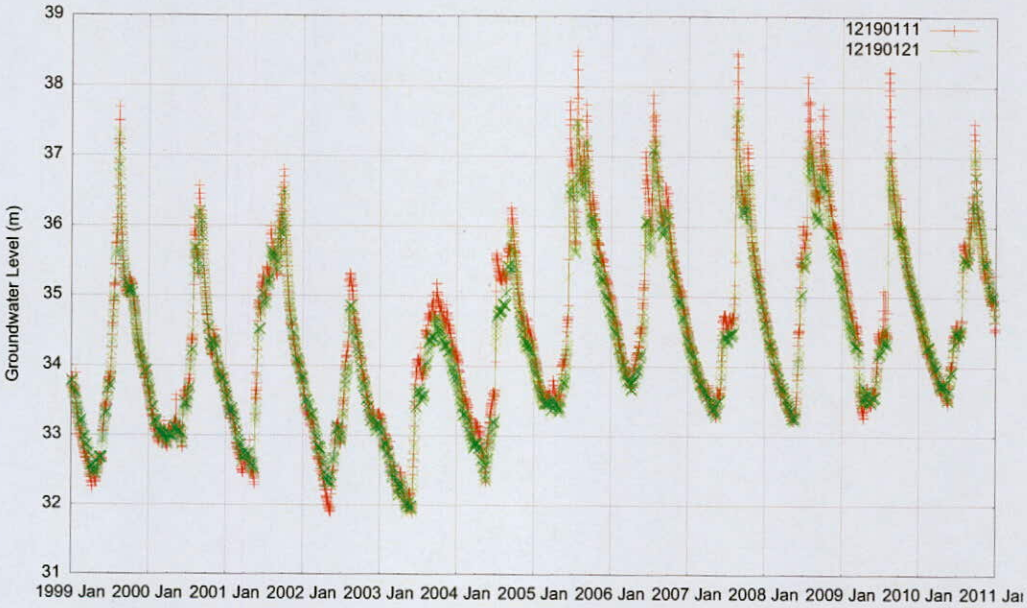



圖 A-10 中洲站地下水位歷線圖

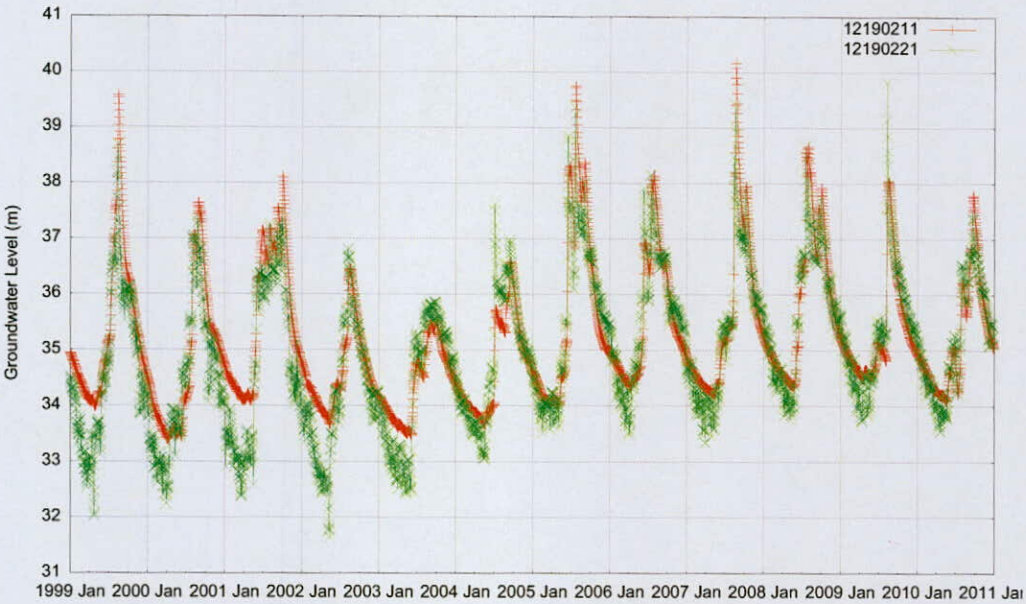



圖 A-11 旗山站地下水位歷線圖

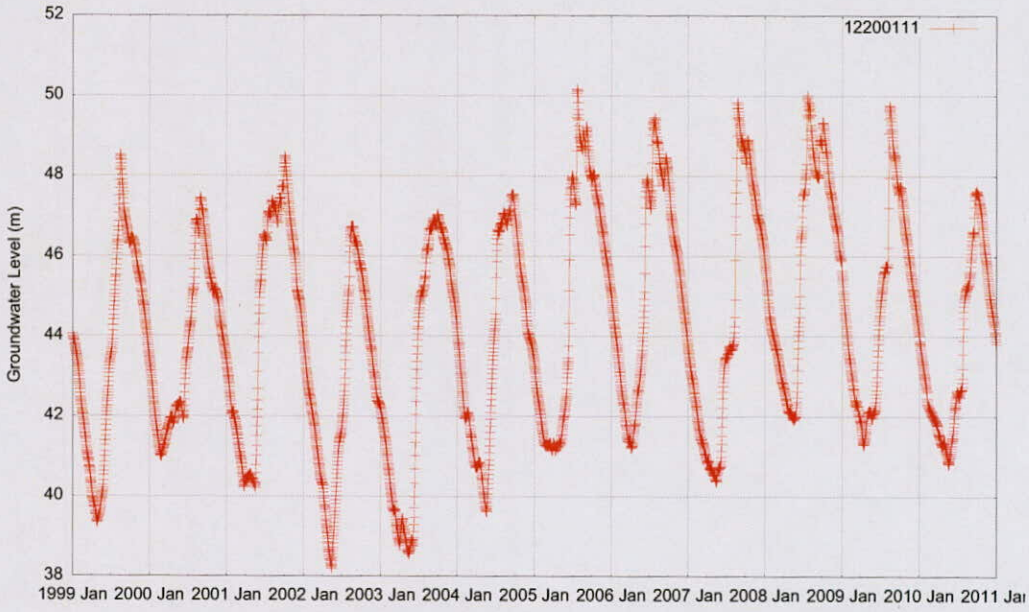



圖 A-12 吉洋工作站地下水位歷線圖

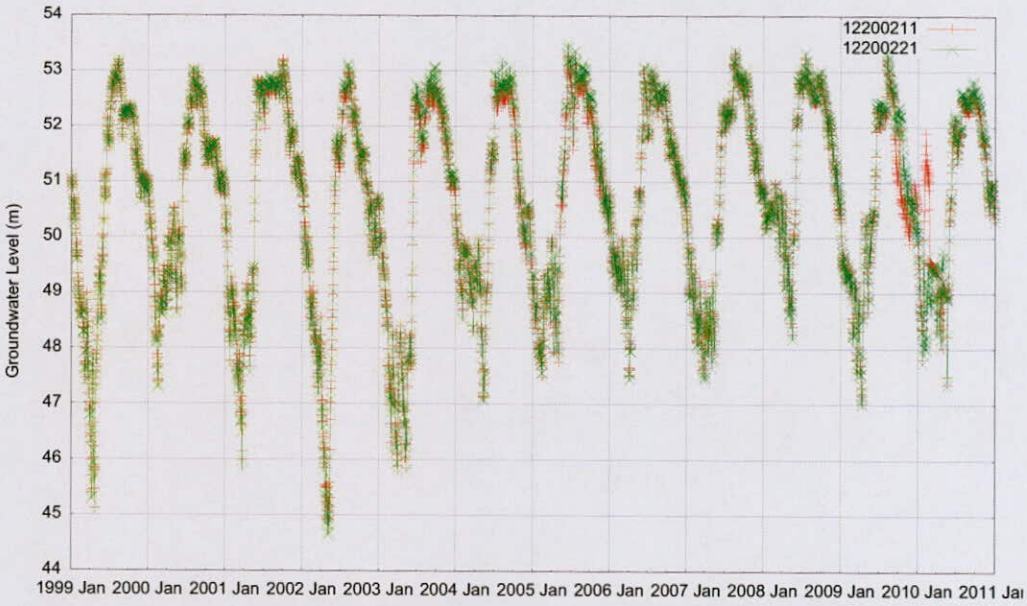



圖 A-13 美濃站地下水位歷線圖

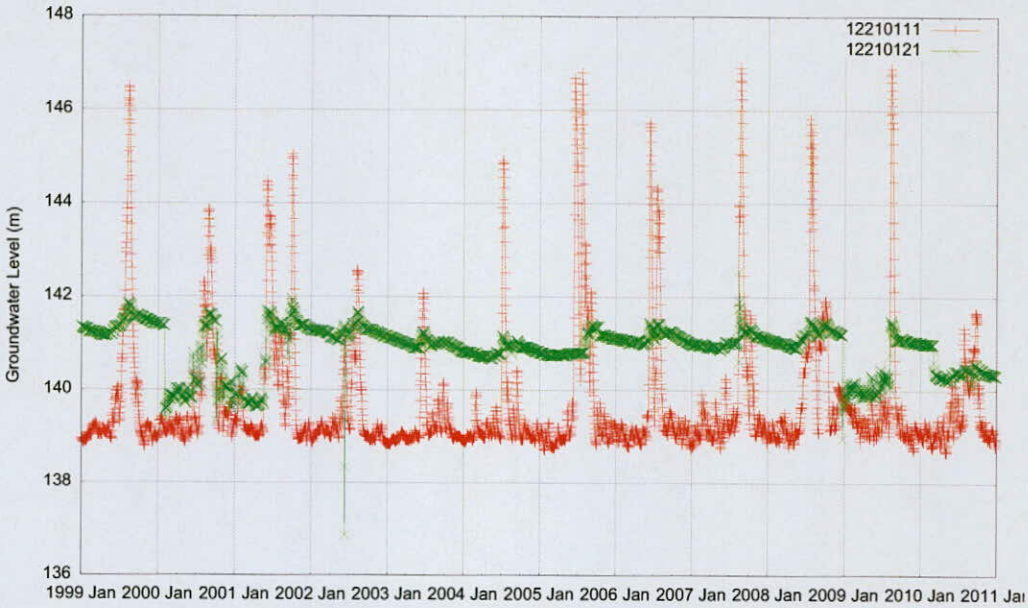



圖 A-14 新威站地下水位歷線圖

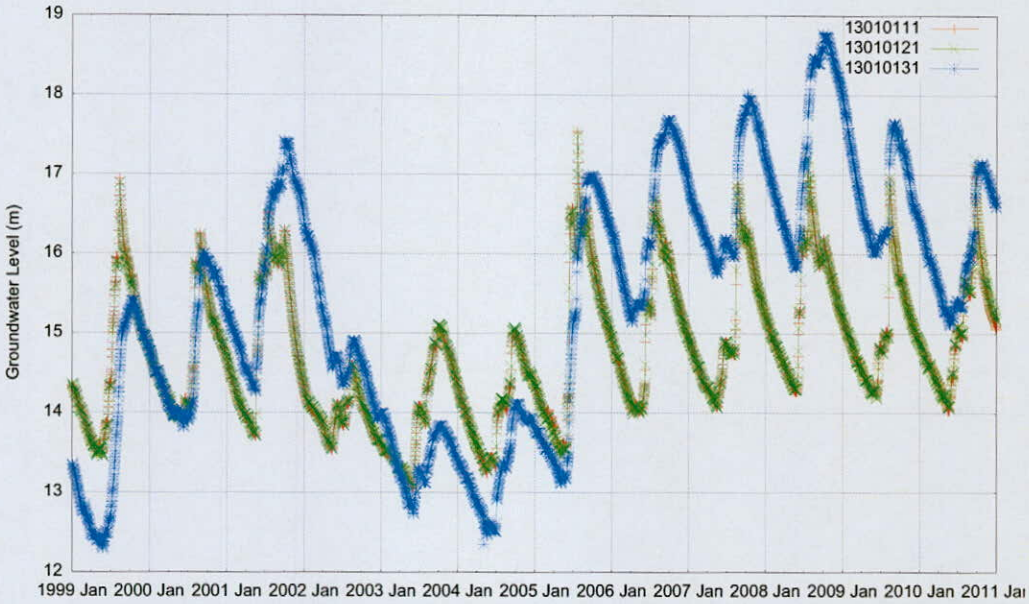



圖 A-15 清溪站地下水位歷線圖

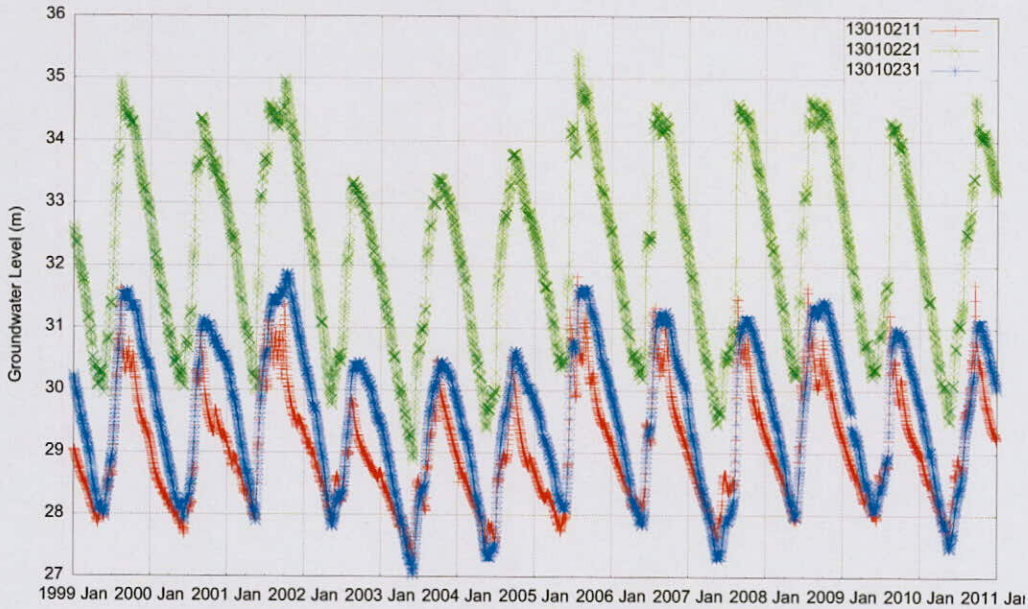



圖 A-16 海豐站地下水位歷線圖

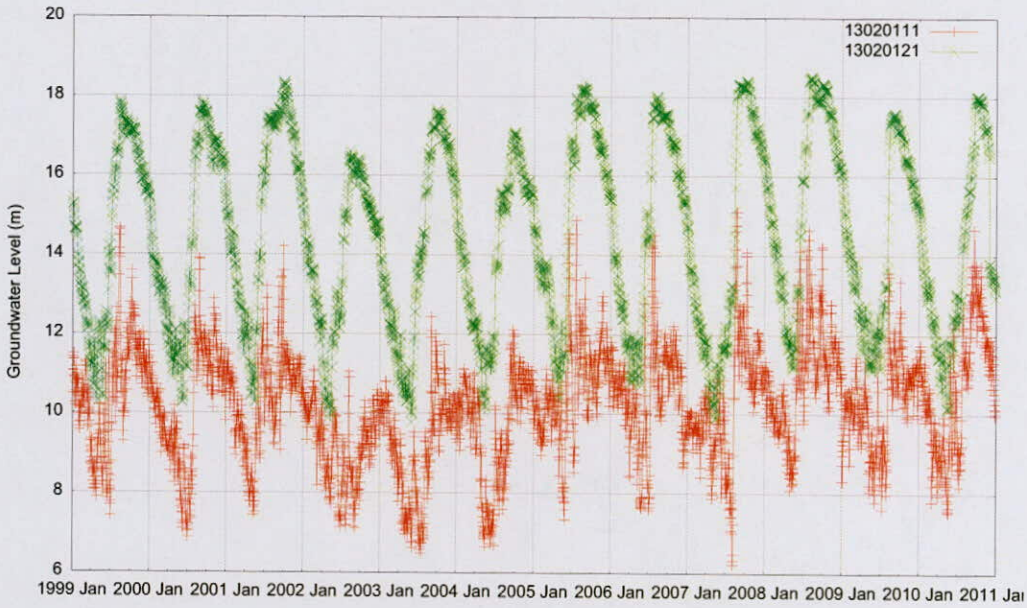



圖 A-17 潮洲站地下水位歷線圖

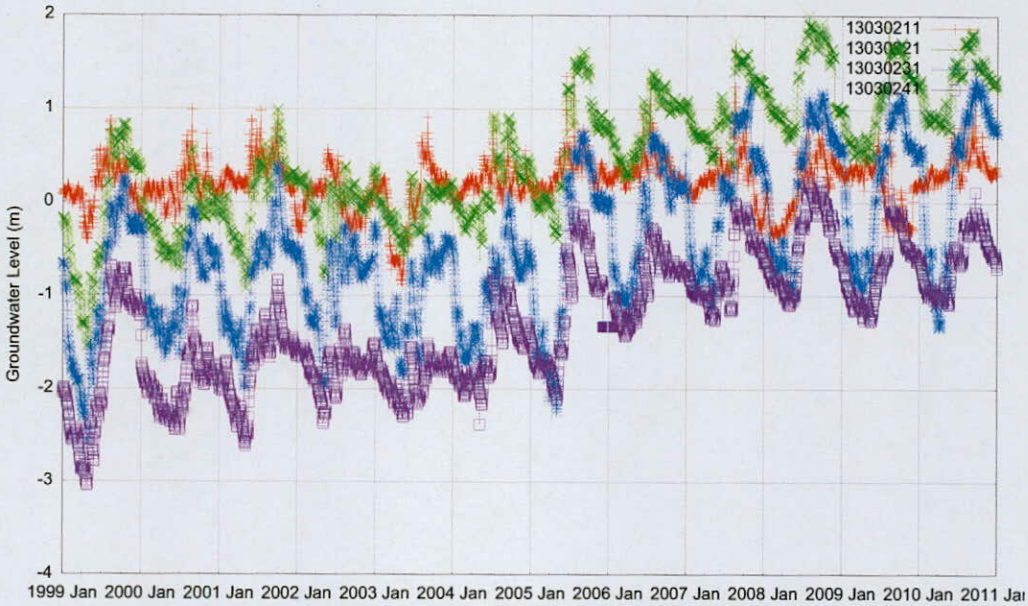



圖 A-18 東港站地下水位歷線圖

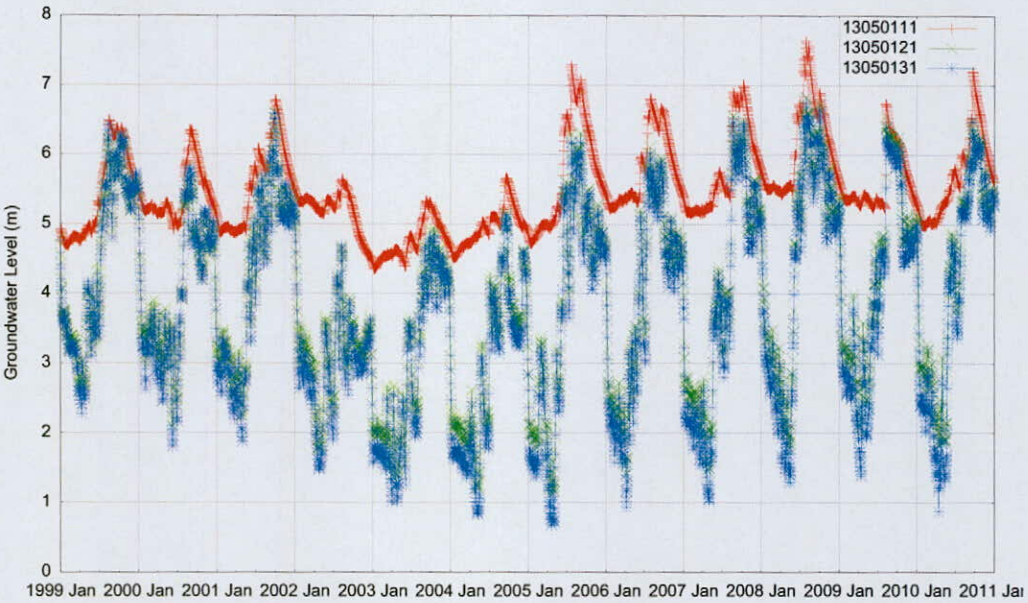



圖 A-19 新庄站地下水位歷線圖

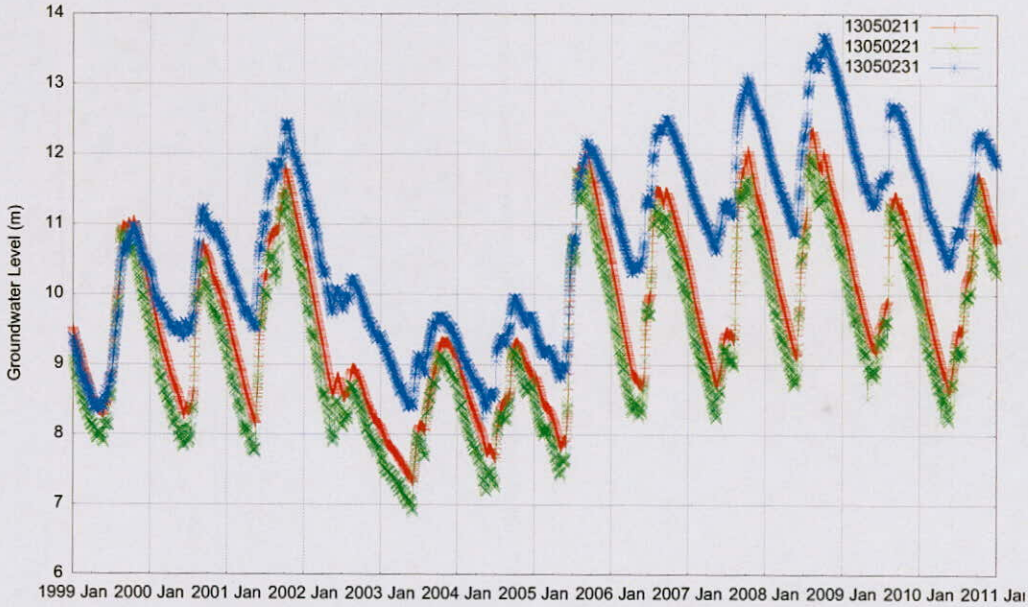



圖 A-20 萬丹站地下水位歷線圖

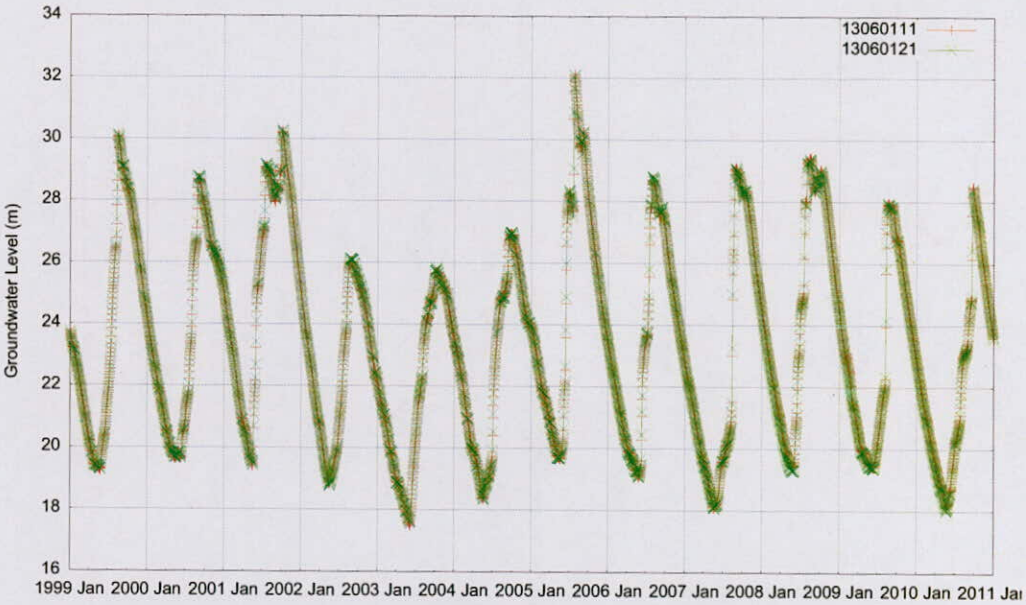



圖 A-21 繁華站地下水位歷線圖

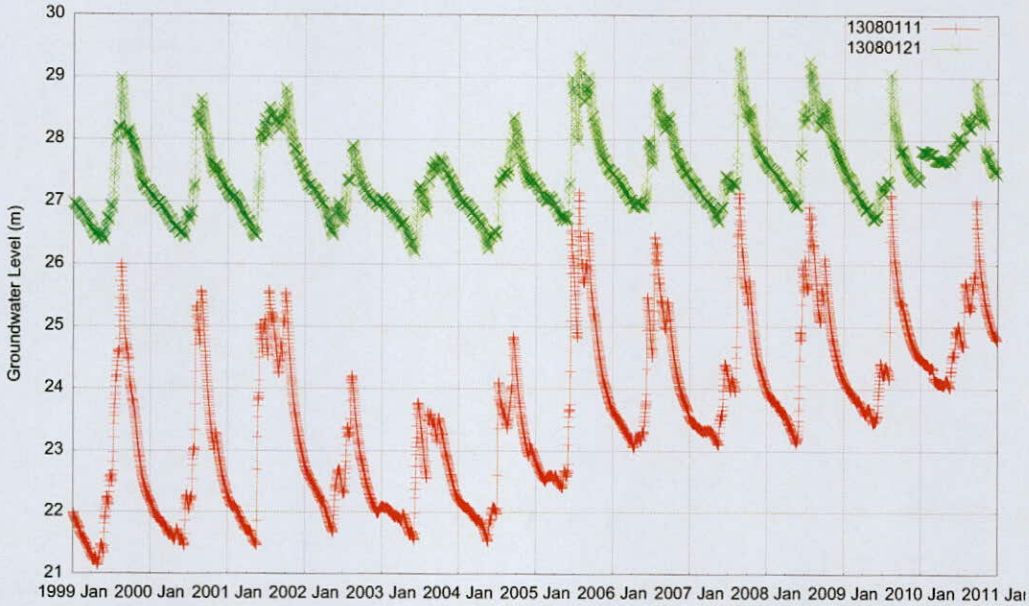



圖 A-22 九如站地下水位歷線圖

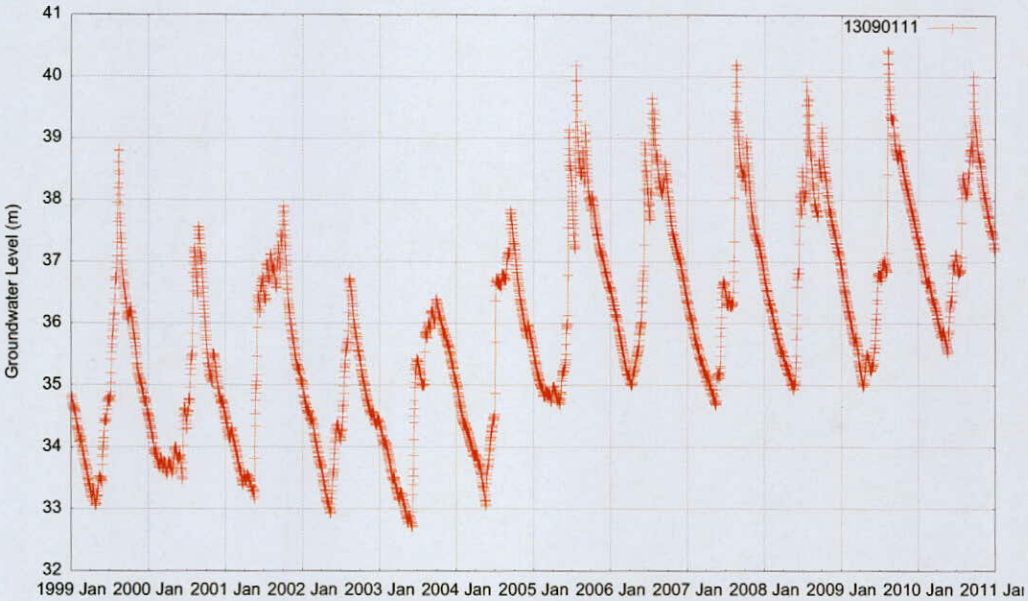



圖 A-23 土庫站地下水位歷線圖

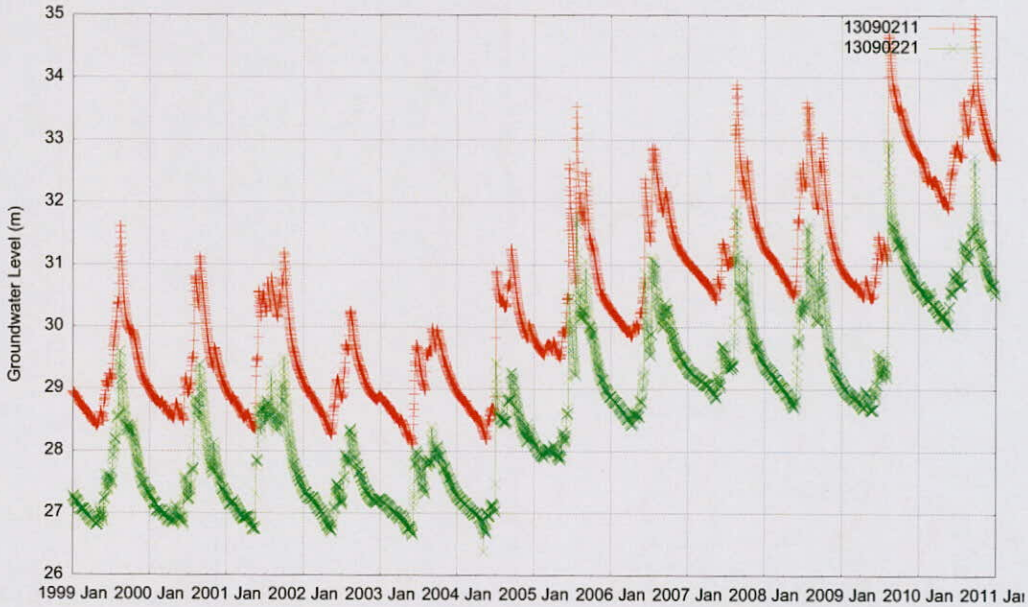



圖 A-24 里港站地下水位歷線圖

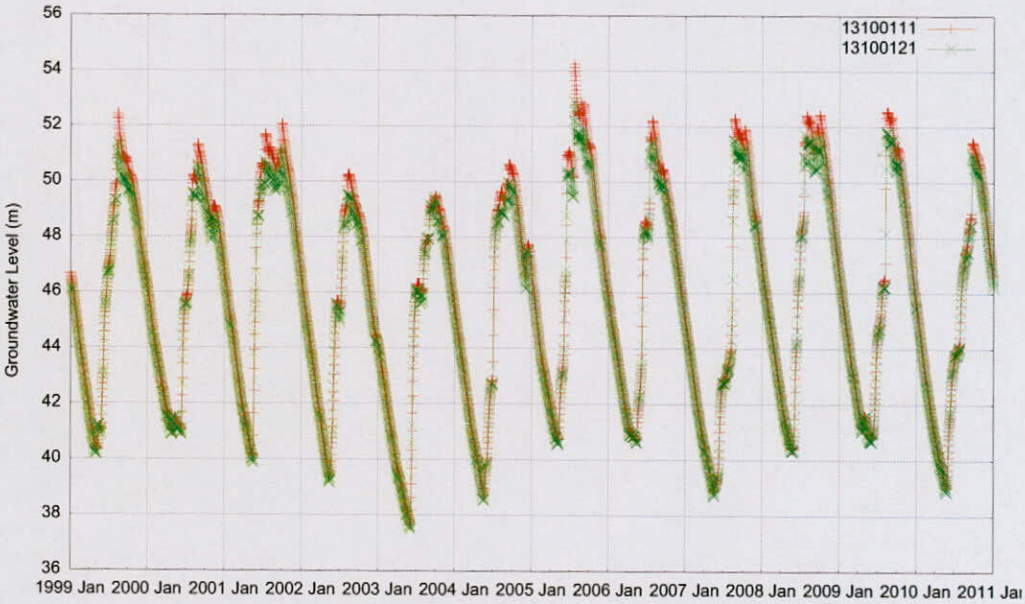



圖 A-25 鹽埔站地下水位歷線圖

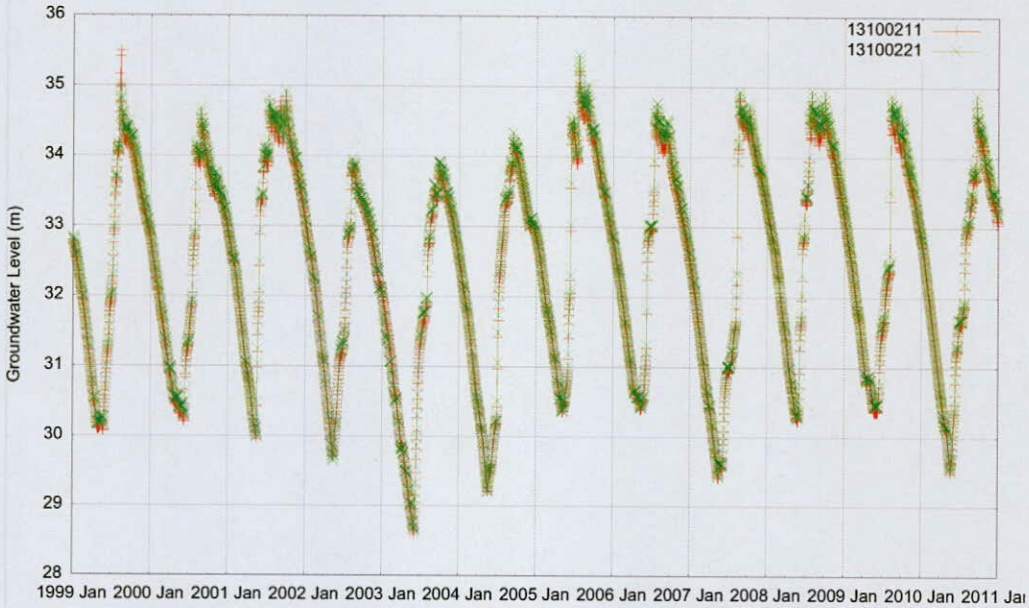



圖 A-26 彭厝站地下水位歷線圖

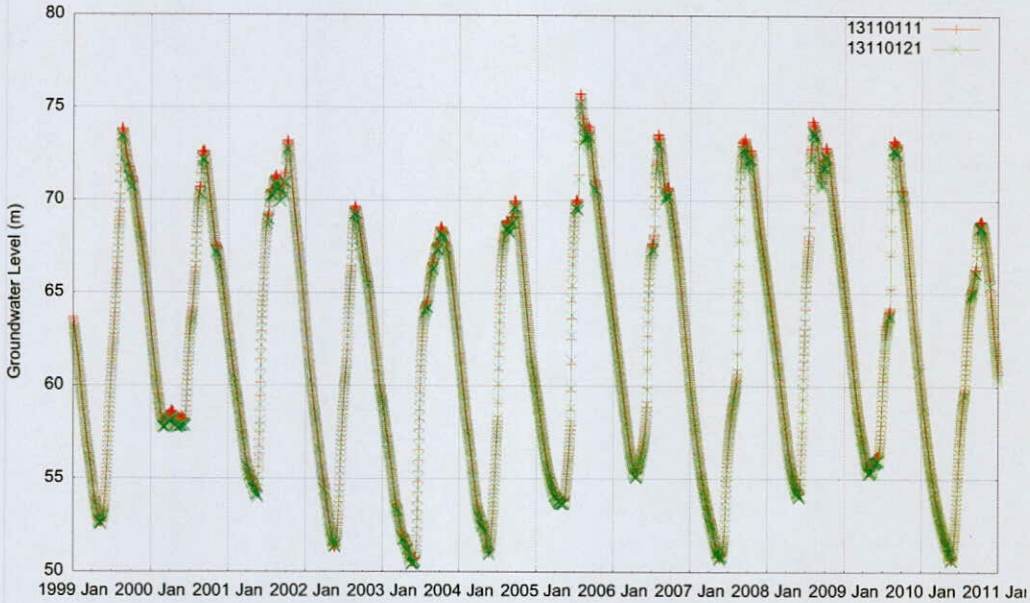



圖 A-27 高樹站地下水位歷線圖

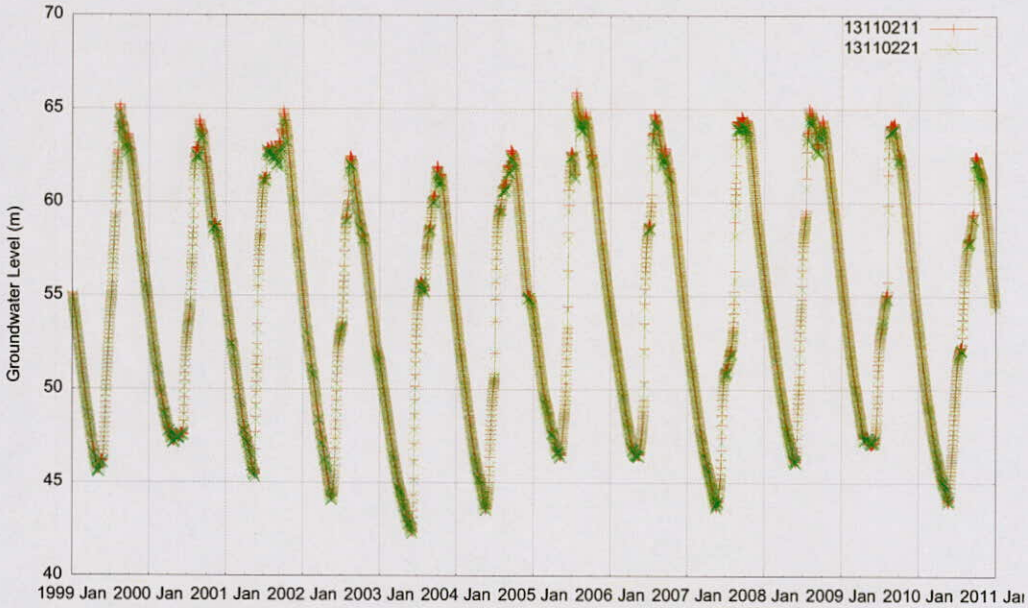



圖 A-28 泰山站地下水位歷線圖

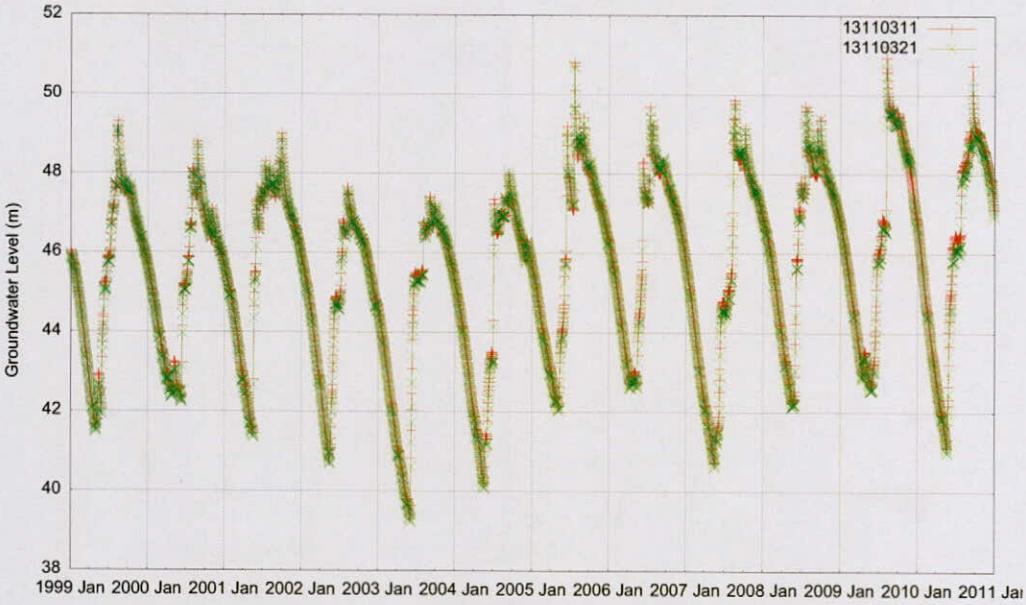



圖 A-29 新南站地下水位歷線圖

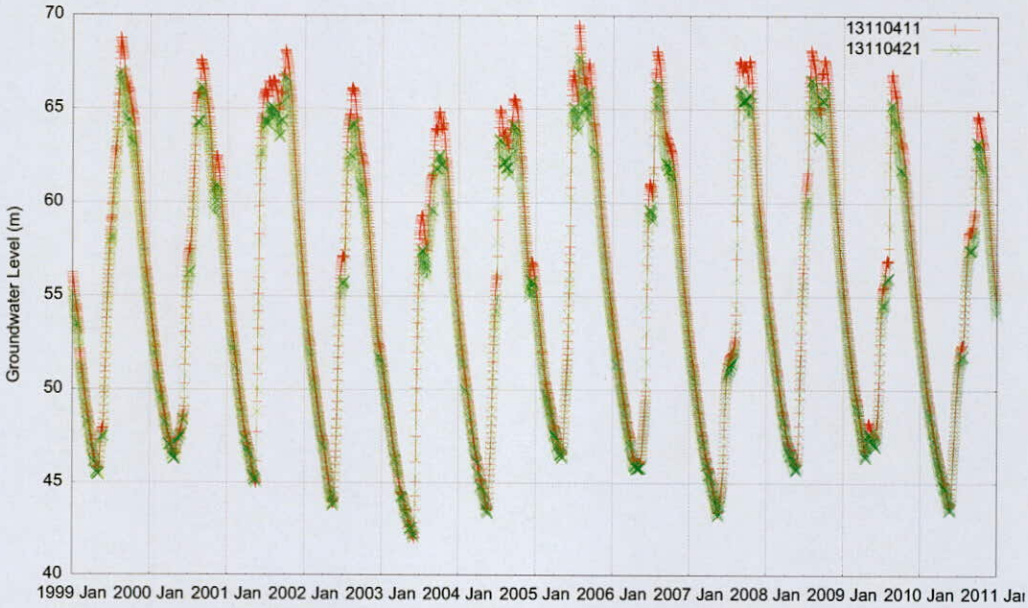



圖 A-30 關福站地下水位歷線圖

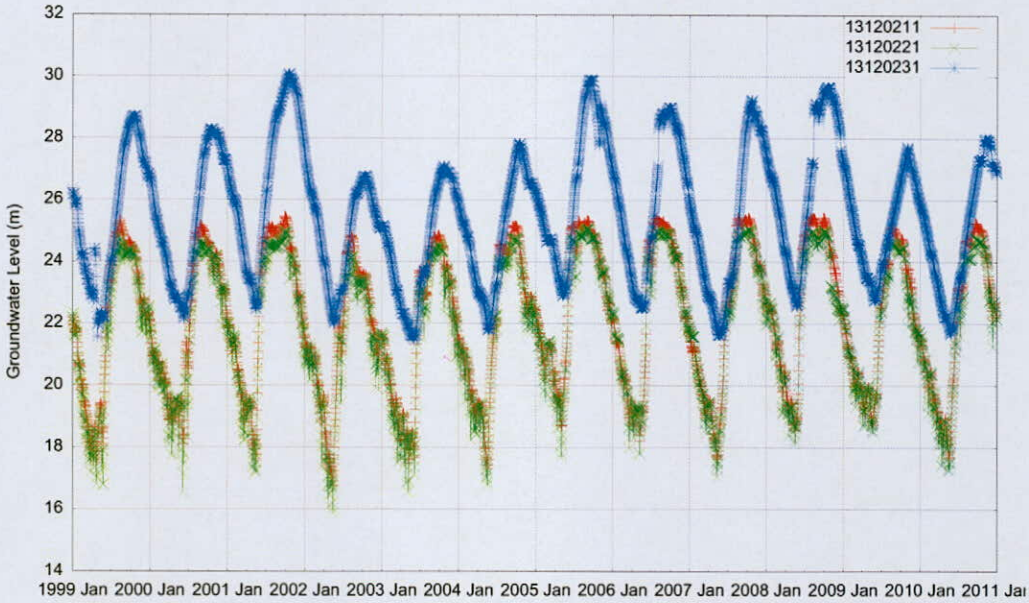



圖 A-31 赤山站地下水位歷線圖

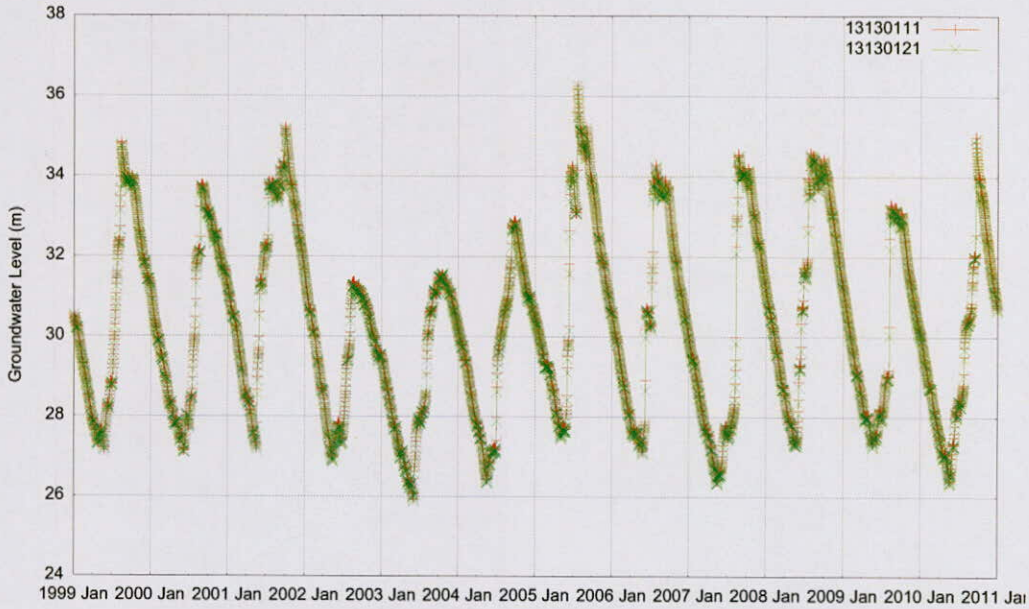



圖 A-32 建興站地下水位歷線圖

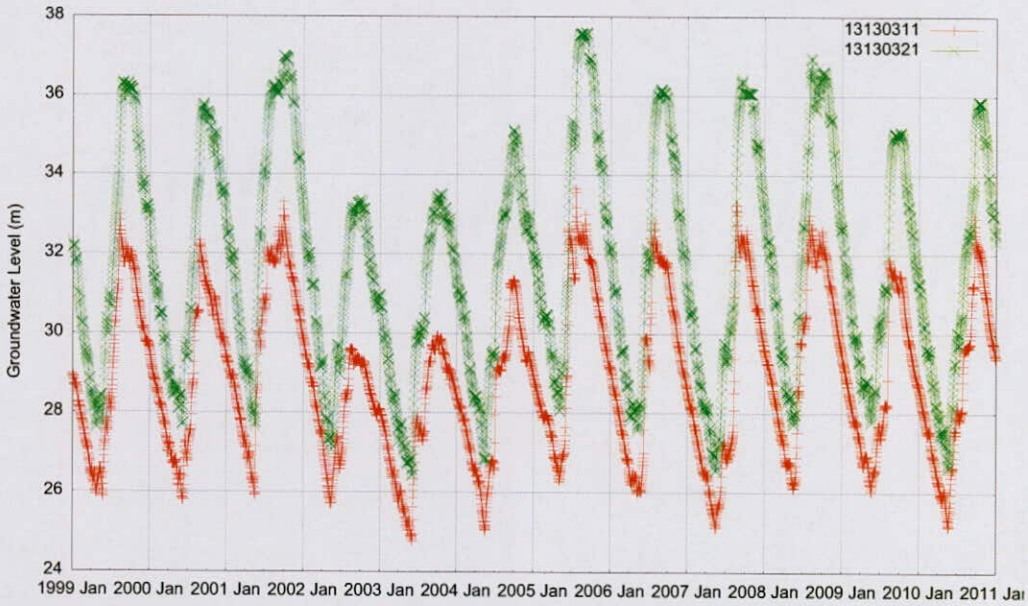



圖 A-33 老埤站地下水位歷線圖

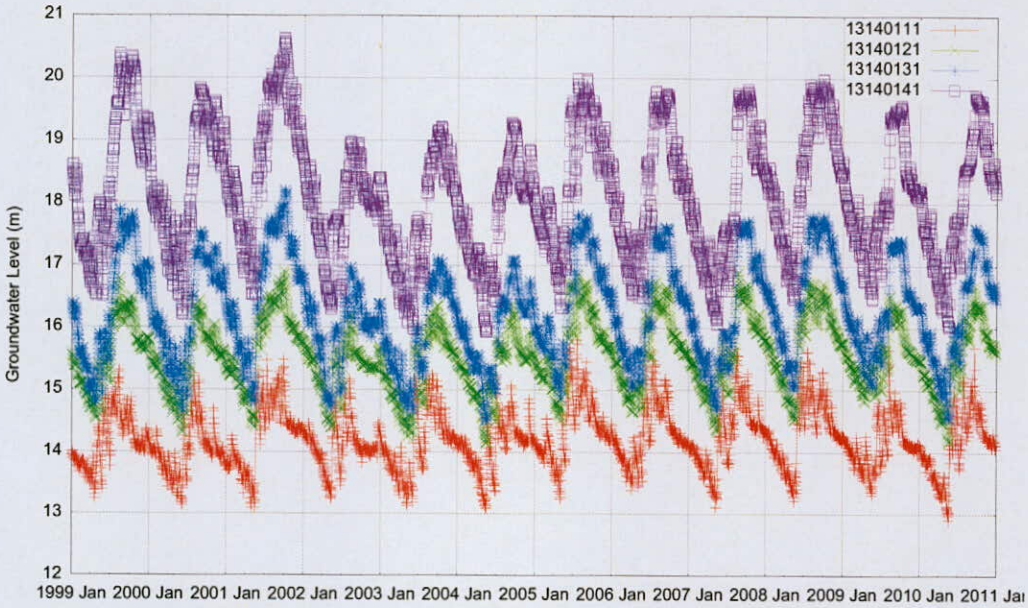



圖 A-34 西勢站地下水位歷線圖

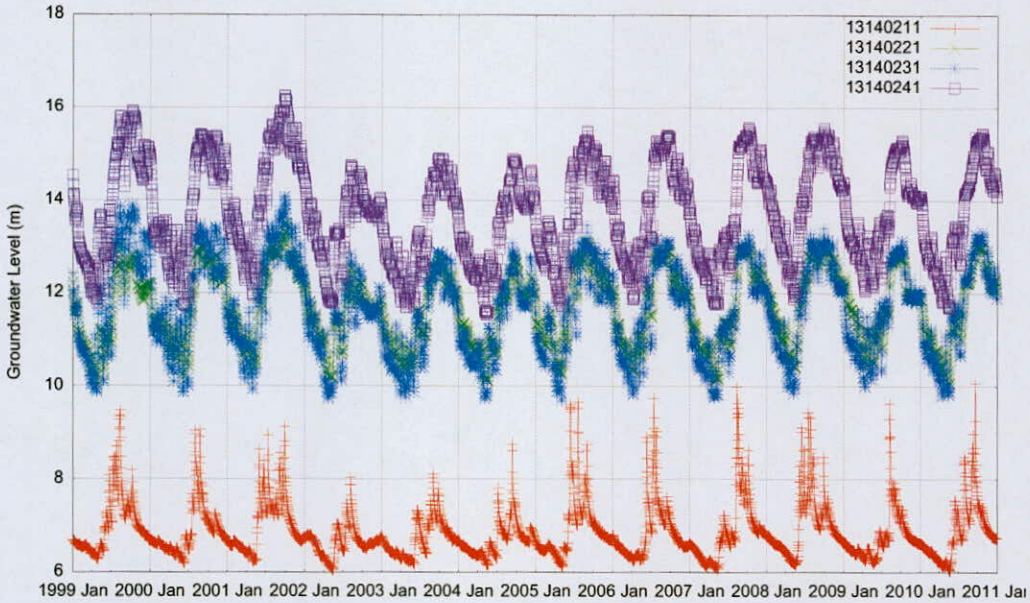



圖 A-35 大湖站地下水位歷線圖

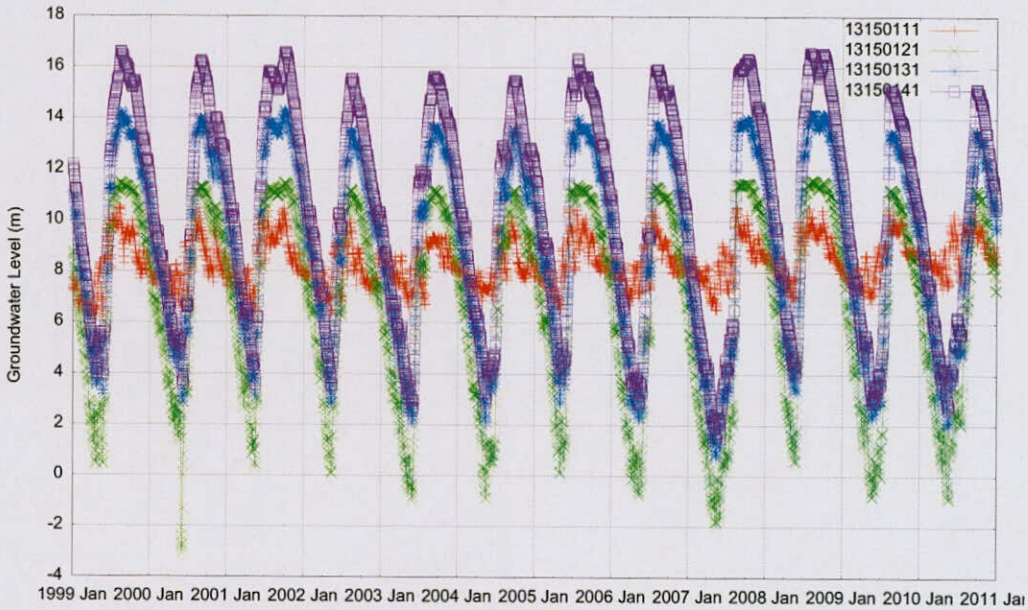



圖 A-36 新埤站地下水位歷線圖

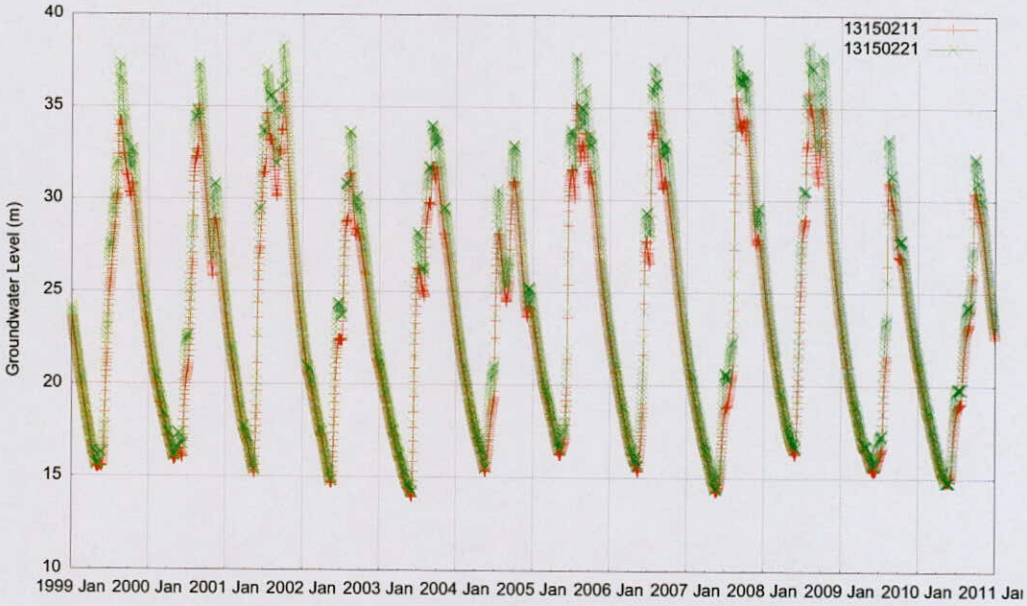



圖 A-37 萬隆站地下水位歷線圖

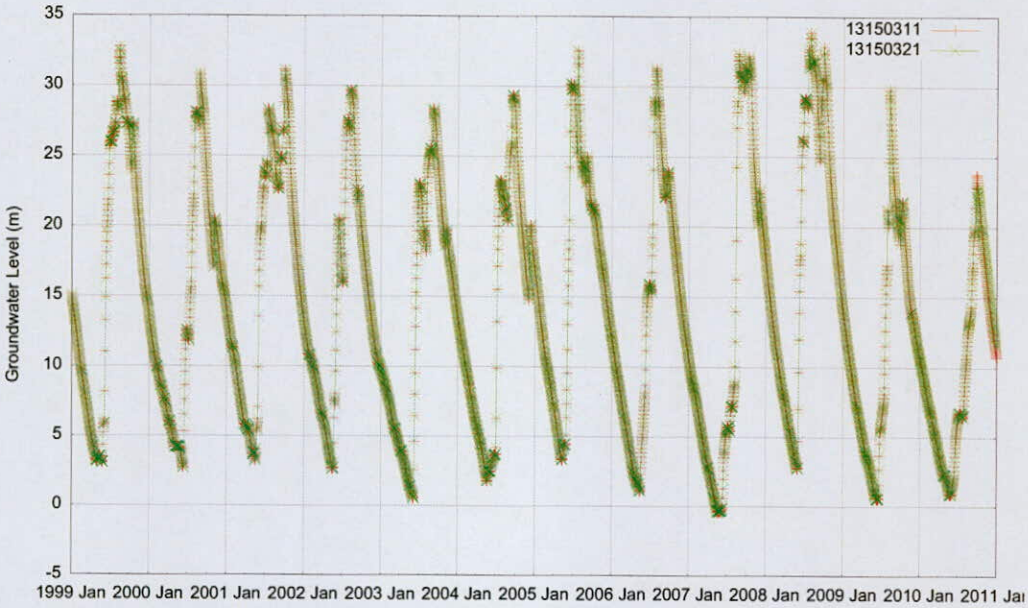



圖 A-38 大嚮站地下水位歷線圖

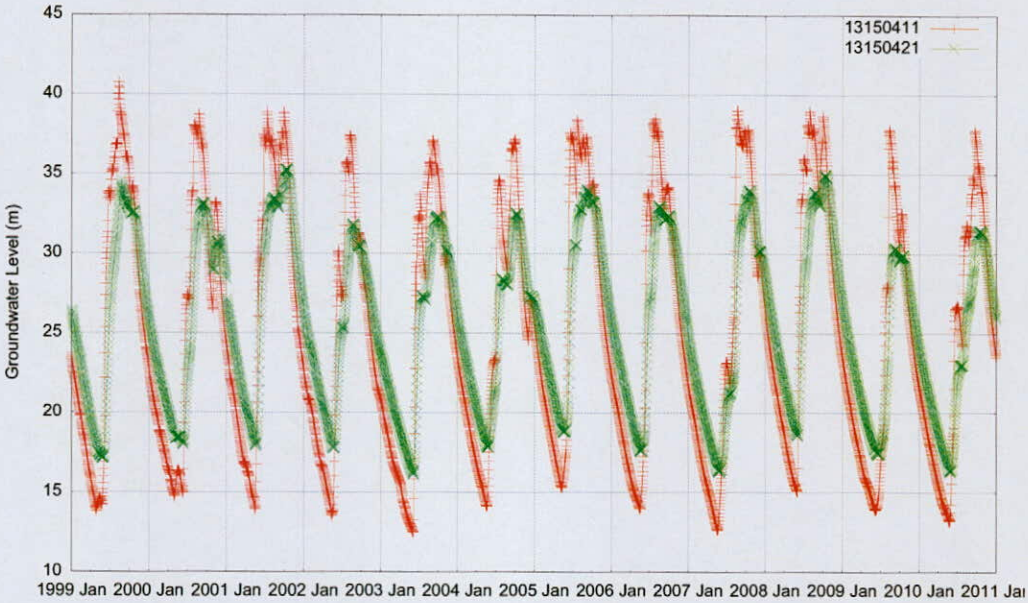



圖 A-39 餉潭站地下水位歷線圖

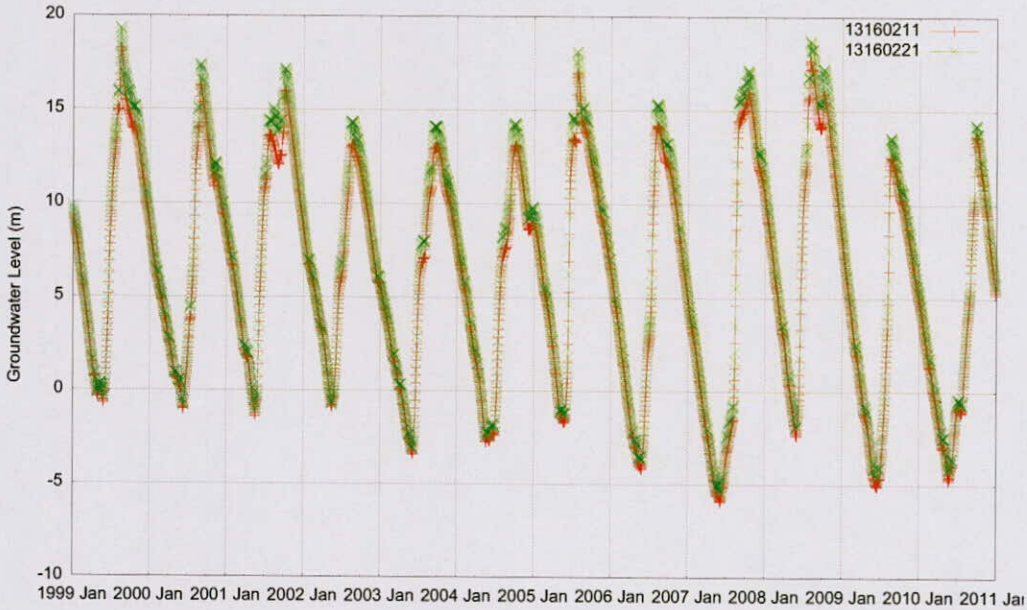



圖 A-40 枋寮站地下水位歷線圖

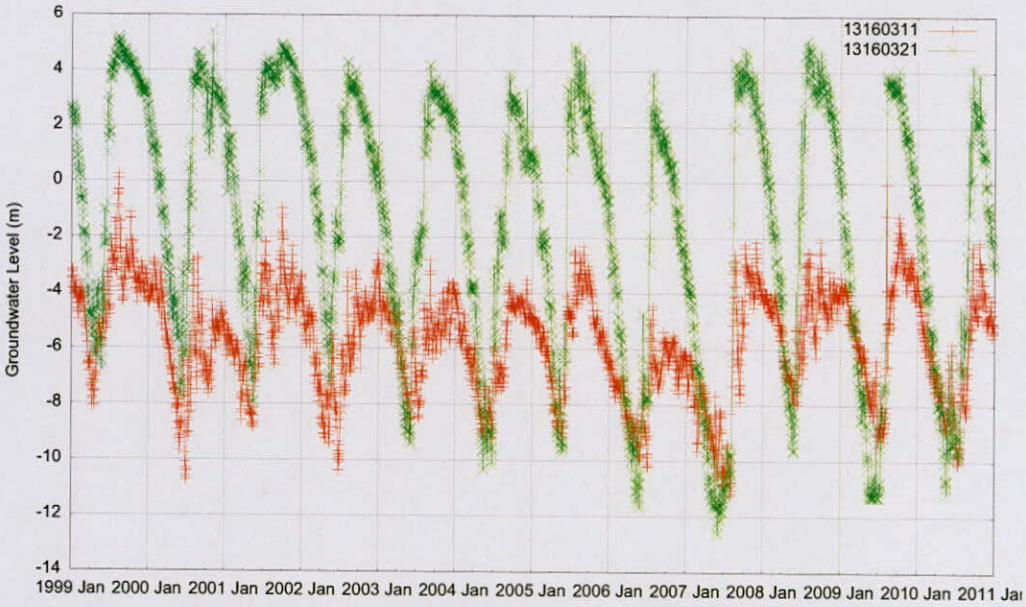



圖 A-41 大庄站地下水位歷線圖

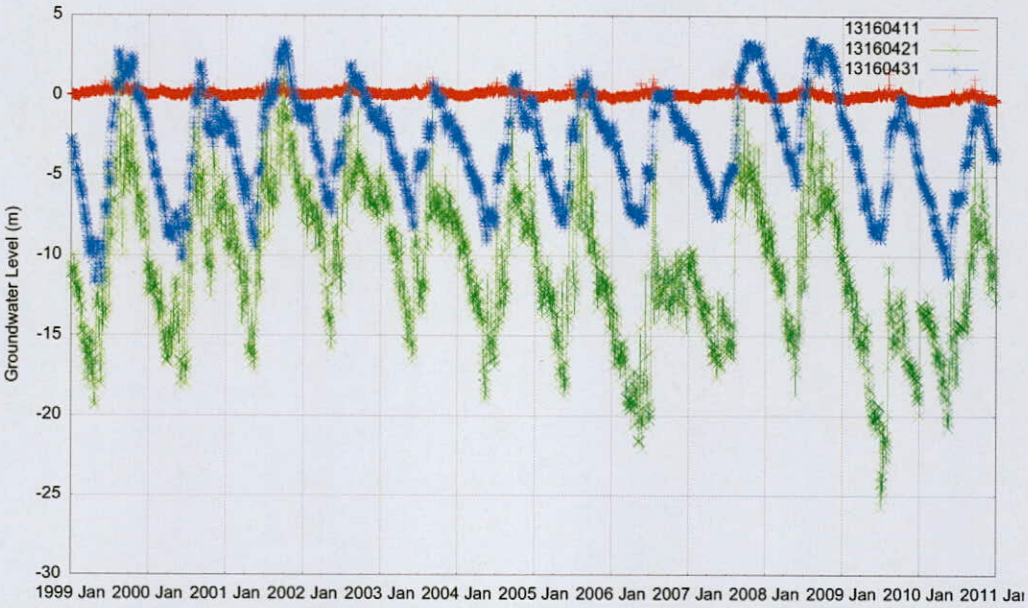



圖 A-42 德興站地下水位歷線圖

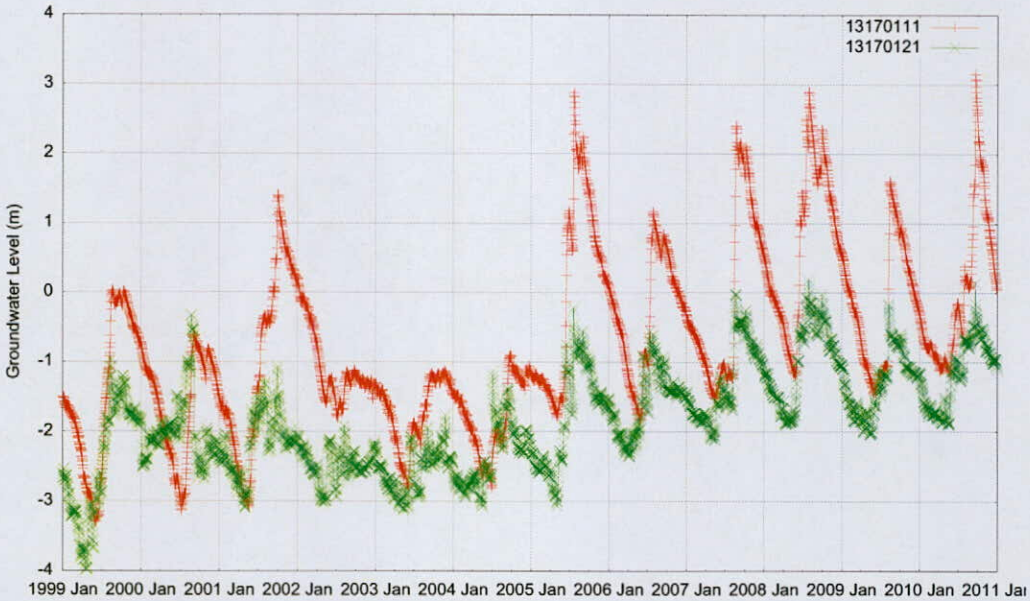



圖 A-43 新園站地下水位歷線圖

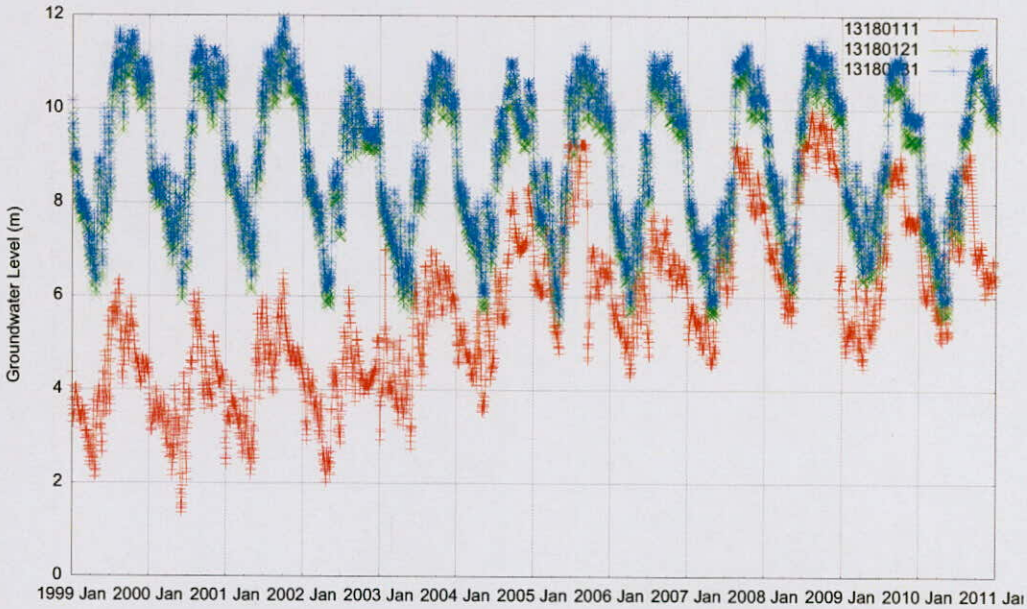



圖 A-44 崁頂站地下水位歷線圖

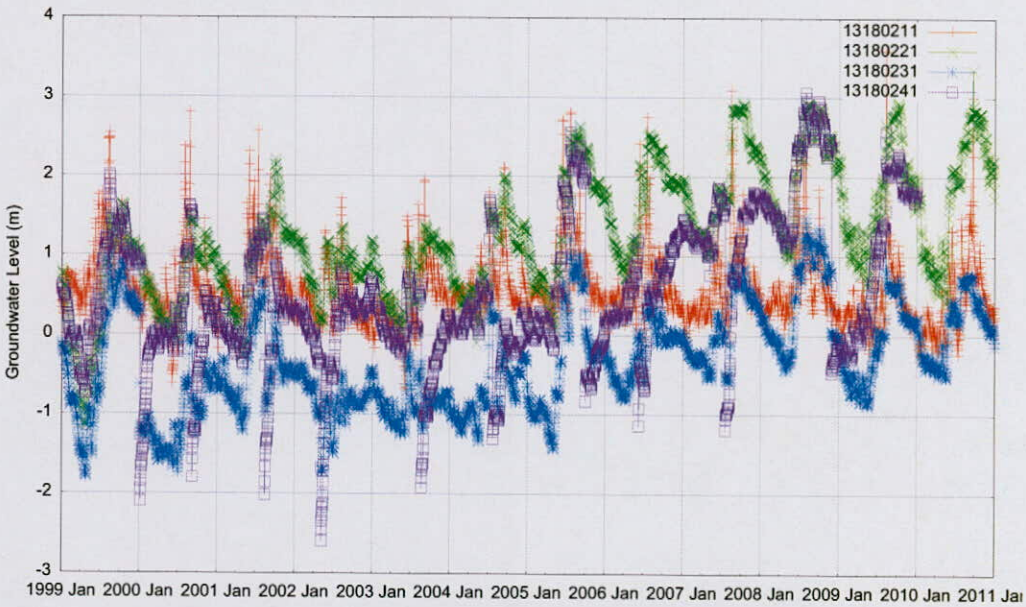



圖 A-45 港東站地下水位歷線圖

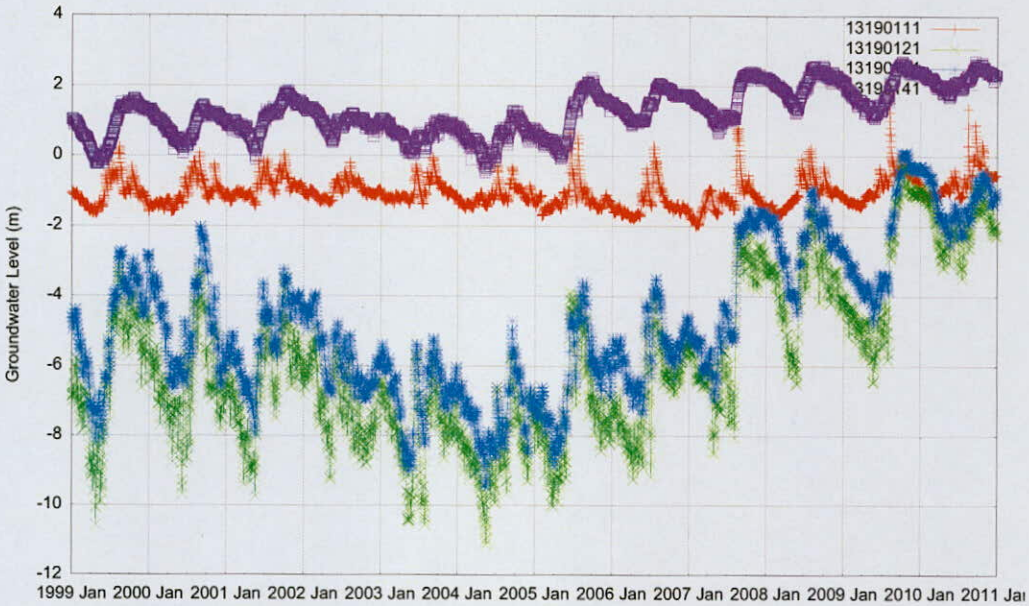



圖 A-46 崎峰站地下水位歷線圖

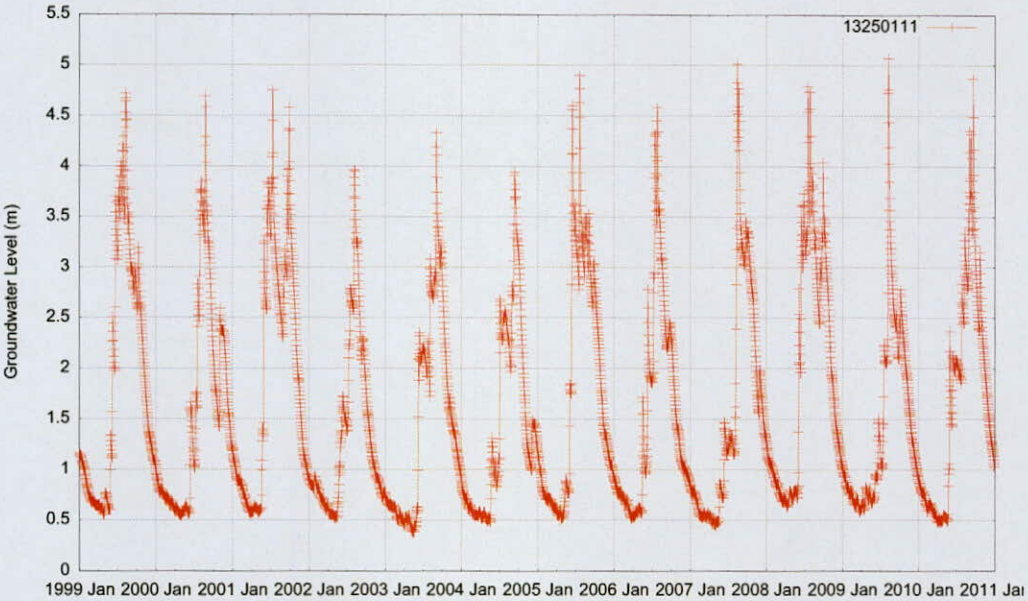



圖 A-47 枋山站地下水位歷線圖

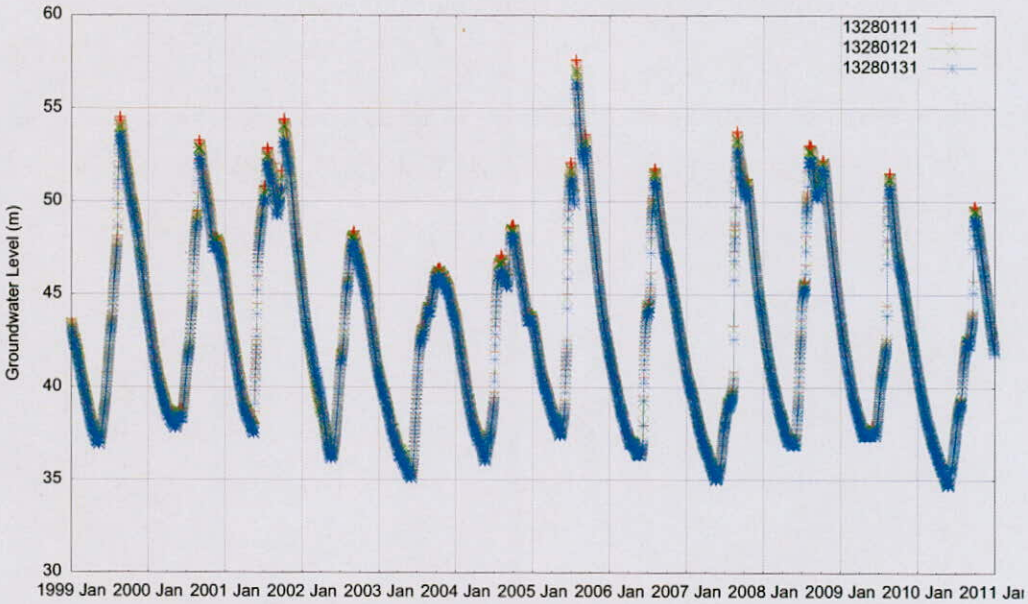



圖 A-48 瑪家站地下水位歷線圖