行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

乾旱時期用水分配模式之研究--子計畫:乾旱時期地面水與地下水聯合運用作業模式研發(I)
研究成果報告(完整版)

計 畫 類 別 ： 整合型
計 畫 編 號 ： NSC 98-2625-M-009-005-
執 行 期 間 ： 98 年 08 月 01 日至 99 年 07 月 31 日
執 行 單 位 ： 國立交通大學土木工程學系（所）

計 畫 主 持 人 ： 張良正

計畫參與人員： 博士後研究：陳宇文
博士後研究：葉明生

報 告 附 件 ： 出席國際會議研究心得報告及發表論文

處 理 方 式 ： 本計畫可公開查詢

中 華 民 國 99 年 10 月 31 日

目錄

目錄 I
摘要 II
Abstract III
第一章　前言 1
第二章　研究區域概述 1
2.1　水文地質架構 3
2.2　地下水觀測 3
2.3　水文地質參數 3
第三章　穩態數值模式建置 3
3.1　地下水數值模式發展簡介 3
3.2　地下水數值模式建置流程 4
3.3　穩態數值模式建置 4
3.4　穩態數值模式參數檢定 11
3.5　穩態數值模式檢定成果 12
第四章　地下水補注潛勢分析 17
4.1　地下水補注潛勢評估作業程序建立 17
4.2　地下水補注潛勢因子基本資料 19
4.3　地下水補注潛勢因子相互關係 30
4.4　地下水補注潛勢因子屬性與因子分數對照 32
4.5　地下水補注潛勢 37
第五章　結論與建議 38
5.1　結論 38
5.2　建議 39
第六章　參考文獻 39

摘要

濁水溪沖積扇由於工商業的蓬勃發展，致使用水需求量有急速增加的趨勢，現有水源設施已不足以供應此龐大需求量，水資源的調度面臨比以往更嚴峻的考驗。由於地面水源受水文豐枯影響甚劇，於乾旱時期常有水源不足之情況發生，而地下水相對於地面水源而言，受水文變化影響較小，因此若能將地面水與地下水進行聯合運用，應可有效降低乾旱時期之缺水風險。有鑑於此，本計畫建立濁水溪沖積扇之地面水與地下水水資源聯合營運系統，以提昇濁水溪沖積扇之水源調度能力，降低乾旱時期的缺水風險。爲達此目的需先建立濁水溪沖積扇之地下水特性，在此分別著重於穩態數值模式建立與區域補注潛勢之推估。

穩態數值模式採用 MODFLOW 2000 進行建置，率定水位採民國 89 年至 96 年之觀測水位平均值。檢定後之補注量與抽水量空間分布顯示，補注量部分大致上集中於扇頂區域之第一含水層；抽水量部分則與工業區之分佈位置有關。在補注潛勢評估方面，本研究以類 DRASTIC 方法，綜合「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」等七項因子，進行補注潛勢之評估。評估結果顯示，中等以上之補注潛勢分布於彰化縣社頭、田中、溪州、二水，與雲林縣莿桐、林內等扇頂鄉鎮，分布趨勢與穩態數值模式之結果符合。

關鍵詞：濁水溪沖積扇、地下水特性、穩態數值模式建置、模式檢定、補注潛勢、 DRASTIC

Abstract

In the past decade, the rapid growth of industry and agriculture have also increased the quantity of water requirement in Chou-Shui Alluvial Fan. To fulfill the water demand becomes a great challenge for the present water supply system. Since the surface water is influenced significantly by the hydrological condition that varies greatly in time, depending only on surface water system has high water deficit risk during drought period. On the other hand, groundwater is a much more stable resource than surface water and it is a good alternative water resource to reduce water deficit during drought period. Therefore, the long term purpose of this study is to develop a surface and subsurface conjunctive-use management model that can facilitate to increase the water allocation capability and reduce the water deficit risk in Chou-Shui Alluvial Fan during drought period. To do so, the groundwater characteristic of Chou-Shui Alluvial Fan should be familiar first. Two steps include the development of steady numerical model and the estimation of the recharge potential have been purposed.

First, MODFLOW 2000 which is one of the most famous models for groundwater simulation is used to construct a steady model of Chou-Shui Alluvial Fan. The average observed water level are used in the calibration process. After calibration, the spatial distribution of the calibrated recharge quantity mostly centralizes at the proximal area on the top aquifer. The spatial distribution of the calibrated pumping quantity is related with the distribution of the manufacturing districts. Second, the estimation of the recharge potential is determined by using a factor based method which modified from DRASTIC, a groundwater pollutant potential model and seven factors including land use, surface soil, river density, average annual rainfall, correlation between rainfall and groundwater storage, variation of storage for unit aquifer area and hydraulic conductivity are used. The estimation result indicates that the high recharge potential zone locates in the proximal area include, Shetou township, Tianzhong township, Xizhou township, Ershui township, Citong township and Linnei township. The distribution of the estimation is similar with the one of the steady numerical model.

Keywords：Chou-Shui Alluvial Fan, groundwater characteristic, steady numerical model construction, model calibration, recharge potential and DRASTIC

第一章　前言

濁水溪沖積扇由於工商業的蓬勃發展，致使用水需求量有急速增加的趨勢，現有水源設施已不足以供應此龐大需求量，水資源的調度面臨比以往更嚴峻的考驗。地面水源受水文豐枯影響甚劇，於乾旱時期常有水源不足之情況發生，而「地下水源」相對於「地面水源」而言，受水文變化影響較小，因此若能將地面水與地下水進行聯合運用，應可有效降低乾旱時期之缺水風險。有鑑於此，本計畫以地表地下整體考量的觀點，分析區域內地面水與地下水的基本特性與利用現況，並藉由系統分析與數值模擬方法，建立濁水溪沖積扇之地面水與地下水水資源聯合營運系統，以提昇濁水溪沖積扇之水源調度能力，降低乾旱時期的缺水風險。本子計劃以台灣濁水溪流域爲研究對象，目的在於建立一個地表地下聯合營運管理模式，爲達此目的需先掌握濁水溪沖積扇之地下水特性，本年度著重於研究區域之穩態模式建立，與區域補注潛勢之推估。

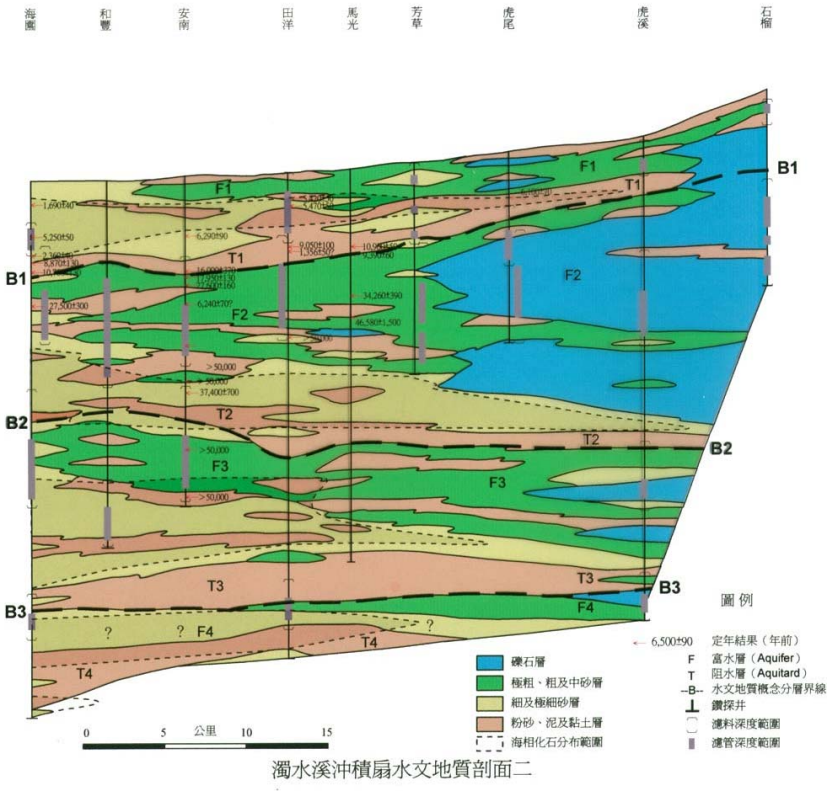


圖 1: 濁水溪海園-石榴水文地質剖面圖

第二章　研究區域概述

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

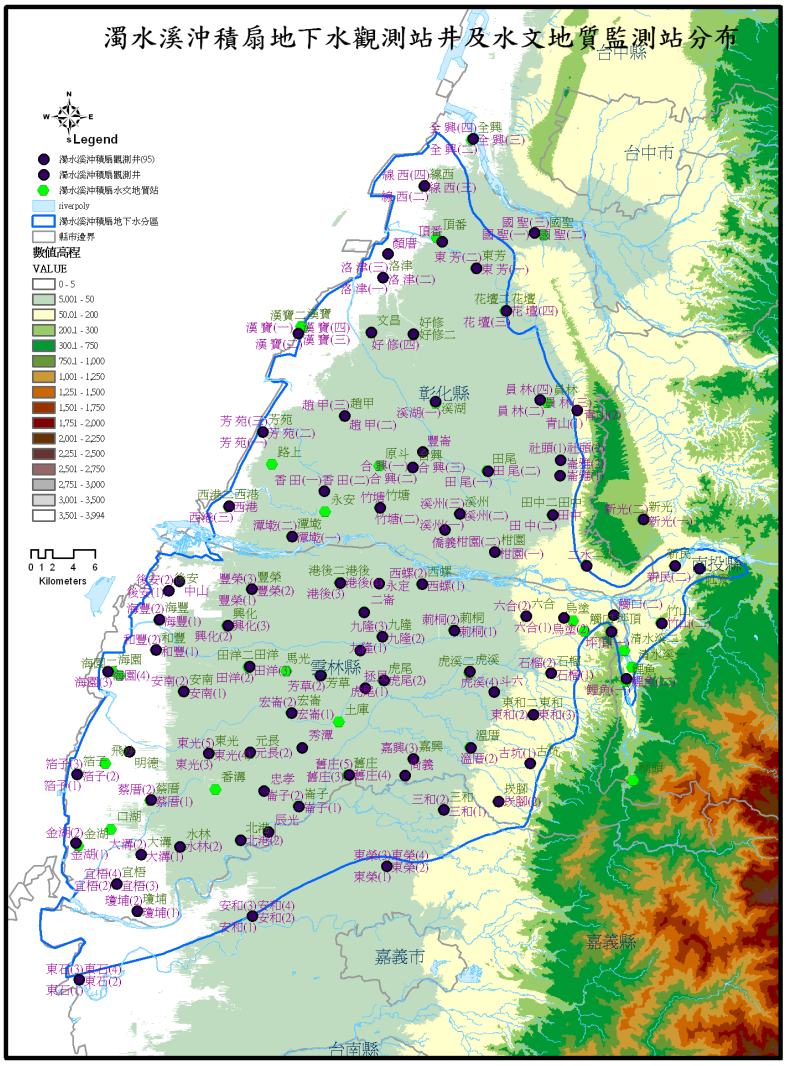


圖 2: 濁水溪沖積扇地下水觀測網站井分布圖

2.1 水文地質架構

地調所於 88 年完成臺灣地區地下水觀測網第一期計畫濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告中，以濁水溪沖積扇 72 站之地層柱狀圖，完成水文地質剖面一至十二，深度至 300 公尺左右，及丘陵及河谷區之 8 站地層柱狀圖繪製水文地質剖面十三至十五，深度約達 250 公尺左右；劃分出濁水溪沖積扇概念分層，包括含水層一 (F1) 、阻水層一 (T1) 、含水層二 (F2) 、阻水層二 (T2) 、含水層三 (F3) 、阻水層三 (T3) 、含水層四 (F4) 及阻水層四 (T4) 。上述各分層之垂直示意圖如圖 1 所示。

2.2 地下水觀測

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

2.3 水文地質參數

濁水溪沖積扇大致可區分爲扇頂、扇央及扇尾區，扇頂區位於員林、溪州、西螺、虎溪、東和連線以東，各含水層間無明顯之阻水層存在，地面水可直接補注至深層，即所謂濁水溪沖積扇扇頂非受壓含水層區；扇央區位於扇頂層區以西， 至好修、趙甲、潭墘、田洋、北港連線以東，阻水層一覆於含水層一之上，各含水層間有明顯之阻水層存在，地面水無法直接補注至各含水層，如以地質材料而言，砂礫材質所佔比例較大；扇尾區位於扇央區以西至沿海，含水層一以上亦有阻水層覆蓋，各含水層間亦如扇央區皆有明顯阻水層存在，其地質材料而言，砂礫所佔之比例較小，而粉砂及粘土所佔之比例較大。水力傳導係數 (K) 介於 10^{-3} 至 10^{-5} (m/s) 之間，導水係數 (T) 介於 0.01 至 4.19 (m/min) 之間，比容量 (Q/s)介於 0.34 至 208.33 $(m^3/(hr \cdot m))$ ，含水層水力特性以扇頂最佳，扇央次之，扇尾最差。

第三章　穩態數值模式建置

本節將說明穩態數值模式建置流程及步驟。首先在 3.1 小節簡介本研究所採用之地下水數值模式 MODFLOW 之發展歷程， 3.2 小節說明穩態數值模式之建置流程及步驟，最後於 3.3 小節說明本研究將以前一節之建置流程建置濁水溪沖積扇之地下水流數值模式。

3.1 地下水數值模式發展簡介

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

MODFLOW 是美國地質調查局 (U.S.G.S) 發展之地下水模擬程式，該程式可求解二維及三維之飽和層地下水流問題，含水層種類可分爲自由、受壓、半受壓含水層，依地質特性分類可爲均質、非均質及等向性、非等向性含水層。並可搭配 MOC3D 、 MT3D 及 MT3DMS 等水質模式，可進行水質傳輸模擬。另外。亦可搭配 MODFLOWP 、 PEST 及 UCODE 等參數優選模式 (Inverse modeling) ，藉以檢定由 MODFLOW 所建立之地下水流模式中的水文地質參數。美國地質調查局於 1983 年提出 MODFLOW 初版，至 1987 年更新爲 MODFLOW 88 版本，再於 1996 年再更新 MODFLOW 96 版本，而最新版本爲 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，因此成爲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 Processing MODFLOW 、 Visual MODFLOW 、 Groundwater Vistas 及 GMS 等。

本計畫使用 Groundwater Vistas 5.0 進行 MODFLOW 模式建立。 Groundwater Vistas 由 Environmental Simulations International 所開發，其爲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 MODFLOW 2005。當在 Groundwater Vistas 上建置地下水模式後，透過執行 MODFLOW 程式進行模擬。而 MODFLOW 的模擬結果，將再由 Groundwater Vistas 進行後端處理，分析計算結果及以圖形檔案格式輸出。

3.2 地下水數值模式建置流程

MODFLOW 的輸入資料包括初始條件、邊界條件與地下含水層地文參數 (水力傳導係數與含水層厚度等) 。輸出項則爲各層含水層之水頭分佈，另外還可輸出水位洩降與整體模式之水平衡分析等。本模式所需之重要工作流程整理條列分爲三大項：「邊界條件與格網劃分」、「模式之輸入資料」及「模式之參數檢定」 (如圖 3 所示) 。

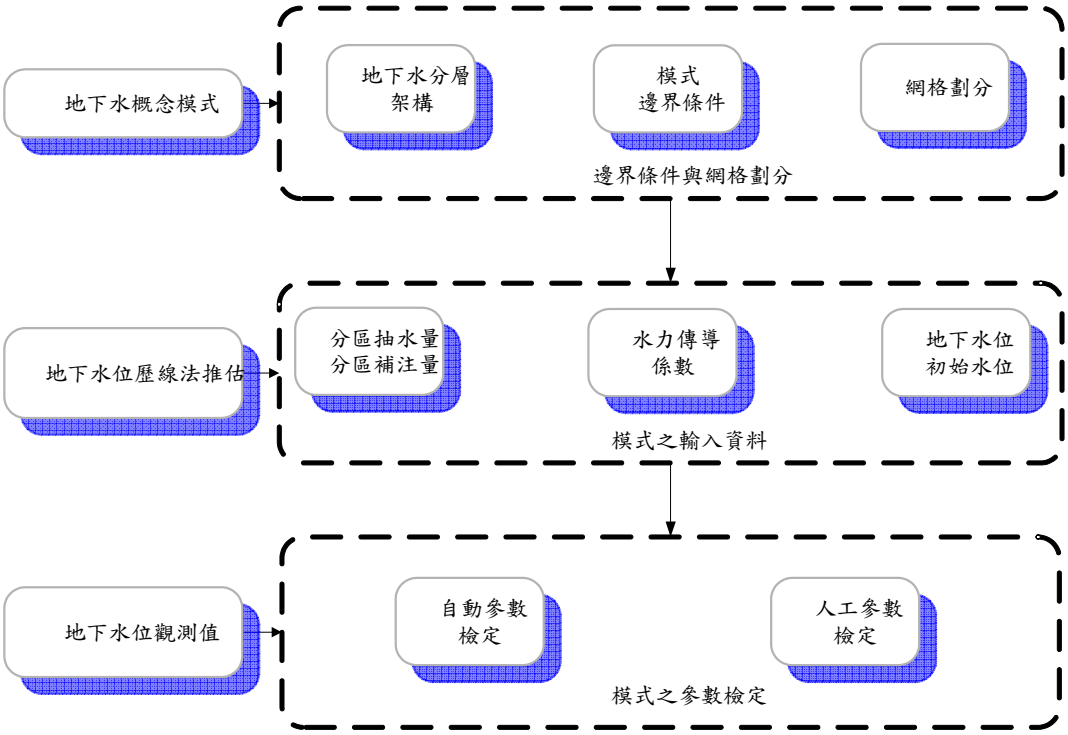


圖 3: 地下水數值模式建置流程示意圖

3.3 穩態數值模式建置

以下將分別針對「邊界條件與格網劃分」、「模式輸入資料」與「模式參數檢定」三個項目，進一步說明。

- 邊界條件與格網劃分

  1. 地下分層架構

MODFLOW 模擬的設定上，可將地下分層設定爲受壓或非受壓含水層，並需輸入各分層之上部和底部之高程值。於經濟部中央地質調查所於民國 88 年完成之「台灣地區地下水觀測網第一期計畫濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告」中，以濁水溪沖積扇 72 站地層柱狀圖，完成平原地區水文地質剖面一至十二(深度至 300 公尺左右)，再依據丘陵及河谷區之 8 站地層柱狀圖，繪製水文地質剖面十三至十五(深度約達 250 公尺左右)，劃分出濁水溪沖積扇概念分層，依深度分別爲含水層一、阻水層一、含水層二、阻水層二、含水層三、阻水層三及含水層四，濁水溪沖積扇模式共分爲第一至七分層，如圖 4 所示。

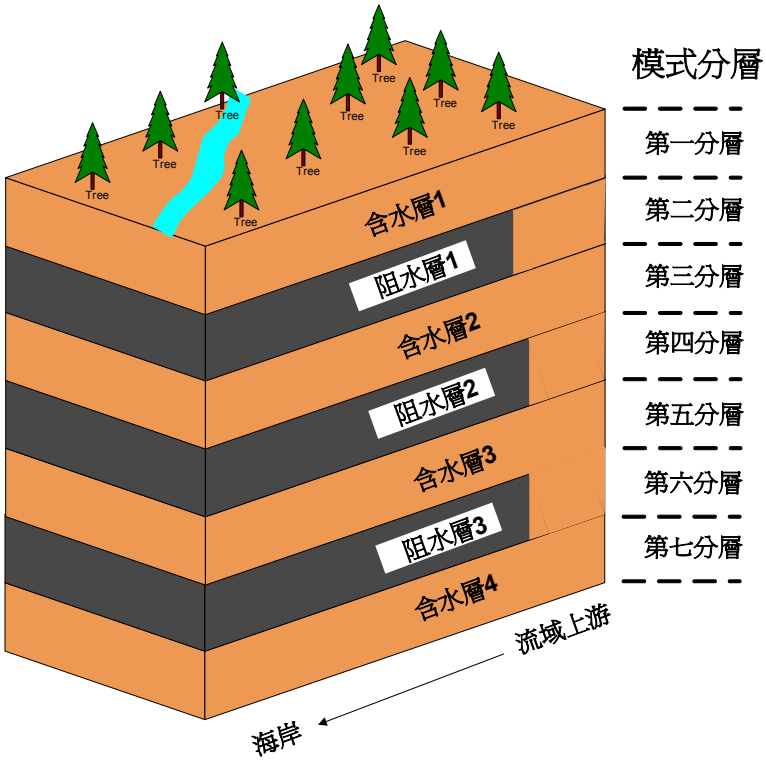


圖 4: 濁水溪沖積扇概念分層

2. 模式邊界條件

根據中央地質調查所 (1999) 對於濁水溪沖積扇地下水邊界分析研判，提出概念性之邊界，如圖 5 所示：

* AB 段：位於車籠埔斷層上，斷層以東除河床表層厚約 10 公尺之河道沉積礫石層有地下水伏流以外，均爲透水及含水不佳之砂頁岩，屬於零流邊界 (No flow boundary) ；惟位於此邊界上之濁水溪和清水溪河床伏流水量相當可觀，爲側向補注入地下水區之點源 (Pointsource) 。
* BC 段：本邊界位於濁水溪沖積扇之南側邊緣上，含水層沉積物粒徑及厚度均顯著變小，然而並未尖滅，因此無實體之阻隔爲界，然而從地下水流網分布型態，顯示 BC 段與地下水流線大致平行，於本身即可認定爲一條流線，故亦屬於零流邊界。海岸附近之洩降錐，其在邊界南北之形狀及大小若相當，則不影響零流邊界之假設。
* CD 段：此段爲含水層尖滅封閉於阻水層之位置，屬於零流邊界。

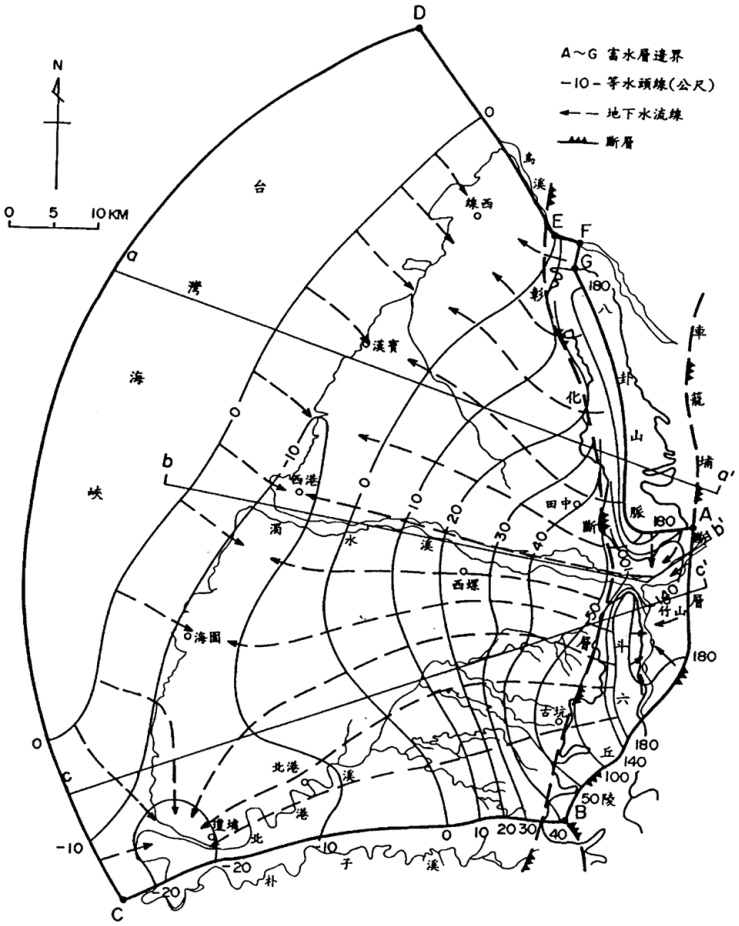


圖 5: 濁水溪沖積扇地下水邊界之概念圖

* DEF 段：本段與 BC 段相似，含水層可向北延伸而與台中盆地地下水系統相接，缺乏實體之阻隔，惟與地下水流方向大致平行，故認定爲零流邊界。 EF 段位於和美沖積扇頂上，河水可由河床入滲補注地下水。
* FG 段：本段邊界大致與地下水等水位線平行，隨時間之不同水位有昇降變化。
* GA 段：本段位於頭嵙山層之中，爲八卦山台地之地下水分水線 (Groundwater divide)。

3. 格網劃分

模式格網以 $1(km) \times 1(km)$ 之格網建構，所以每一層格網爲南北方向 85 列與東西方向 75 行，共七層格網。如圖 6 所示。在邊界條件設定上，東部之八卦山地區有八卦山背斜，斗六丘陵有內林背斜及斷層經過，以此爲東邊邊界，且設爲零流量之邊界條件。北部邊界爲烏溪，南部邊界爲北港溪，各層皆爲零流量之邊界。西邊含水層一以海岸線向外延伸兩公里設爲定水頭邊界(如圖 7 所示)，其餘含水層延伸 5 公里後尖滅，設爲零流量之邊界條件(如圖 8 所示)。圖中藍色網格爲定水頭邊界，灰色網格爲零流量。圖 9 所示爲第 47 列剖面圖，網格之水平向長度爲垂向長度之 30 倍。

- 模式輸入資料

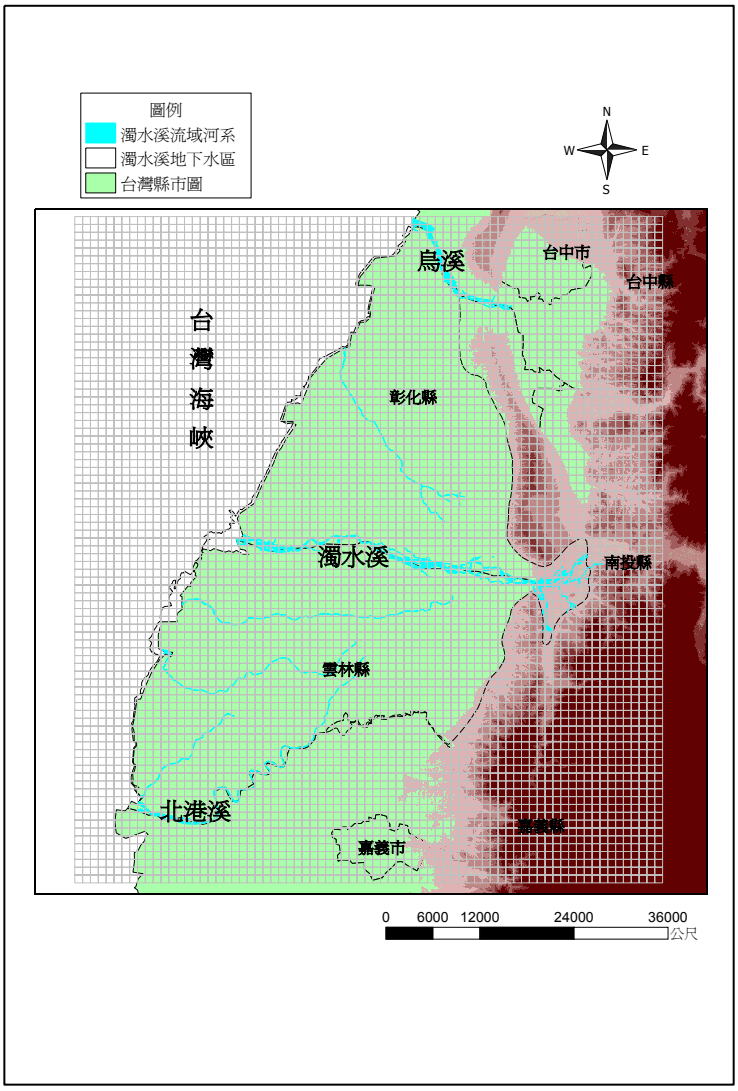


圖 6: 濁水溪沖積扇模式之格網劃分

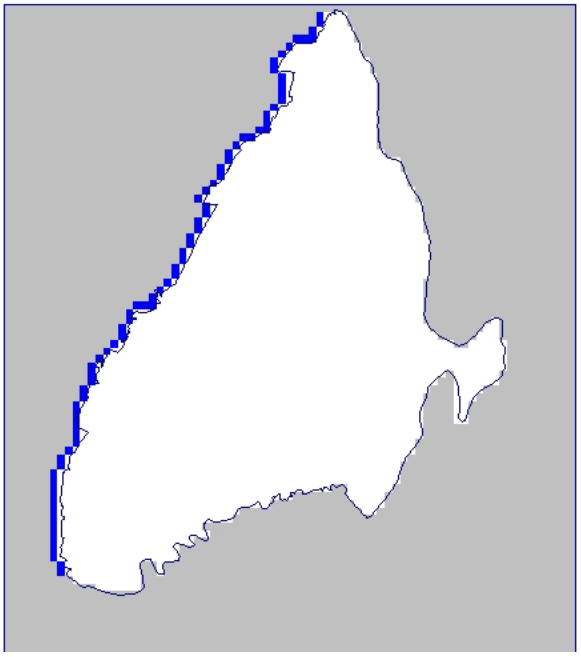


圖 7: 濁水溪沖積扇模式第 1 分層格網劃分

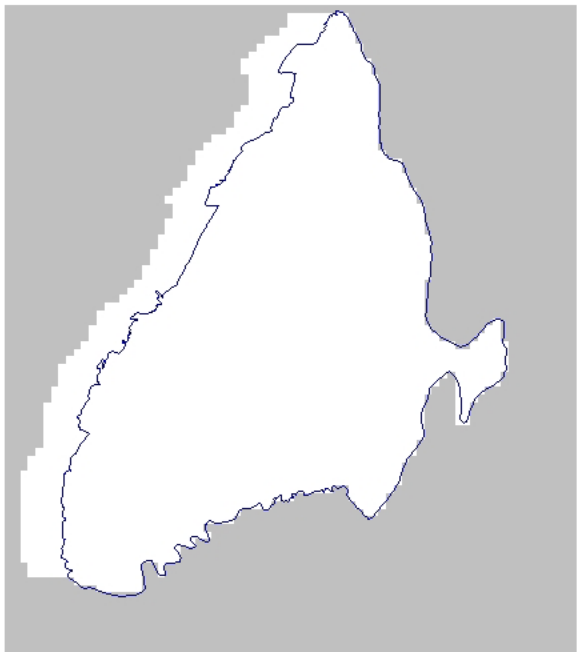


圖 8: 濁水溪沖積扇模式第 2 至 7 分層格網劃分

圖 9: 濁水溪沖積扇模式第 47 列格網劃分剖面圖

模式之輸入資料包括水力傳導係數、垂向水力傳導係數、儲水係數、起始地下水水位、補注量及抽水量等。以下將以濁水溪沖積扇爲例，說明 MODFLOW 模式所需模式架構之地下水力學參數及源匯項輸入資料。各輸入資料敘述如下:

1. 水力傳導係數：觀測站網建置時，各觀測井必進行單井或複井抽水試驗，因此分析所得各含水層之水力傳導係數相當多，故後續以徐昇氏法分區得到水力傳導係數分布，圖 10 至 13 分別爲模式第 1 、 3 、 5 及 7 分層之水力傳導係數分區圖。而模式第 2 、 4 、 6 分層在下游部份爲阻水層，其阻水層水力傳導係數爲參考 Schwartz 與 Zhang (2003) 對阻水層之建議值，在此設定爲 4×10^{-3} (m/day) 。此外，前述抽水試驗所得結果爲水平向之水力傳導係數，垂向水力傳導係數則假設爲水平向之 1/10 。
2. 儲水係數：由於儲水係數必須進行複井抽水試驗才能求得，但在觀測站網建置時，僅有 1/4 到 1/5 的觀測井進行複井抽水試驗，較水力傳導係數資料少，所以將綜合考量試驗所得之觀測值與過去相關研究，配合分區或空間內插方法分配至各分區，並於後續模擬時，進行儲水係數之參數檢定與校正。由於本年度先進行穩態模式建構，所以尚不需要輸入儲水係數，將於後續年度計畫中進行暫態模擬時，予以檢定。
3. 起始地下水水位：由於本年度先進行穩態模擬，所以其起始地下水位僅作爲求解穩態水位之初始值。未來於暫態模擬時，將以濁水溪沖積扇有完整水位資料之年份，作爲模式之起始模擬時間。
4. 抽水量、補注量：由於現地抽水量資料並不足夠，初步以民國 91 年水利署之「地下水資源整體營運規劃與綜合評估」報告中之濁水溪沖積扇模式之抽水量及補注量作爲初始輸入值。後續搭配參數檢定搜尋對應之抽水量與補注量。

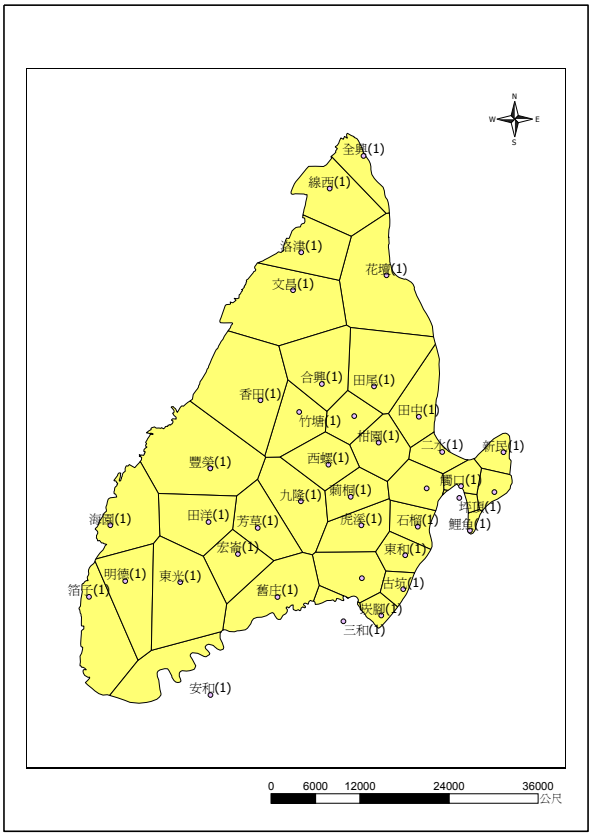


圖 10: 濁水溪沖積扇模式第 1 分層徐昇氏網格分區

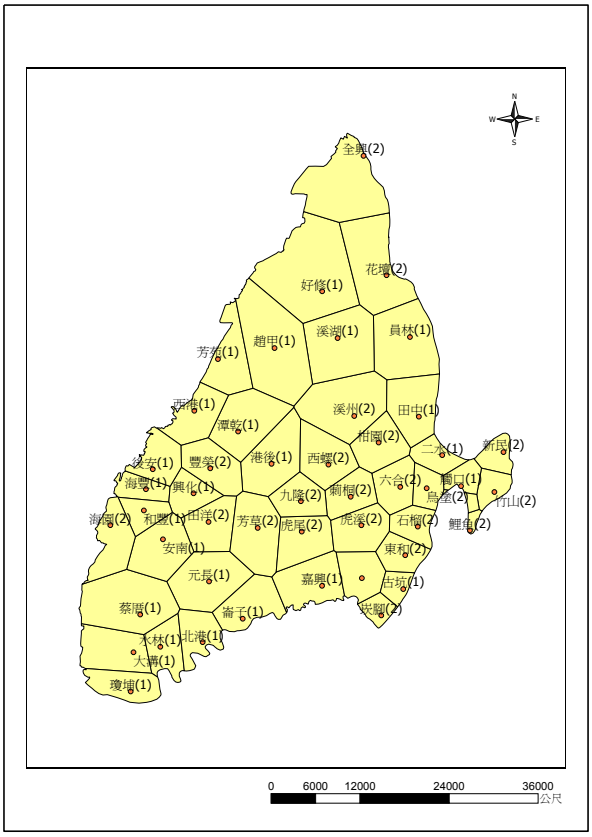


圖 11: 濁水溪沖積扇模式第 3 分層徐昇氏網格分區

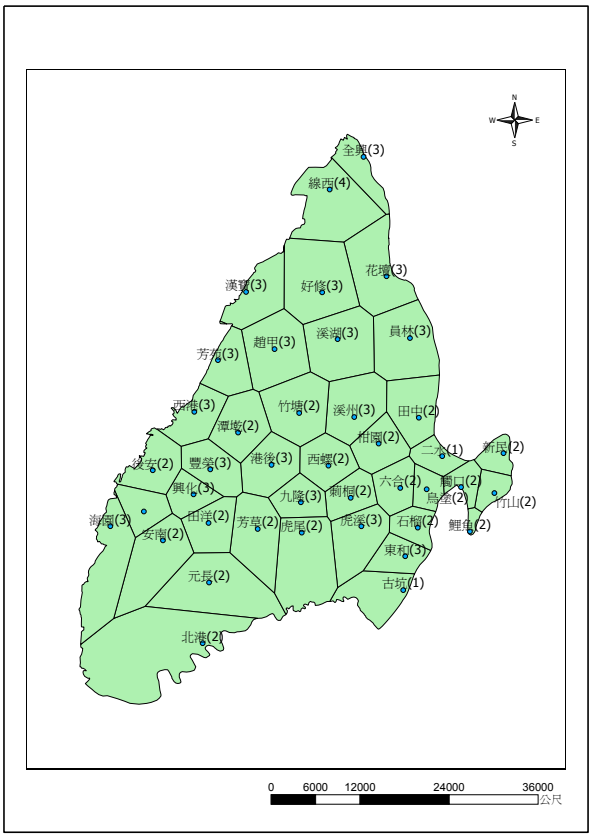


圖 12: 濁水溪沖積扇模式第 5 分層徐昇氏網格分區

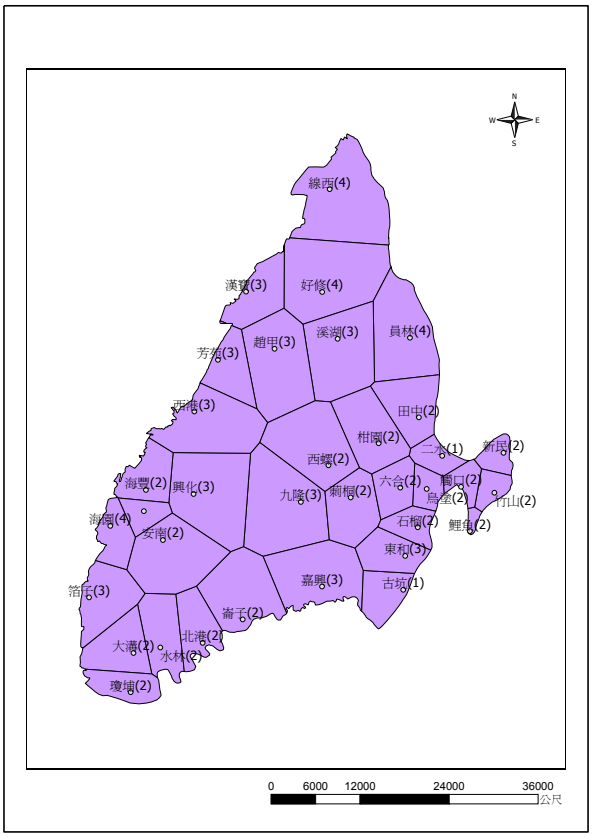


圖 13: 濁水溪沖積扇模式第 7 分層徐昇氏網格分區

3.4 穩態數值模式參數檢定

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爲「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，而因爲地下水模式甚至優選模式本身，因受限於參數之維度數目，往往皆對問題本身有相當程度的簡化，自動參數檢定所得之結果亦可能產生不符物理條件的狀況。

因此，本團隊乃整合水文地質專家及地下水數值模式與參數優選專家，先以自動化參數檢定模式進行參數優選，再經由人工參數檢定，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及可解釋性，並能累積整合專家之經驗，使得參數檢定的工作更爲正確與加速。

本研究將採用 MODFLOWP 或 UCODE 進行地下水參數優選， MODFLOWP 程式是美國地質調查局 (U.S.G.S) 所發展，該程式是將非線性迴歸理論與 MODFLOW 程式結合，藉以優選由 MODFLOW 所建立之地下水流模式中的參數， MODFLOWP 提供兩種優選方法，分別是修正型高斯-牛頓法 (Modified Gauss-Newton method) 和共軛方向法 (Conjugate-direction method) ；而 UCODE 程式則是美國地質調查局 (U.S.G.S) 與 IGWMC 共同發展，該程式是將非線性迴歸理論與 MODFLOW 程式結合，藉以優選由 MODFLOW 所建立之地

下水流模式中的參數。

由於自動參數檢定往往容易面臨參數維度過高的問題，參考過去研究，最常用的降低參數維度方法爲分區法 (Zonation method) ，如 Emselln 和 de Marsily (1791)、以及 Cooley (1977、1979)等人的研究中，將整個地下水流模擬區域劃分成數個小區域，在每個分區中的未知參數皆視爲定值，藉以降低參數維度。

當通過自動參數優選後，本計畫將再由人工參數檢定調整，期使所建立之模式參數更符合物理意義。人工參數檢定可分爲穩態及非穩態檢定，經由穩態檢定可進一步確認水文地質架構；而非穩態檢定將針對 S 值及時變補注量及抽水量進行調整。此由地下水模式檢定得出之補注量及抽水量，將可與前述由修正型地下水位歷線法模式推估所得之各分區補注量及抽水量相互驗證，並可作爲主要補注區劃分參考。

本研究將使用前節建立之 MODFLOW 模式，以 UCODE 模式優選搭配人工參數檢定推估地下水區淺層之淨補注量及深層抽水量，步驟如下:

1. 參照水位選定：本研究以民國 89 年至民國 98 年濁水溪沖積扇各觀測井之觀測水位平均值，作爲穩態模式參數檢定之參照水位。

2. 參數分區：本研究爲降低模式參數檢定之維度，採用分區 (Zonation) 法之對參數進行分區，分區方法乃依地下水觀測井分布對空間進行徐昇式網格切割，分割成果如圖 10 至 13 所示。

3. 以 UCODE 模式參數檢定：在參數率定時，原則上水文地質參數如 K 值先不給予調整，只檢定淺層淨補注量與深層抽水量。

4. 人工參數檢定：以 UCODE 模式完成參數檢定後可得到優選後之淺層淨補注量及深層抽水量，之後再配合人工參數檢定方式修正並檢驗優選後之淺層淨補注量及深層抽水量，以得到更佳之參數檢定結果。

3.5 穩態數值模式檢定成果

圖 14 至 16 分別爲第一含水層、第三含水層與第五含水層之穩態觀測水位與模擬水位等值圖，從圖面顯示兩者趨勢一致，顯示模式完成檢定。圖 17 至 19 分別爲不同含水層之淨抽水量分布，粉紅色顯示爲正值，表示爲抽水，其深淺則代表數值大小，越深者則代表數值越大；藍色顯示爲負值，表示爲補注。第一含水層爲表層含水層，補注多局限於扇頂區域；第三含水層與第五含水層之較大抽水區域，多集中於工業區附近。

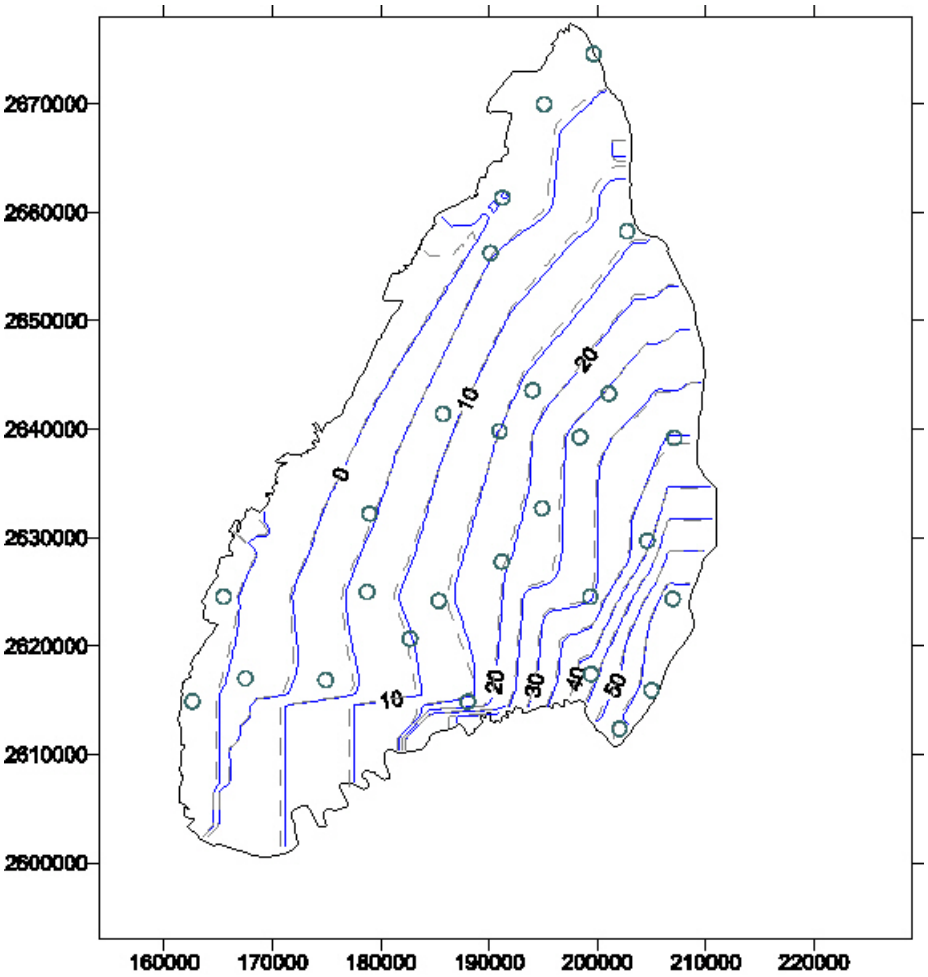


圖 14: 觀測水位與模擬水位等值圖(第一含水層)

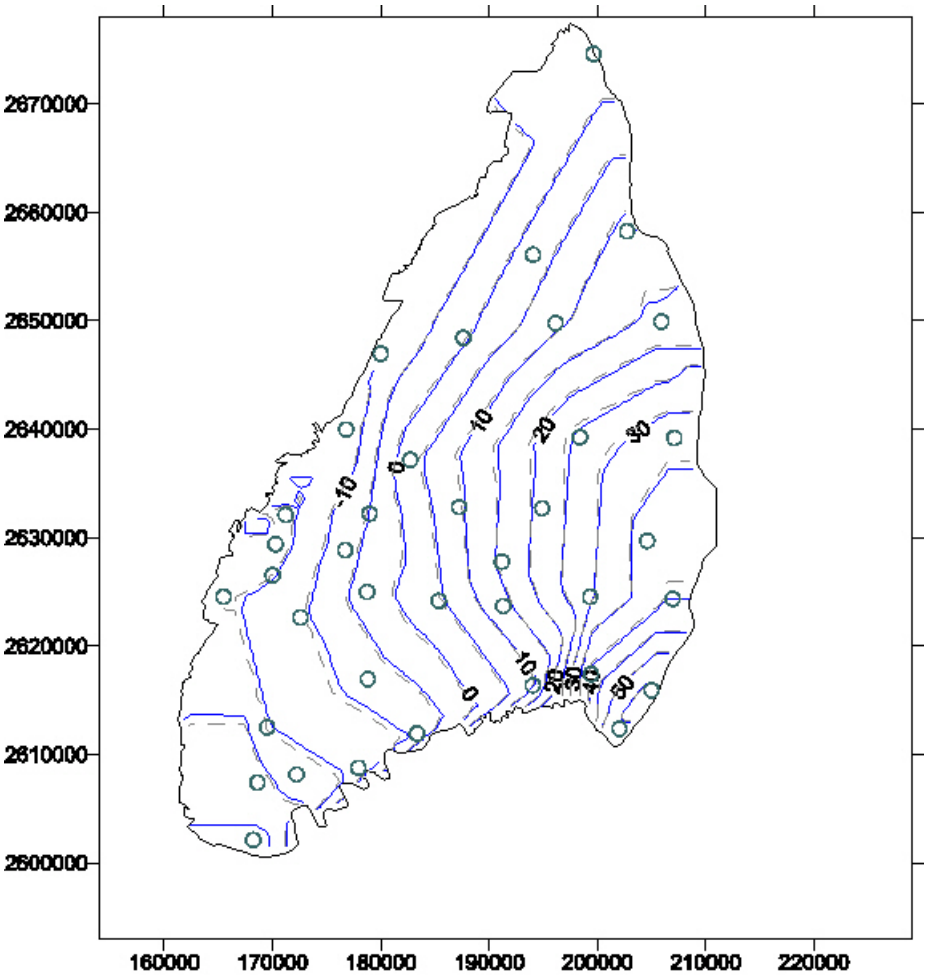


圖 15: 觀測水位與模擬水位等值圖(第三含水層)

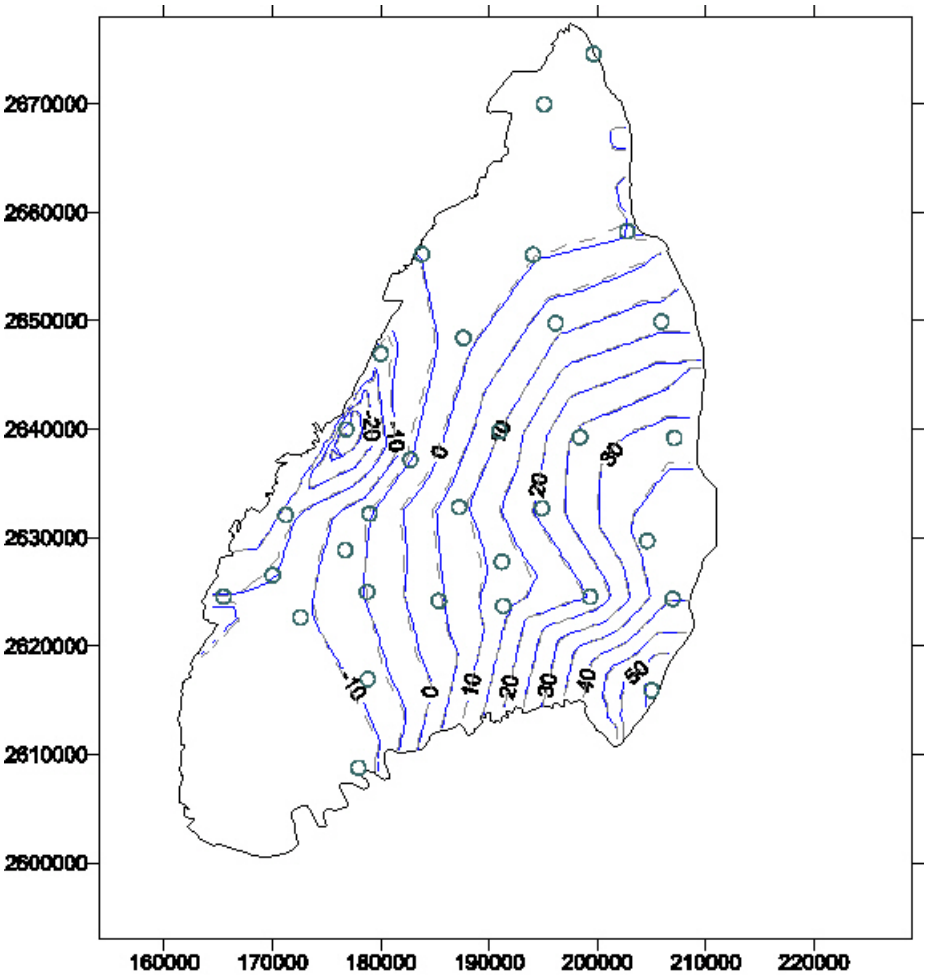


圖 16: 觀測水位與模擬水位等值圖(第五含水層)

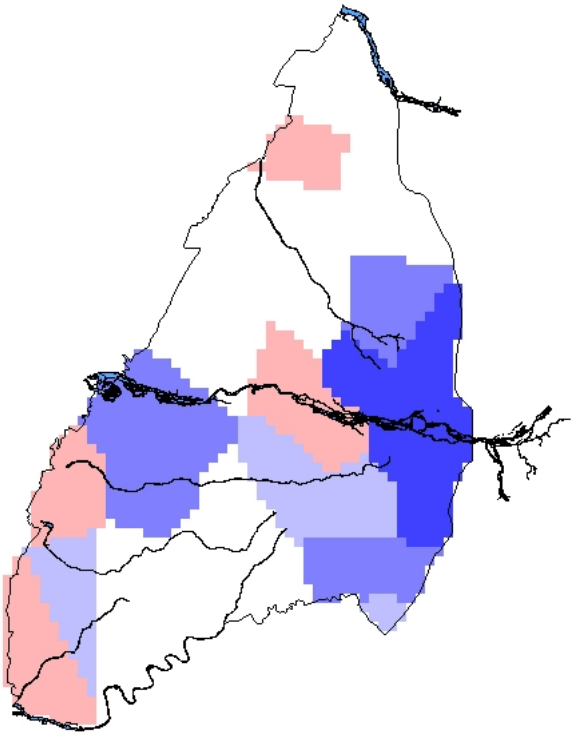


圖 17: 淨抽水量分布圖(第一含水層)

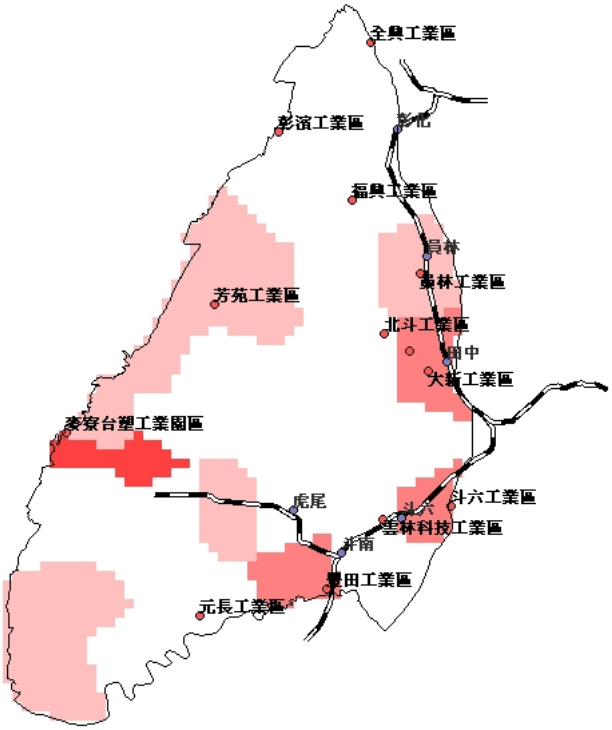


圖 18: 淨抽水量分布圖(第三含水層)

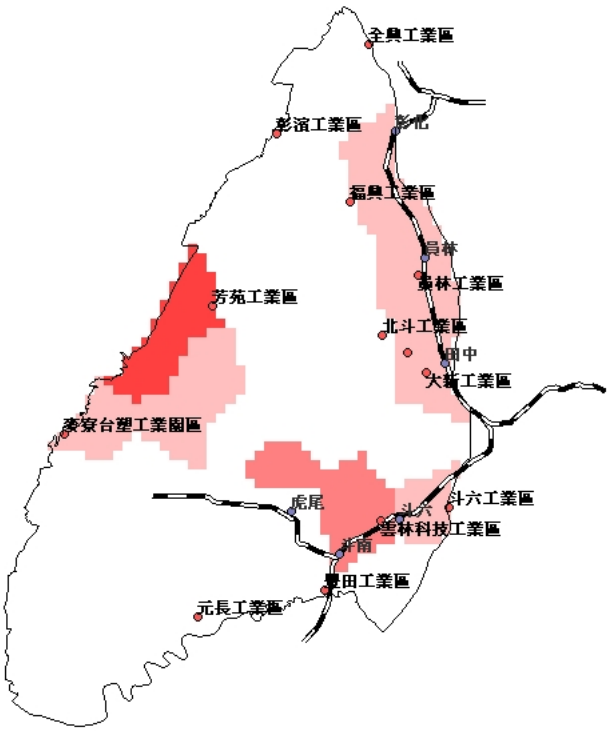


圖 19: 淨抽水量分布圖(第五含水層)

第四章　地下水補注潛勢分析

補注潛勢分析是在實際估算區域補注量前，先應用地理資訊系統 (GIS) ，結合與入滲補注相關之各項空間資訊，其爲本項分析之補注潛勢因子。從空間上評估區域對於補注之潛能，將原始之空間屬性資訊改以 0 至 100 分的方式呈現，接著再以加權平均的方式綜合呈現多項補注潛勢因子，後續可藉此進一步劃分區域之主要補注區。

4.1　地下水補注潛勢評估作業程序建立

表 1: 地下水補注主要影響因子示意表

因子種類	潛勢因子	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。
	水力傳導係數	水力傳導係數 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	降雨與地下水位相關性	降雨與地下水位相關性。
	單位蓄水量變化	單位蓄水量變化

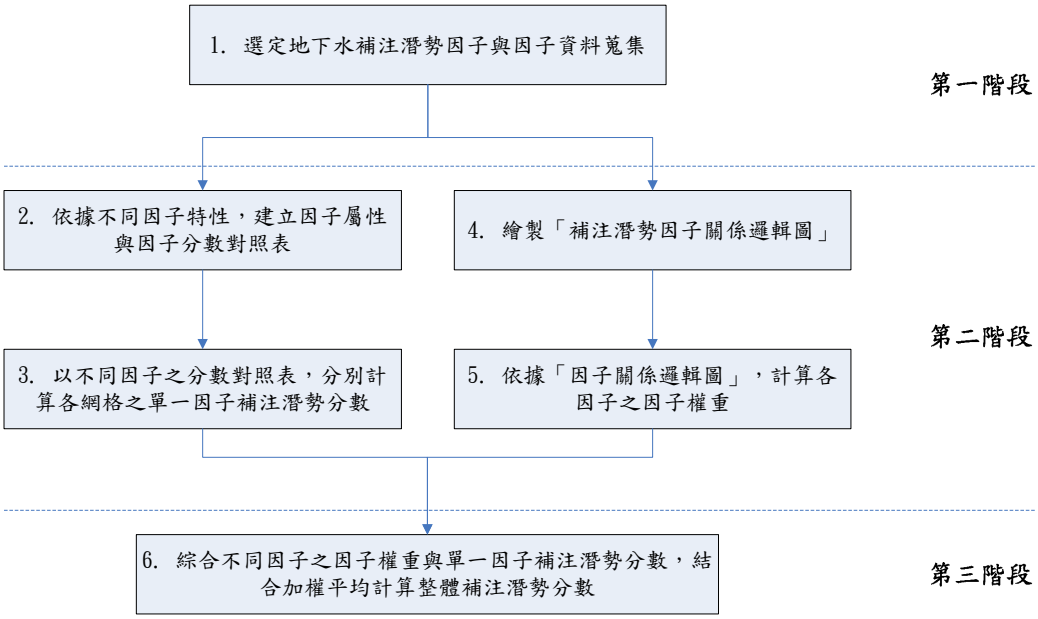


圖 20: 地下水補注潛勢評估作業程序

本計畫將針對濁水溪沖積扇之水文地質特性，參考與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分析流程，其流程架構如圖 20 所示。

圖中顯示，第一階段必須決定補注因子，以及依據選定之因子蒐集研究區域之相關資料。在選定地下水補注潛勢因子方面，乃參考相關文獻資料，配合濁水溪沖積扇之水文地質特性，採用「土地利用」、「表層土壤種類」、「降雨與地下水位相關性」、「平均年降雨量」、「單位蓄水量變化」、「水力傳導係數」以及「河系密度」等七項補注潛勢因子 (如表 1 所示)。分析架構參照類「DRASTIC 模式」概念，以前述之七項補注潛勢因子，進行補注潛勢評估。

第二階段則主要可分爲兩類平行的流程，圖中左方流程是以是否容易補注爲原則，分別建立不同因子之因子屬性與因子分數對照表，將因子屬性轉換成 0 至 100 分之因子分數；另外由於本研究以 $1km \times 1km$ 之矩形網格涵蓋整個濁水溪沖積扇，如果所蒐集之因子在空間上的解析度小於網格精度，則需利用面積加權計算各網格之單一因子補注潛勢分數；如果所蒐集之因子在空間上的解析度大於網格精度，則需要以空間內插演算法推估各網格之分數。圖中右方流程則是依據不同因子之特性，定性地訂定與繪製「補注潛勢因子關係邏輯圖」，再以因子關係邏輯圖計算對應的因子權重。當完成第二階段後，第三階段則是結合前述之因子權重與單一因子補注潛勢分數，不同因子可以加權平均計算綜合之整體補注潛勢分數。

$$AWA_{cno}(i) = \frac{\sum_{j=1}^{M_{cno}} Area(j) \times RF_i(j)}{\sum_{j=1}^{M_{cno}} Area(j)} \tag{1}$$

其中 M_{cno} 爲網格 cno 內的區塊數量。 $RF_{cno,i}(j)$ 代表第 i 種潛勢因子於第 j 區塊之因子

分數。 $Area\,(j)$ 代表第 j 個區塊的面積。 $AWA_{cno}\,(i)$ 代表第 i 種潛勢因子於網格 cno 之單一因子潛勢分數。式 (1) 是以面積加權平均的方式計算網格 cno 之單一因子補注潛勢分數。

$$TRF_{cno} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \omega\,(i) \times AWA_{cno}\,(i)}{\sum_{i=1}^{N} \omega\,(i)} \tag{2}$$

其中 $\omega\,(i)$ 代表第 i 種潛勢因子的因子權重。 N 代表補注潛勢因子的個數。 TRF_{cno} 代表在第 cno 個網格內的整體補注潛勢分數。式 (2) 則是以因子權重再次進行加權平均，將各因子之分數結合爲整體補注潛勢分數。

4.2 地下水補注潛勢因子基本資料

由於本研究採用 $1km \times 1km$ 之矩形網格涵蓋整個濁水溪沖積扇，如果所蒐集之原始資料爲區塊形式 (Polygon) 之資料，則可藉由前述之面積加權 (式 (1)) 的方式；如果所蒐集之資料爲點位形式 (Point) 之資料，則需藉由空間內插法推估各網格之數值，在此採用距離倒數平方法 (Inverse Distance to a Power) 。以下將進一步說明七項補注潛勢因子：

(1) 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，本研究將土地利用納入地下水補注潛勢因子 (如圖 21 所示)。

(2) 表層土壤種類

表層土壤種類之不同則會有不同之入滲效率，本研究以行政院農業委員會農業試驗所提供之資料，資料中分別呈現 $0-30\,(cm)$ 、 $30-60\,(cm)$ 、 $60-90\,(cm)$ 與 $90-150\,(cm)$ 之表層土壤分布，分別如圖 22 至 25 所示。由於資料記載之表層土壤共分四層，因此本研究在此先依據因子分數對照表，決定各層之因子分數，再以四層平均分數作爲表層土壤之分數。

(3) 水力傳導係數

水力傳導係數 (K, hydraulic conductivity) 爲描述水於含水層中流動之速率，其對降雨補注至含水層中扮演相當重要之因素，因此本研究將水力傳導係數列爲補注潛勢因子之一。本研究使用之水力傳導係數 K 值取自台灣地區地下水觀測網第一期計畫報告，並藉由地質鑽探所獲得之水文地質剖面圖(如圖2.2-1)，劃分出濁水溪沖積扇之概念分層含水層一、二、三、四 (F1 至 F4) 及阻水層一、二、三、四 (T1 至 T4) ，取出位於地下含水層一 (F1) 深度內 42 口地下水位觀測站，如圖 26 所示。濁水溪沖積扇 K 值最大約爲 0.12 至 0.13(m/min) 間，約位於柑園及二水站一帶。

(4) 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爲主，故本研究亦將年平均年降雨量納入地下水補注潛勢因子。本研究將以 1993 至 2008 年之年平均雨量，以距離倒數平方內插，繪製之等值線圖如圖 27 所示，降雨在空間上之趨勢由扇頂往扇尾逐漸遞減。

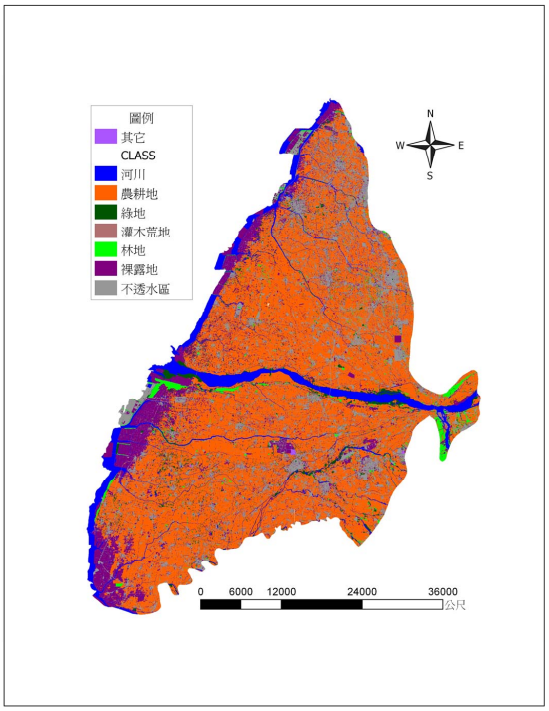


圖 21: 土地利用圖層

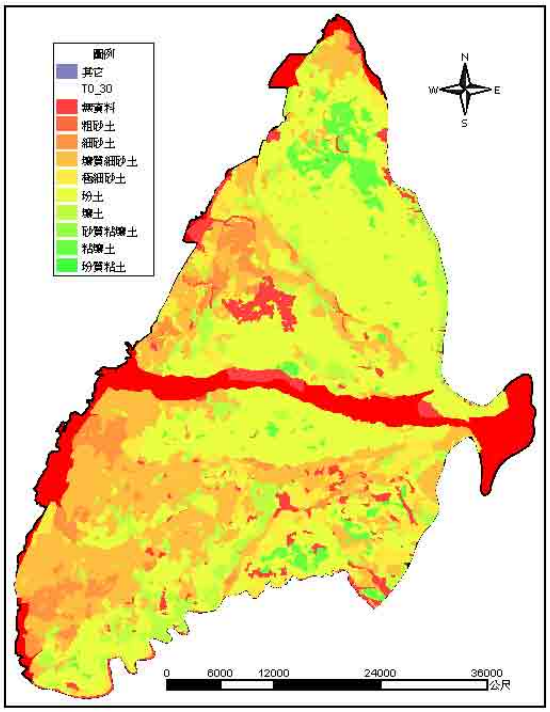


圖 22: $0-30\,(cm)$ 表層土壤種類圖

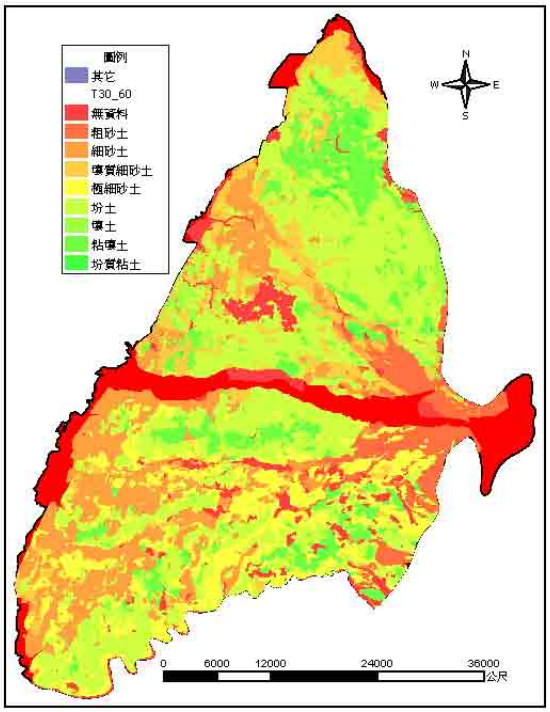


圖 23: $30-60\,(cm)$ 表層土壤種類圖

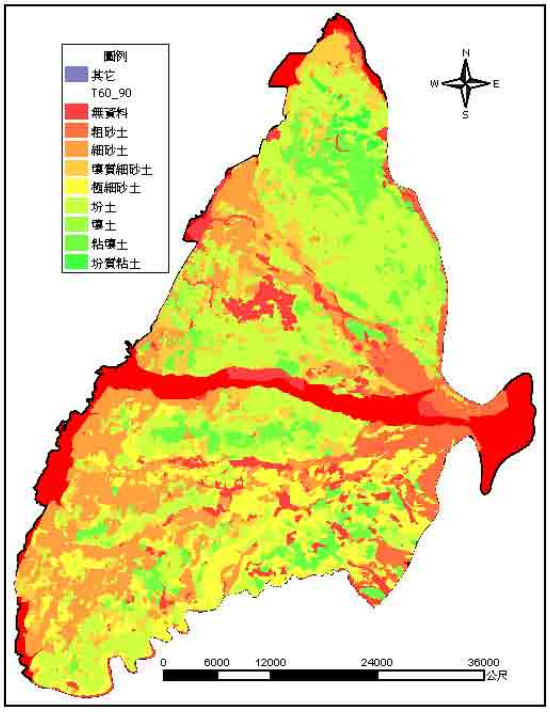


圖 24: $60-90\,(cm)$ 表層土壤種類圖

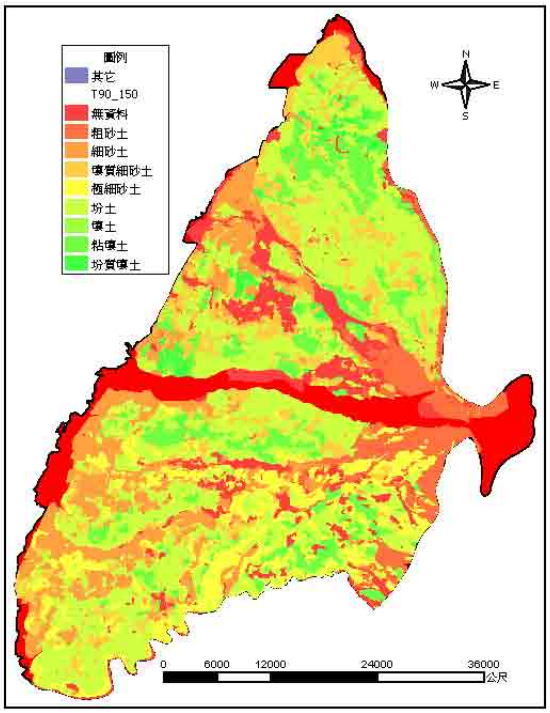


圖 25: $90-150\,(cm)$ 表層土壤種類圖

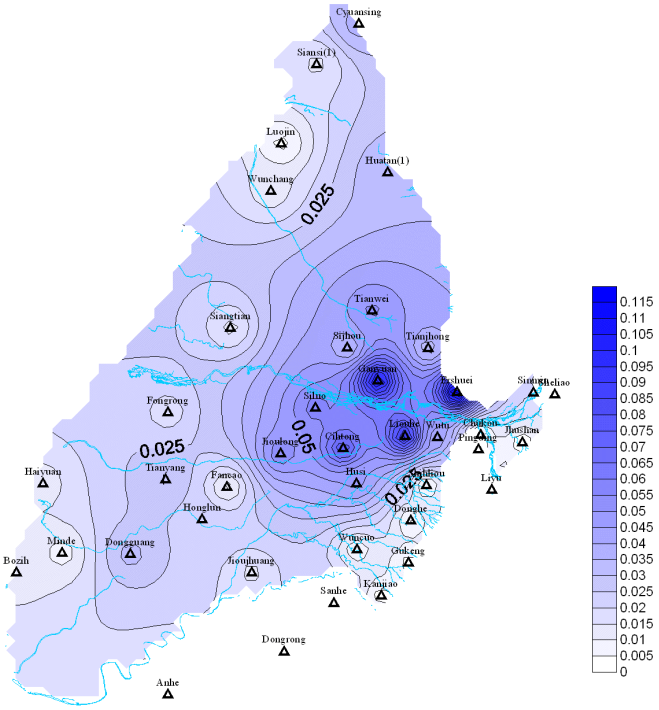


圖 26: 濁水溪沖積扇含水層一 (F1) 水力傳導係數等值線圖

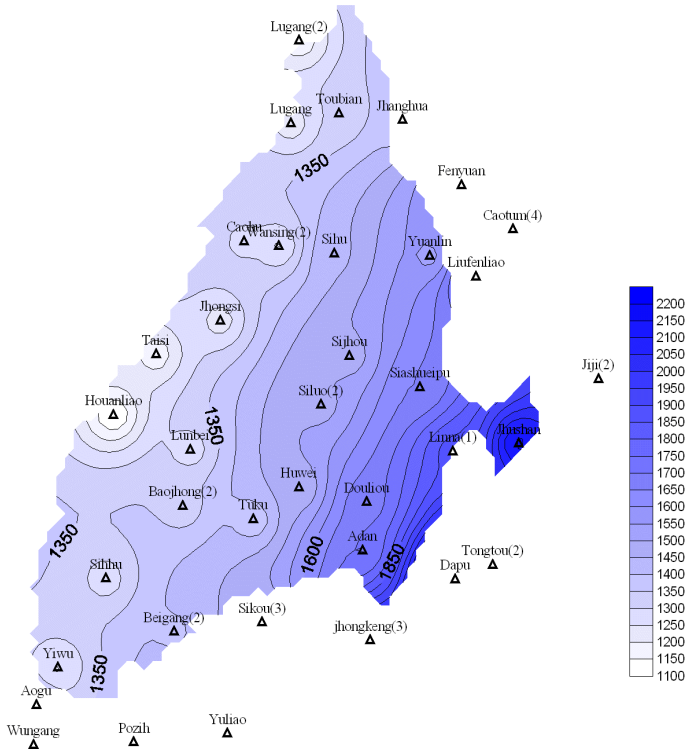


圖 27: 平均年降雨量等值線圖(mm)

(5) 河系密度

濁水溪沖積扇地下水補注主要來源爲降雨與河川補注，因此不能忽視河川補注對區域地下水補注之重要性。本研究以河系的圖資計算各網格內河系所佔之面積百分比 (如圖 28 所示)。

(6) 降雨與地下水位相關性。

本補注潛勢因子是以降雨事件發生期間之「累積降雨量」與「地下水位上升量」，將兩數列進行相關性分析。當兩者之相關性越高，則代表該區位水位上升與降雨發生頻率越同步，因此給予高補注潛勢分數。雨量資料蒐集濁水溪沖積扇區及上游集水區之雨量站，其中包括集水區 20 站以及平原區 20 站，共計 40 站，如圖 29 所示。地下水位資料則蒐集濁水溪沖積扇內之地下水位站，共計 33 站，如圖 30 所示。

實際處理上，是以「地下水位上升量」與「累積降雨量」進行線性迴歸，可以得到一個線性迴歸公式，以及該線性迴歸公式與兩數列之 R^2 ，其中線性迴歸公式之 R^2 亦等於兩數列的相關係數。

本研究之「累積降雨量」的資料型態分爲「平原區」、「山區」、「全區」與「最鄰近雨量站」四種，「平原區」資料是濁水溪沖積扇上之 20 個雨量站之平均雨量，「山區」資料則是濁水溪上游集水區之平均雨量，「全區」資料則是綜合平原區與山區之平均雨量，最後「鄰近雨量站」則是以距離作爲篩選指標，取各地下水位站最鄰近之雨量站之累積降雨量資料，本研究將各地下水位站，跟前述四類雨量資料進行相關性的分析。

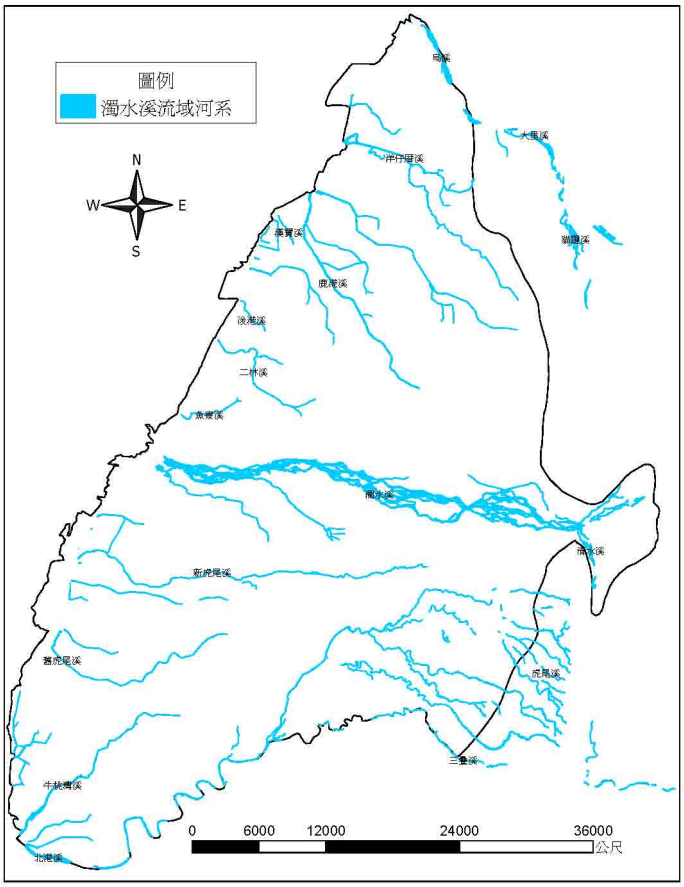


圖 28: 濁水溪流域河系圖

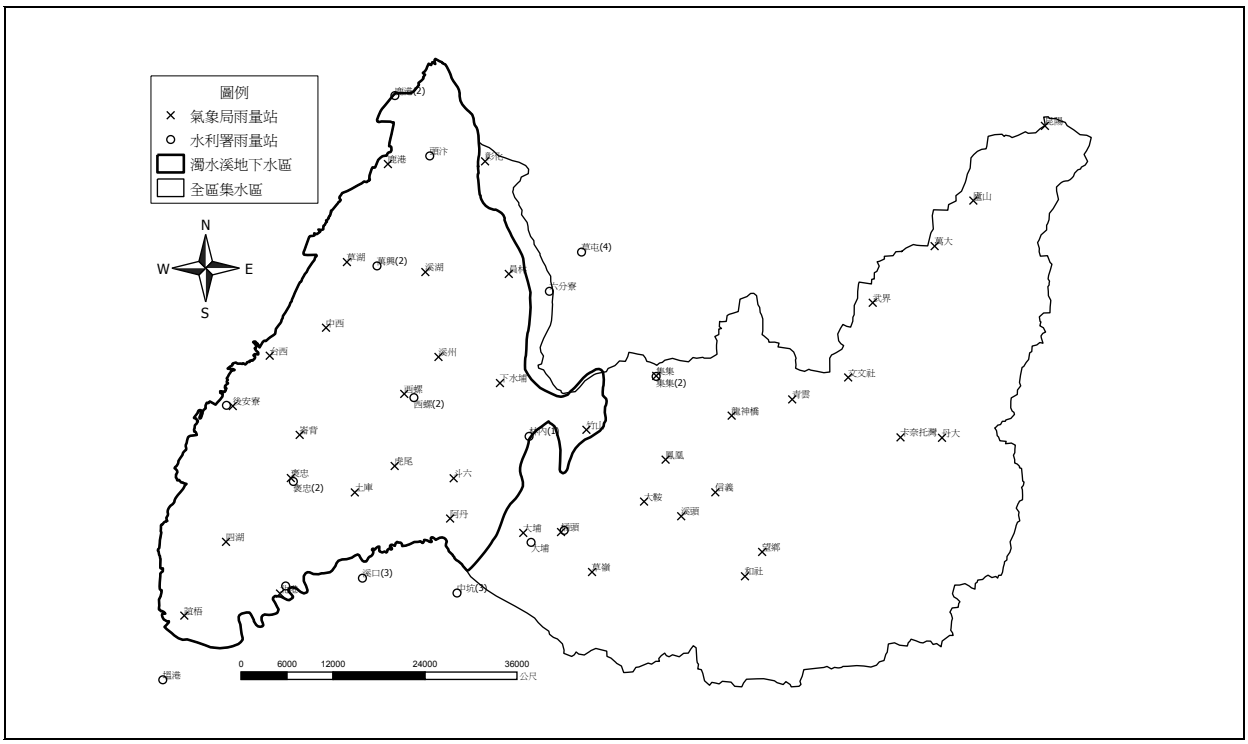


圖 29: 雨量站分布圖

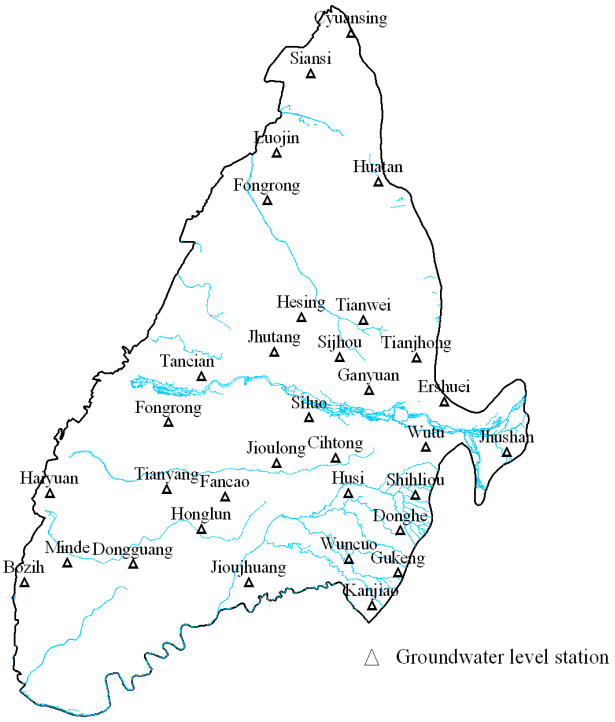


圖 30: 地下水位站分布圖

如依照地下水位站所處含水層特性分類，可分爲受壓含水層與非受壓含水層，由於受壓水層上方被阻水層阻隔，因此最鄰近之雨量站即位於阻水層之上方，由於阻水層之阻礙，使得水位變化較難受到「最鄰近雨量站」之影響，故此受壓含水層之水井僅與「平原區」、「山區」與「全區」三者進行相關性之分析。分析結果以豐榮 (1) 站爲例，其線性迴歸結果如圖 31 至 33 所示，其與「平原區」、「山區」與「全區」降雨相關性分別爲 0.804 、0.691 與 0.519 。

圖 34 是以各受壓水位站之地下水位，分別對「平原區」、「山區」、「全區」之「累積降雨量」求得 3 組不同之 R^2 值；圖 35 則是以非受壓水位站進行相關性分析。當 R^2 值越接近 1 時，代表該站附近之地下水位起伏與降雨事件發生同步性越高。

由於空間分佈及區域水文地質特性不同之關係，不同區位之地下水位，對不同「累積降雨量」資料相關性亦有不同之結果。爲展現同時展現不同水位站井之相關性分析結果，在此從「平原區」、「山區」、「全區」與「最鄰近雨量站」四組結果中，挑選相關係數最高者，繪製等值圖等值線圖(如圖 36 所示)。圖中顯示扇頂區域之地下水位上升量，與降雨事件發生之同步性最高，其特性往扇尾漸漸遞減。

(7) 單位蓄水量變化

在受壓水層與非受壓水層中，水位變化所造成之含水層中的儲蓄水量變化量受到儲水係數之影響，受壓水層與非受壓水層間之數值差異有數個因次之多。本研究在此以各站之水位時序數列，乘上當地之儲水係數，計算除蓄水量之時序數列，在此以儲蓄水量數列計算標準偏差用以評估補注潛勢。儲蓄水量標準差之大小代表當地之特性，較大之標準差則代表該地

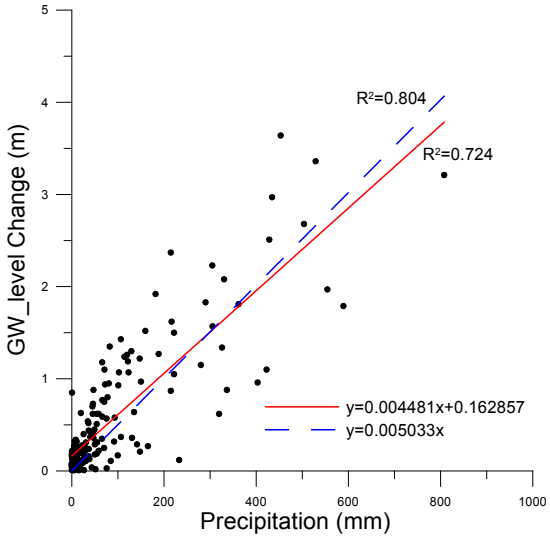


圖 31: 豐榮 (1) 站「地下水位上升量」與「累積降雨量」圖 (平原區)

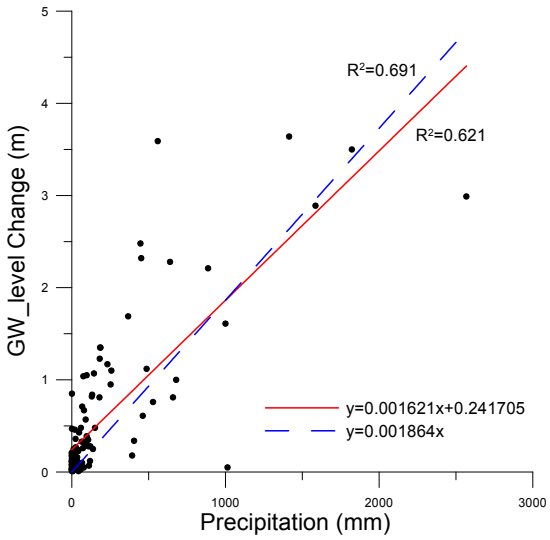


圖 32: 豐榮 (1) 站「地下水位上升量」與「累積降雨量」圖 (山區)

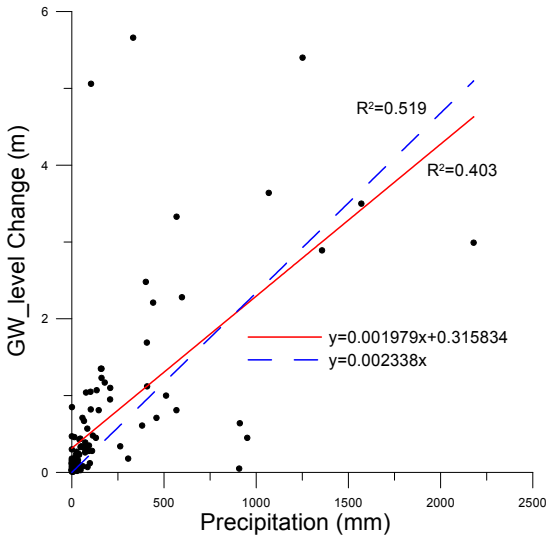


圖 33: 豐榮 (1) 站「地下水位上升量」與「累積降雨量」圖 (全區)

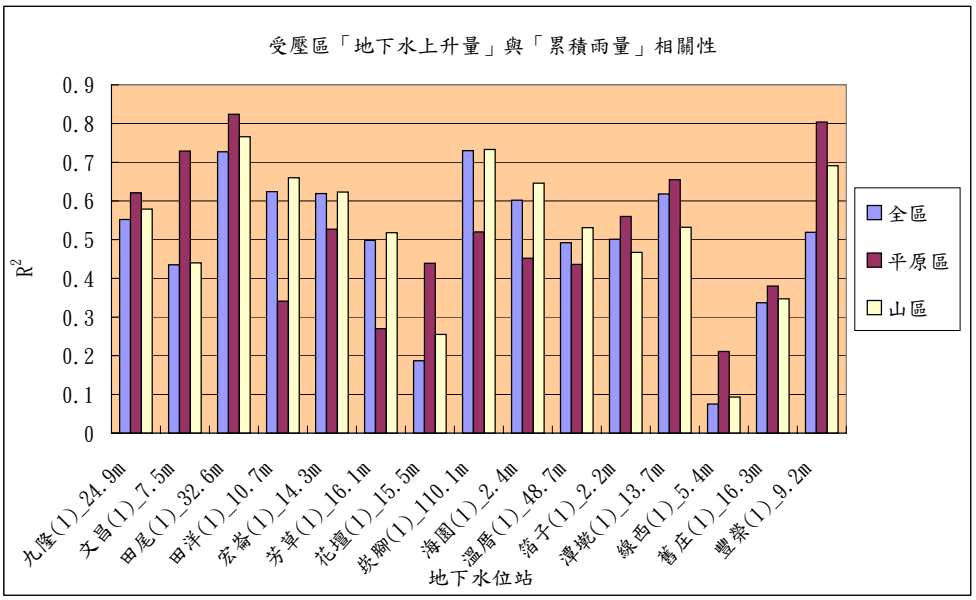


圖 34: 受壓地下水位站與各區降雨迴歸統計之 R^2 值比較圖

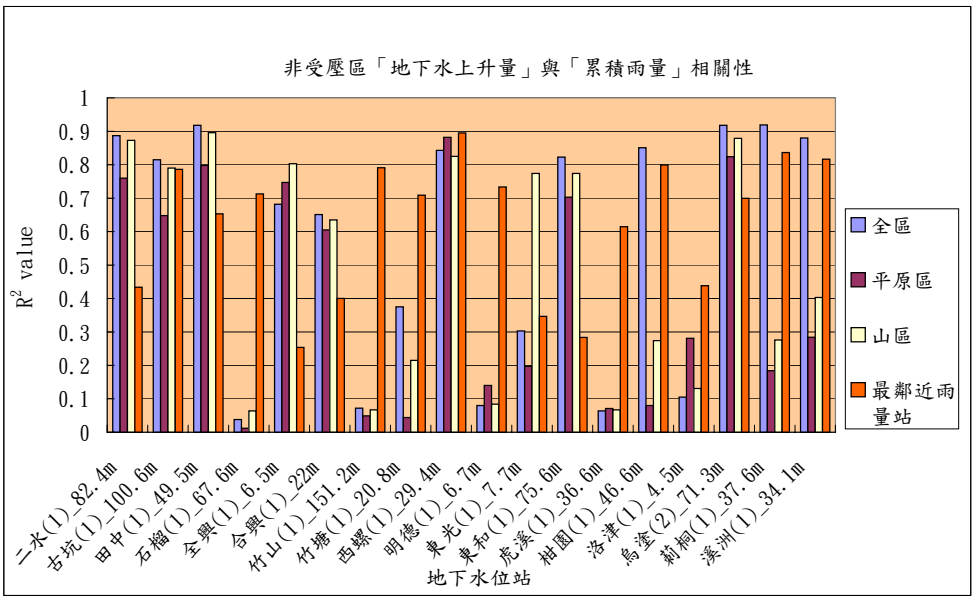


圖 35: 非受壓地下水位站與各區降雨迴歸統計之 R^2 值比較圖

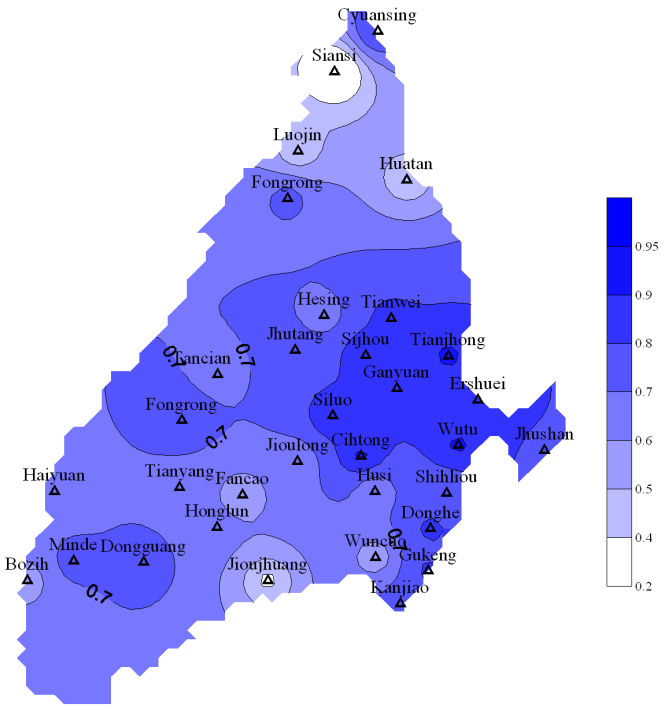


圖 36: 降雨與地下水位相關性等值圖

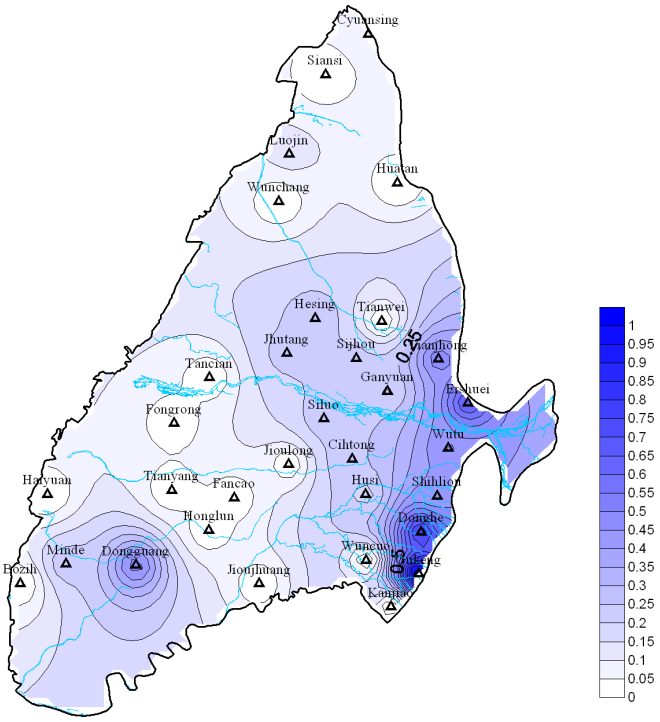


圖 37: 單位蓄水量變化等值圖 (m)

區之進出量較大。以儲蓄水量之標準偏差畫出等值圖，如圖 37 所示，圖中顯示可知在扇頂處之儲蓄水量標準差較高。

4.3 地下水補注潛勢因子相互關係

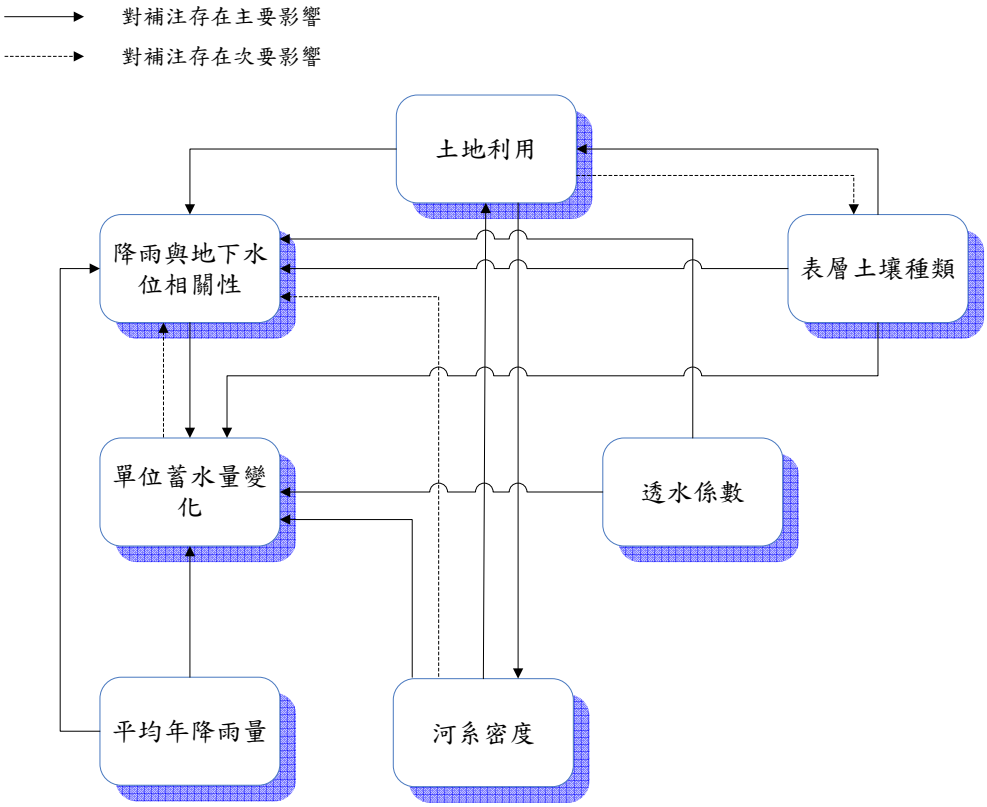


圖 38: 因子邏輯關係圖

表 2: 補注潛勢因子權重計算表

補注潛勢因子	主要影響箭尾數	次要影響箭尾數	權重值	影響百分比
土地利用	2	1	2.5	19%
表層土壤	3	0	3.0	22%
降雨與地下水位相關性	1	0	1.0	7%
平均年降雨量	2	0	2.0	15%
單位蓄水量變化	0	1	0.5	4%
透水係數	2	0	2.0	15%
河系密度	2	1	2.5	18%
		總和	13.5	

主要影響(1.0); 次要影響(0.5)

每項補注潛勢因子對地下水補注而言，其影響效力並非皆佔有相同比例，Shaban 等人 (2006) 指出各項潛勢因子之間，具有相依相存之關係。參考 Shaban et al. (2006) 與 Yeh et al. (2008) 等文獻，估算不同補注潛勢因子間權重比例。圖 38 爲補注潛勢影響因子間的因子邏輯關係圖，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「降雨與地下水位相關性」指往「單位蓄水量變化」，代表「降雨與地下水位相關

性」爲因，「單位蓄水量變化」爲果。若由物理現象來探討，假設降雨與地下水位相關性高時，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爲穩定，若有雨季與旱季之分則其水位變動則較大，因此「降雨與地下水位相關性」因子爲高相關性時，會影響地下水位之標準差，而「單位蓄水量變化」爲地下水位標準差與儲水係數之乘積，因此將到影響，故「降雨與地下水位相關性」對於「單位蓄水量變化」的關係視爲主要影響。

在「單位蓄水量變化」對「降雨與地下水位相關性」爲次要影響部分，「單位蓄水量變化」爲因，「降雨與地下水位相關性」爲果。「單位蓄水量變化」爲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，故分爲主要影響與次要影響兩種。

由圖 38 可以明顯表示各項影響補注潛勢因子間之影響關係，爲探討不同影響因子影響力的大小比例，在此給予主要影響較大的影響比例，設定爲 1.0 ，而次要影響則給予 0.5 之影響比例。計算主要影響箭尾個數與次要影響箭尾個數，可累計該影響因子的影響比例。以「土地利用」因子爲例，其有二個主要影響箭尾與一個次要影響箭尾，因此其影響比例即爲 2.5 。最後再將各影響因子之影響比例除以所有影響因子之影響比例和，即爲各因子之因子權重，七因子之權重百分比如表 2 所示。

4.4 地下水補注潛勢因子屬性與因子分數對照

表 3: 因子屬性與因子分數對照表 (一)

地下水補注潛勢因子	代碼	分類與範圍	分數
土地利用	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
表層土壤種類	11	石礫	100
	1	粗砂土	90
	2	細砂土	80
	3	壤質細砂土	70
	4	極細砂土	60
	5	坋土	50
	6	壤土	40
	7	砂質粘壤土	40
	8	粘壤土	30
	9	坋質粘土	20
	10	粘土	10
降雨與地下水位相關性	1	$0.22 - 0.33$	20
	2	$0.33 - 0.45$	40
	3	$0.45 - 0.56$	60
	4	$0.56 - 0.68$	80
	5	$0.68 - 0.79$	90
	6	$0.79 - 0.92$	100
平均年降雨量	1	$1114 - 1330$	20
	2	$1330 - 1545$	40
	3	$1545 - 1760$	60
	4	$1760 - 1976$	80
	5	$1976 - 2192$	100
單位蓄水量變化	1	$0 - 0.19$	20
	2	$0.19 - 0.38$	40
	3	$0.38 - 0.58$	60
	4	$0.58 - 0.77$	80
	5	$0.77 - 0.97$	100

完成定義各潛勢因子的因子權重後，接下來必須將定義各因子的因子屬性與因子分數對照表 (即圖 20 之步驟2)。在此以 0 至 100 分爲給分範圍，以容易補注或大量補注者，給定較高分數；反之則給定較低分數。表 3 與 4 爲補注潛勢因子之因子屬性與因子分數對照表。圖 39 至 45 分別爲以 $1km \times 1km$ 矩形網格呈現之七項因子分數圖。後續以加權平均方式決定各因子之加權分數，圖 39 至 45 爲各因子分數分布。

表 4: 因子屬性與因子分數對照表 (二)

地下水補注潛勢因子	代碼	分類與範圍	分數
水力傳導係數	1	$0-0.02$	20
	2	$0.02-0.04$	40
	3	$0.04-0.06$	60
	4	$0.06-0.9$	80
	5	$0.9-0.12$	100
河系密度	1	$0-7$	10
	2	$7-14$	20
	3	$14-21$	30
	4	$21-28$	40
	5	$28-35$	50
	6	$35-42$	60
	7	$42-49$	70
	8	$49-56$	80
	9	$56-63$	90
	10	$63-72$	100

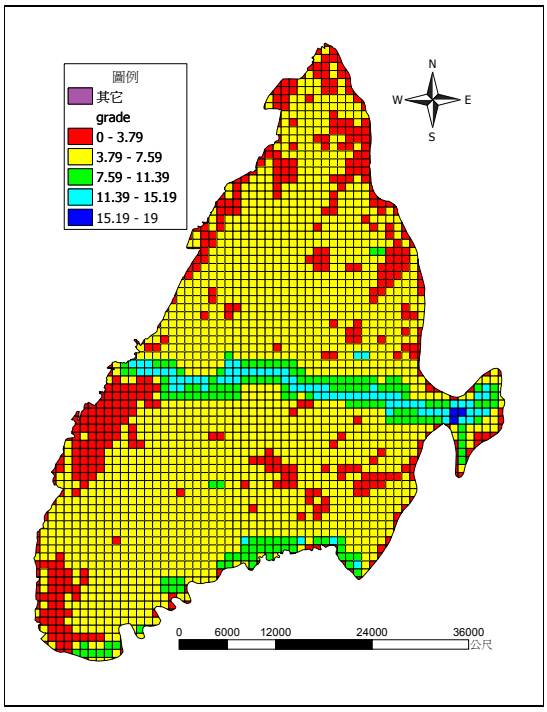


圖 39: 加權後土地利用潛勢分數分布圖

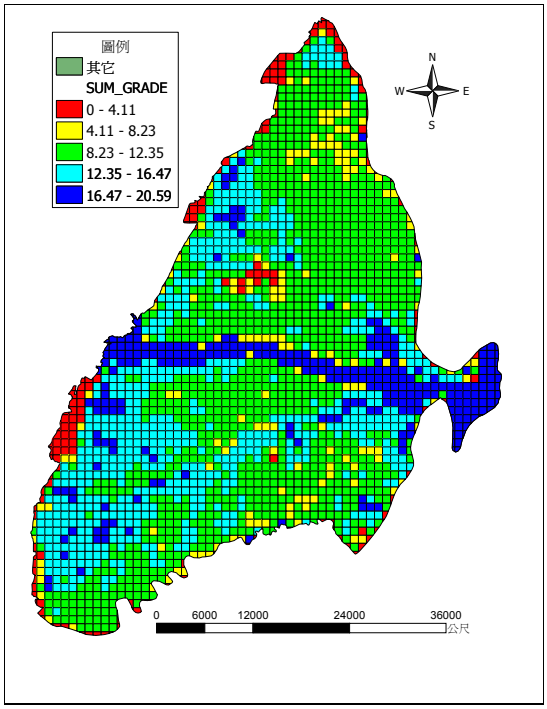


圖 40: 加權後表層土壤種類潛勢分數分布圖

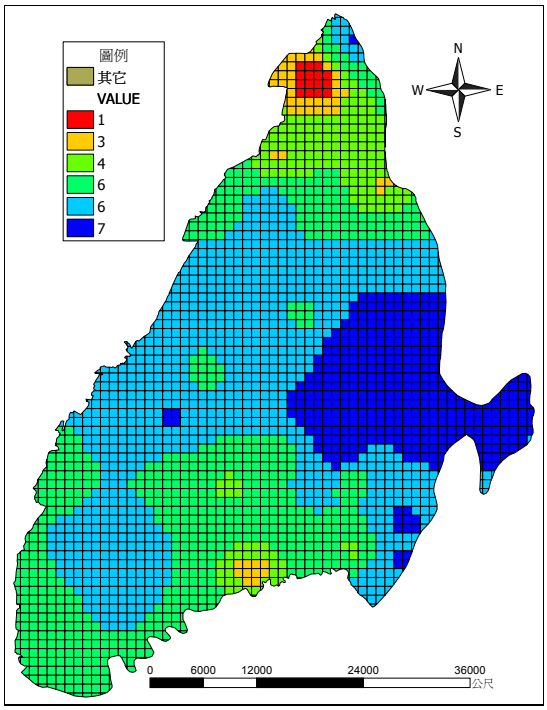


圖 41: 加權後降雨與地下水位相關性潛勢分數分布圖

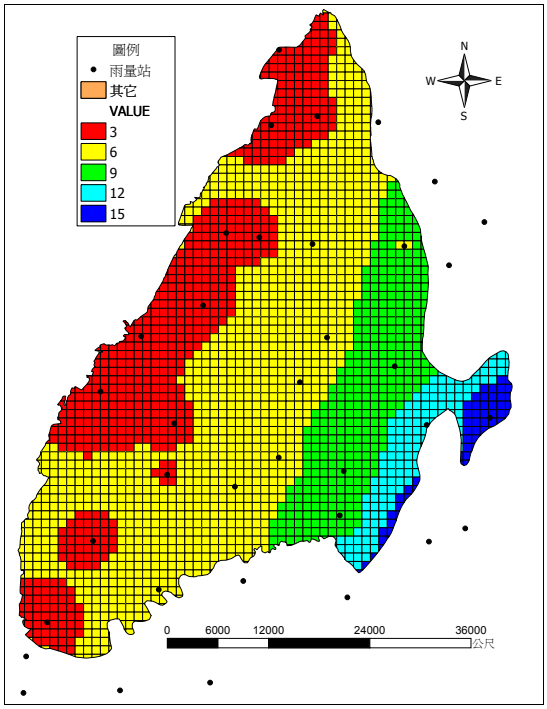


圖 42: 加權後年降雨量潛勢分數分布圖

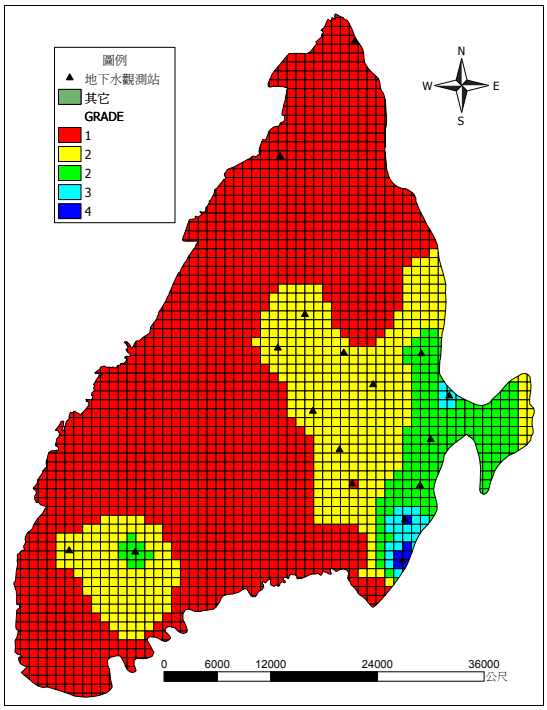


圖 43: 加權後單位蓄水量變化潛勢分數分布圖

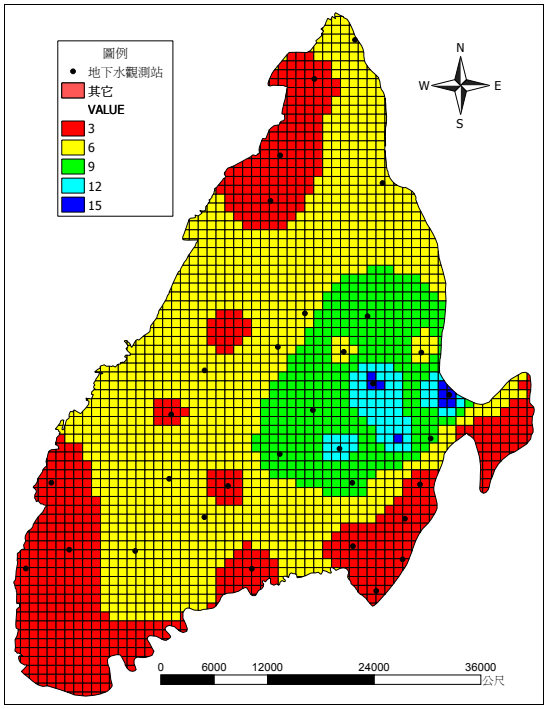


圖 44: 加權後水力傳導係數潛勢分數分布圖

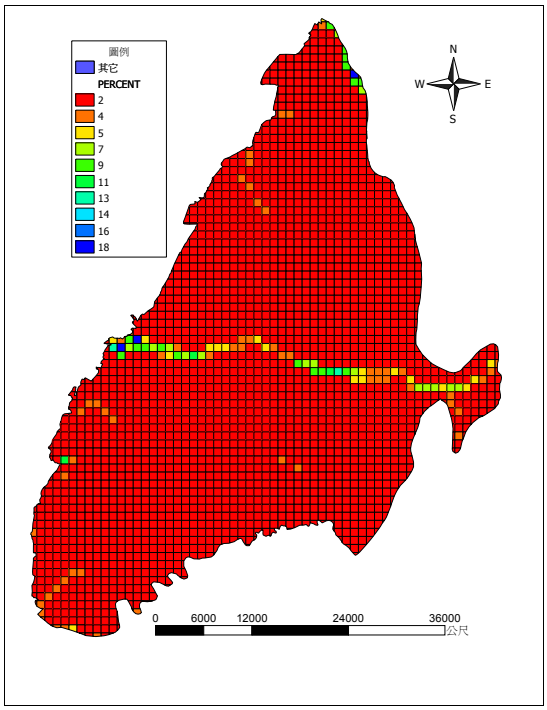


圖 45: 加權後河系密度潛勢分數分布圖

4.5 地下水補注潛勢

在前述 4.4 節完成濁水溪沖積扇各補注潛勢因子之分數計算後，將各因子分數分別根據 4.3 節所述之權重百分比加權相加，即可得到整個區域內各個網格之補注潛勢分數，再搭配表 5 對各網格進行補注潛勢分級，分級成果如圖 46 所示。將圖 46 套疊鄉鎮邊界圖後，由圖 47 可看出中等以上之補注潛勢分布的鄉鎮有彰化縣的二水鄉、溪州鄉、和雲林縣的莿桐鄉、林內等扇頂鄉鎮。

表 5: 地下水補注潛勢分數分級表

地下水補注潛勢分數	分級
大於80	很高(Very High, VH)
介於70到80之間	高(High, H)
介於60到70之間	中高(High Moderate, HM)
介於50到60之間	中(Moderate, M)
介於40到50之間	中低(Low Moderate, LM)
介於30到40之間	低(Low, L)
小於30	很低(Very Low, VL)

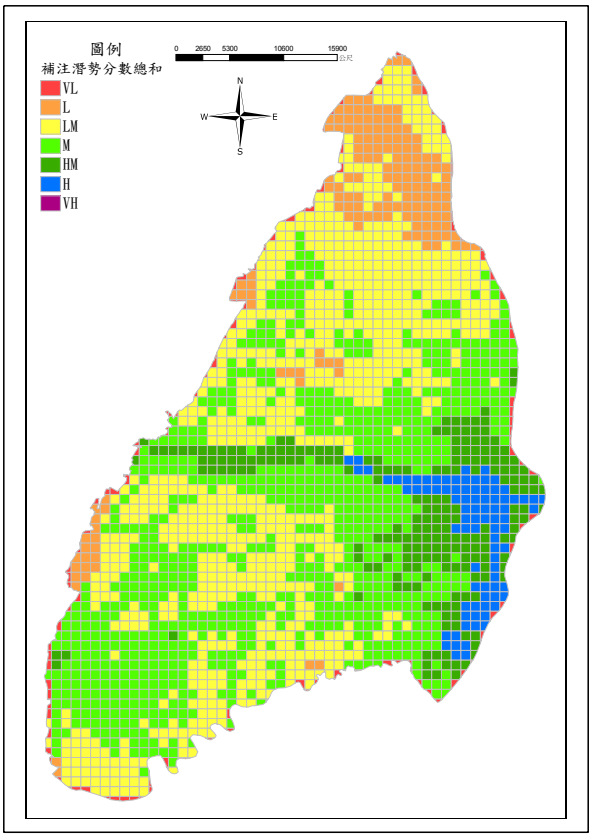


圖 46: 補注潛勢分布圖

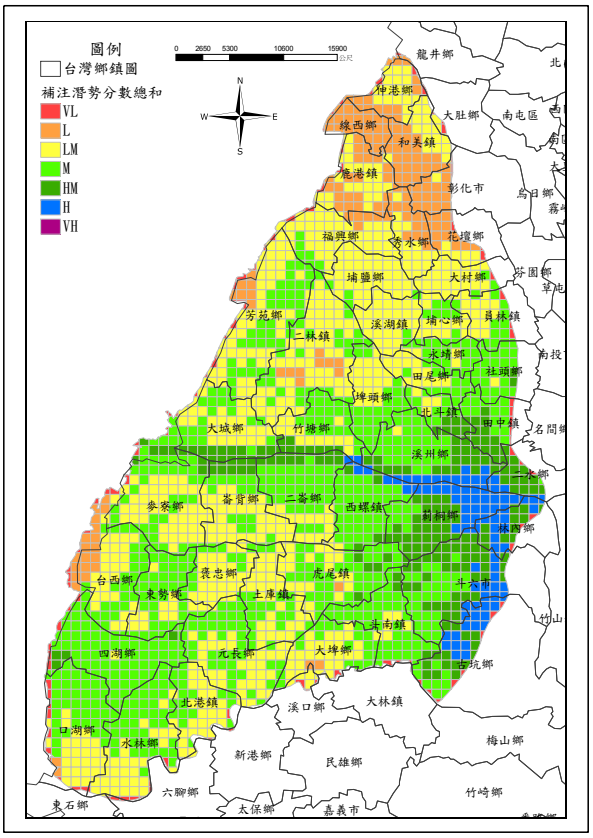


圖 47: 補注潛勢分布圖暨鄉鎮分區圖

第五章　結論與建議

5.1　結論

1. 本研究以成功完成濁水溪沖積扇數值模式之建置與區域補注潛勢之評估，充分掌握區域之地下水特性。

2. 在穩態數值模式之建置與率定上，率定水位採民國 89 年至 96 年之觀測水位平均值，模式之模擬水位可充分掌握觀測水位變化趨勢。檢定後之補注量與抽水量空間分布顯示，補注量部分大致上集中於扇頂區域之第一含水層；抽水量部分則與工業區之分佈位置有關。

3. 在補注潛勢評估方面，本研究使用類DRASTIC之潛勢計算方法，綜合考量「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」等七項補注潛勢因子，進行濁水溪沖積扇之補注潛勢評估。

4. 本研究採用 Shaban 等人提出之「因子邏輯關係圖」界定七項因子之相互影響關係，並進一步訂定不同因子間的影響權重百分比。

5. 補注潛勢評估結果中，中等以上之補注潛勢分布於彰化縣社頭、田中、溪州、二水，與雲林縣莿桐、林內及南投縣竹山等扇頂鄉鎮，分布趨勢與穩態數值模式之結果符合。

5.2 建議

1. 補注潛勢於各項因子之原始屬性轉換爲補注分數之轉換過程，其轉換對照表初步以主觀方式訂定，後續可考量其他指標（如硝酸鹽濃度等）釐清補注分布。

第六章　參考文獻

1. 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.

2. National Water Well Association,"DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings",USEPA,May 1985.

3. Schwartz, F.W., and Zhang, H. (2003) Fundamentals of ground water, John Wiley Sons, New York.

4. 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.

5. 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.

6. 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。

7. 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。

8. 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。

9. 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。

10. 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。

11. 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。

12. 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。

13. 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。

14. 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。

15. 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。

16. 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。

17. 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。

18. 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。

19. 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。

20. 陳文福、林文勝、張國強、秦啓文、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。

21. 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。

22. 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。

23. 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。

24. 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

25. 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。

26. 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。

27. 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。

28. 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。

29. 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。

30. 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。

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估 ■ 達成目標 □ 未達成目標（請說明，以 100 字為限） □ 實驗失敗 □ 因故實驗中斷 □ 其他原因 說明：
2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形： 論文：□已發表 □未發表之文稿 ■撰寫中 □無 專利：□已獲得 □申請中 ■無 技轉：□已技轉 □洽談中 ■無 其他：國際研討會數篇
3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限） 本研究應用多種智慧型演算法於地表地下聯合營運中，其中包含遺傳演算法、類神經網路與模糊推論，其中類神經網路可應用於地表地下聯合營運之中，取代地下水數值模式，降低聯合營運模式之整體計算量；相較於傳統非線性規劃，遺傳演算法無須推導系統之導函數，建構上較有彈性；模糊推論則可運用於不同系統間之操作調度，在維持一定之調度效能下，可大幅降低計算複雜度。

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：99 年 10 月 31 日

計畫編號	NSC　98－2625－E－009－005－		
計畫名稱	乾旱時期用水分配模式之研究--子計畫:乾旱時期地面水與地下水聯合運用作業模式研發(I)		
出國人員姓名	張良正	服務機構及職稱	國立交通大學土木工程學系教授
會議時間	99 年 12 月 14 日至 99 年 12 月 18 日	會議地點	舊金山
會議名稱	(中文)2009 AGU 秋季年會 (英文)AGU Fall Meeting 2009		
發表論文題目	(中文)整合進化型演算法與線性規劃於地表地下聯合營運之應用 (英文) Integrating Evolution Algorithms with Linear Programming to the Conjunctive Use of Surface and Subsurface Water		

一、參加會議經過

- 12/14：

在 Keynote 演講部分，Bibring 先生以火星探險作為會議首日之開場。

- 12/15：

演講範疇則從二氧化碳的濃度變化，到未來之水、氣候與氣象變化，內容精湛值得深入思考。

- 12/16 與 12/17：

這兩日的演講範疇則漸漸著重於地質部分，雖然並非水利領域，但不同學門仍可給予啟發。

二、與會心得

AGU 秋季會議歷史悠久，向為國際上地質、地球科學或水利相關學門最重要的會議之一，本次的會議中，來自世界各國超過 16,000 位專家學者，發表了成千上萬的研究成果，本團隊與其它研究相互交流亦有豐碩的收獲。

另外，由 AGU 會議安排的主題與演講中可以發現，AGU 對於目前趨勢與基礎研究並重，並未有因趕流行而追逐議題的情形。氣候變遷為目前氣象、水文與水資源方面的重大議題，本次大會其亦為重點之一，惟其它基礎而重要的研究工作成果仍佔多數，顯現此大型學術組織永續經營的態度與作法。此外，AGU 對於年青學生與學者特別重視，除了安排教育訓練課程外，並為其舉辦相關交誼活動，此點可供國內舉辦相關活動的參考。

三、考察參觀活動(無是項活動者略)

四、建議

1. 本次研討會我國政府公家單位參加甚少，應多加鼓勵其參與此類活動。
2. 相關研討會資訊應能容易取得，互相整合，最好有一機構彙整，定期公佈，以利擴大參與。
3. 能參加國際會議並與與會學者先進交流及互動，相信對一個(碩)博士生是非常有幫助的，希望教育部及各學校單位對於出國參加研討會之補助經費能提供更充分的支援，以鼓勵學生多參與國際之學術活動。

五、攜回資料名稱及內容

1. American Geophysical union 2008 Fall Meeting 會議議程一本:為此次 AGU 2009
2. Fall Meeting 年會之議場之所有資訊包含議程、場次及場地之相關資訊
3. 2. 本會議所有文章之摘要皆可由 AGU 2009 Fall Meeting 之官網下載

六、其他

本團隊參與本次大會海報展示部份，摘要如下:

Integrating Evolution Algorithms with Linear Programming to the Conjunctive Use of Surface and Subsurface Water

Liang-Cheng Chang Yu-Wen Chen Chen-Che Pan

Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University, Taiwan, ROC

ABSTRACT

Surface water resources are strongly influenced by hydrological conditions, and using only surface water resources as water supplies may have higher shortage risk than before because of the climate change caused by the global warming. Conjunctive use of surface and subsurface water is one of the most effective water resource practices to increase water supply reliability with minimal cost and environmental impact. Therefore, this paper presents a novel stepwise optimization model for optimizing the conjunctive use of surface and subsurface water resources management.

At each time step, a two level decomposition approach was proposed to divide the nonlinear optimal conjunctive use problem into a linear surface water sub-problem and a nonlinear groundwater sub-problem. Because of the two level decomposition approaches, a hybrid framework is used for the implementation of the conjunctive use model. In the hybrid framework, evolution algorithms, Genetic Algorithm (GA) and Artificial Neural Network (ANN), and Linear Programming (LP) are used for model solving. GA and LP are respectively used for determining the optimal pumping quantities and reservoir allocation, and ANN is used for the groundwater simulation. In the groundwater simulation, this study uses an ANN to simulate groundwater response and greatly reduce computational loading for unconfined aquifers, unlike conventional “response matrix method” or “embedding method”. Because of the very high performance of LP, the usage of LP for the linear surface water sub-problem can significantly decrease the computational burden of entire model.

In this study, four cases have been demonstrated. Case #1 is a pure surface water case and others are conjunctive use cases. In Case #2, “surface water supply firstly” is the supply principle between surface water. In Case #3 and #4, the “Index Balance” theory is the supply principle and different operation curves used in different cases respectively. The case result has been compared as below. First, the case comparison between Case #1 and #2 indicates that a small but reliable groundwater supply can significantly decrease the water supply risk. With

“surface water supply firstly” policy, an additional groundwater supply, whose maximum supply capacity is just 8.67% of the total water demand, can significantly decrease the shortage index (SI) from 2.93 to 1.54. Second, these comparisons between Case #2 and #3 or #2 and #4 demonstrate that extending the principle of “rule curve” operation to groundwater supply can dynamically balance the use of groundwater and surface water resources. Therefore, the “rule curve” operation for groundwater also can further increase the operating efficiency of water supply. Because of the higher operating efficiency of the proposed model, the SI can significantly decrease to 1.13 or 0.79 depend on different rule curve of groundwater. Finally, because of the usage of the hybrid framework and ANN, the computational efficiency of proposed model is higher than other models with purebred framework or traditional groundwater simulation. Therefore, the proposed model has ability to extend to solve a complicated large field problem and also will be a valuable tool for conjunctive surface and subsurface operations planning.

H23C-0974

Author : Liang-Cheng Chang 1 Yu-Wen Chen 2 Chen-Che Pan 3

Integrating Evolution Algorithms with Linear Programming to the Conjunctive Use of Surface and Subsurface Water

2009 AGU Fall Meeting

Introduction

1. The changing climate make the happen frequency of water supply shortage increases than before.
2. Only using surface water resource is easily effected under extreme climate condition and also associates with high supply risk.
3. On the contrary, because the relationship between groundwater resource and rainfall quantity is not so close, conjunctive use between surface and subsurface water can make water supply stable.

Methodology

A hybrid algorithm is proposed for the conjunctive use model of surfaceand subsurface model.

- Model Architecture

- Artificial Neural Network: Ggroundwater system (the groundwater transfer function)
- Linear Programming :Gsurface water system (determine the reservoir supply amount)
- Genetic Algorithm :Gthe bridge between surface water and subsurface water system (determine the pumping rates)

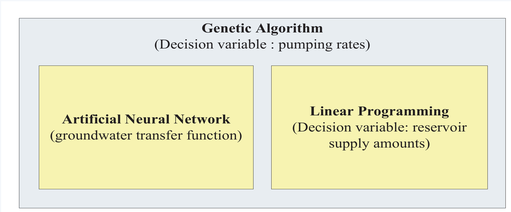


figure1 : The model architecture for CUMM.

- Model Objective Function (Original)

$$Z^t_{CUMM} = \min_{\vec{X}^t, \vec{P}^t} \sum_{j=1}^{N_d} \omega_{SH,j} SHR^t_j + \omega_{GAP} \sum_{m=1}^{N_s} \sum_{n=1}^{N_s} GAP^t_{SW,mn} + \omega_{GAP} GAP^t_{SYS} + \omega_{SL} \sum_{i=1}^{N_s} \left(SL^t_{SW,i} + SL^t_{GW} \right)$$

- X^t_k : means water supply quantity of the k-th linkage at the t-th time step and also is the decision variable
- P^t_k : means groundwater pumping quantity of the k-th well and also is one of the decision variables
- SHR^t_i : means the ratio of water shortage to water demand for the i-th demand node
- $GAP^t_{SW,mn}$: means index value discrepancy between the m-th and the n-th reservoir
- GAP^t_{SYS} : means index value discrepancy between surface water system and groundwater system
- $SL^t_{SW,j}$: means ratio of spare volume to system capacity for the j-th reservoir
- SL^t_{GW} : means ratio of spare volume to system capacity for groundwater system
- $\omega_{SH,j}$ ω_{GAP} and ω_{SL} : are assigned to present the priority between different sub-objects

- Modified Model Objective Function for Hybrid Algorithm

The entire problem can be divided into a primary sub-problem and secondary sub-problem.

- Primary sub-problem (solved by Genetic Algorithm)

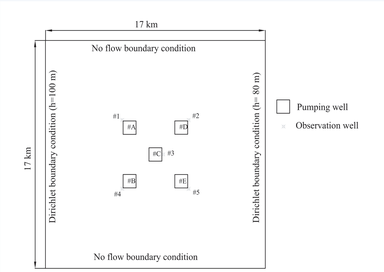
$$Z^t_{CUMM} = \min_{\vec{P}^t} \left[J^\star\left(\vec{P}^t\right) + \omega_{GAP} GAP^t_{SYS} + \omega_{SL} SL^t_{GW} \right]$$

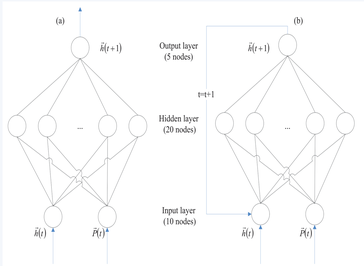
- Secondary sub-problem (solved by Linear Programming)

$$J^\star\left(\vec{P}^t\right) = \min_{\vec{X}^t} \sum_{j=1}^{N_d} \omega_{SH,j} SHR^t_j + \omega_{GAP} \sum_{m=1}^{N_s} \sum_{n=1}^{N_s} GAP^t_{SW,mn} + \omega_{SL} \sum_{i=1}^{N_s} SL^t_{SW,i}$$

- Groundwater ANN model development

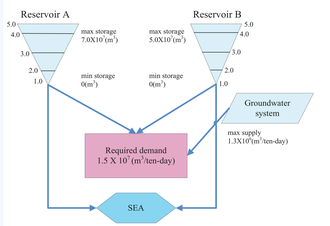
A recursive ANN model is used to simulate the relationship between groundwater level and pumping. The training and verification data for ANN is collected from a numerical model, MODFLOW 96, and groundwater system structure is shown as Fig. 2. The structure of the ANN model for training stage and prediction stage are shown as Fig. 3. The input nodes contain state variables, $\vec{h}(t)$, and decisionvariables , $\vec{P}(t)$ and the output nodes just contain state variables, $\vec{h}(t+1)$ In the prediction stage, the structure of recursive ANN model needs to be modified as Fig. 3(b). Similar with the traditional numerical models, the results calculated from output nodes are recursively assigned to the input nodes for the next step simulation.





Numerical Cases

Three cases have been presented in this study (shown as Table 4. Case #1 is a case of surface water independent operation and Case #2 and #3 are cases of conjunctive use operation. In Case #2, the wells just supply while the surface system is empty by using "surface water supply firstly" policy. In Case #3, the supply policy is determined by our proposed model, CUMM.



	Operation form	Model usage
Case # 1	Surface water independent operation(SW)	SWAM
Case # 2	Decoupled conjunctive use operation(DCU)	CUMM
Case # 3	Coupled conjunctive use operation(CCU)	CUMM

	Case #1	Case #2	Case #3
Case type	SW	DCU	CCU
Shortage index (SI)	2.93	1.54	1.13
Number of supply shortage step (SSSN)	135	125	111
Average requirement quantity ($\times 10^3\ m^3/10\ days$)	15,000	15,000	15,000
Average supply amount of surface water system ($\times 10^3\ m^3/10\ days$)	13,550 (90.33%)	13,550 (90.33%)	13,480 (89.87%)
Maximum supply productivity of groundwater system ($\times 10^3\ m^3/10\ days$)	0 (0%)	1,300 (8.67%)	1,300 (8.67%)
Average supply amount of groundwater system ($\times 10^3\ m^3/10\ days$)	0 (0%)	480 (3.20%)	680 (4.53%)
Average production efficiency of groundwater system	0%	36.87%	52.31%
Average supply amount of the conjunctive use system	13,550 (90.33%)	14,030 (93.53%)	14,160 (94.40%)

Cases Result

Comparing Case #1 and #2, an additional groundwater supply, whose maximum supplycapacity is just 8.67\% of the total water demand, can significantly decrease the shortageindex (SI) from 2.93 to 1.54.

- Comparing Case #2 and #3, the higher operating efficiency of the proposed model make the system SI significantly decrease to 1.13.
- Because of the usage of the hybrid framework and ANN, the computational efficiency of proposed model is higher than other models with purebred framework or traditional groundwater simulation.
- The proposed model has ability to extend to solve a complicated large field problem andalso will be a valuable tool for conjunctive surface and subsurface operations planning.

Liang-Cheng Chang
Professor of Department of the Civil Engineering, National Chiao Tung University, 1001 University Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC
email : lcchang31938@gmail.com

Yu-Wen Chen
Post-Doctor of Department of the Civil Engineering, National Chiao Tung University, 1001 University Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC
email : bsjacky@gmail.com

Chen-Che Pan
PhD. candidate of Department of the Civil Engineering, National Chiao Tung University, 1001 University Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC
email : panchenche@gmail.com

出國報告(出國類別：開會)

赴美國舊金山參加2009 AGU秋季會議

服務機關：國立交通大學

姓名職稱：張良正教授

派赴國家：美國(舊金山)

會議日期：99年 12月 14日至 12月 18日

目錄

目錄 1
壹、前言 2
貳、會議行程 2
參、工作內容 3
肆、心得與建議 7

壹、 前言:

AGU Fall Meeting 歷史悠久，為國際上地質、地球科學與水利等相關領域最重要的會議之一，本屆會議日期為 2009 年 12 月 14 日至 18 日共計 5 日，超過 16,000 相關研究人員參與盛會，合計共有 15,815 篇研究參與報告，會議型式包括口頭簡報與海報張貼兩種，由於篇數與人數眾多，因此本會議多採海報張貼形式，一個上午可同時有數千篇海報進行張貼，可於最短的時間內初步對於研究潮流有所掌握。

在會議的統計資料顯示，本屆之 15,815 篇研究中，其中以水利(Hydrology)與地球科學(Atmospheric Science)佔多數，兩者之比例分別為 12.2%與 11.1%

貳、 會議行程:

- 12/14：

在 Keynote 演講部分，Bibring 先生以火星探險作為會議首日之開場。

- 12/15：

演講範疇則從二氧化碳的濃度變化，到未來之水、氣候與氣象變化，內容精湛值得深入思考。

- 12/16 與 12/17：

這兩日的演講範疇則漸漸著重於地質部分，雖然並非水利領域，但不同學門仍可給予啟發。

參、 工作內容:

本團隊參與本次大會海報展示部份，摘要如下:

Integrating Evolution Algorithms with Linear Programming to the Conjunctive Use of Surface and Subsurface Water

Liang-Cheng Chang Yu-Wen Chen Chen-Che Pan

Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University, Taiwan, ROC

ABSTRACT

Surface water resources are strongly influenced by hydrological conditions, and using only surface water resources as water supplies may have higher shortage risk than before because of the climate change caused by the global warming. Conjunctive use of surface and subsurface water is one of the most effective water resource practices to increase water supply reliability with minimal cost and environmental impact. Therefore, this paper presents a novel stepwise optimization model for optimizing the conjunctive use of surface and subsurface water resources management.

At each time step, a two level decomposition approach was proposed to divide the nonlinear optimal conjunctive use problem into a linear surface water sub-problem and a nonlinear groundwater sub-problem. Because of the two level decomposition approaches, a hybrid framework is used for the implementation of the conjunctive use model. In the hybrid framework, evolution algorithms, Genetic Algorithm (GA) and Artificial Neural Network (ANN), and Linear Programming (LP) are used for model solving. GA and LP are respectively used for determining the optimal pumping quantities and reservoir allocation, and ANN is used for

the groundwater simulation. In the groundwater simulation, this study uses an ANN to simulate groundwater response and greatly reduce computational loading for unconfined aquifers, unlike conventional "response matrix method" or "embedding method". Because of the very high performance of LP, the usage of LP for the linear surface water sub-problem can significantly decrease the computational burden of entire model.

In this study, four cases have been demonstrated. Case #1 is a pure surface water case and others are conjunctive use cases. In Case #2, "surface water supply firstly" is the supply principle between surface water. In Case #3 and #4, the "Index Balance" theory is the supply principle and different operation curves used in different cases respectively. The case result has been compared as below. First, the case comparison between Case #1 and #2 indicates that a small but reliable groundwater supply can significantly decrease the water supply risk. With "surface water supply firstly" policy, an additional groundwater supply, whose maximum supply capacity is just 8.67% of the total water demand, can significantly decrease the shortage index (SI) from 2.93 to 1.54. Second, these comparisons between Case #2 and #3 or #2 and #4 demonstrate that extending the principle of "rule curve" operation to groundwater supply can dynamically balance the use of groundwater and surface water resources. Therefore, the "rule curve" operation for groundwater also can further increase the operating efficiency of water supply. Because of the higher operating efficiency of the proposed model, the SI can significantly decrease to 1.13 or 0.79 depend on different rule curve of groundwater. Finally, because of the usage of the hybrid framework and ANN, the computational efficiency of proposed model is higher than other models with purebred framework or traditional groundwater simulation. Therefore, the proposed model has ability to

extend to solve a complicated large field problem and also will be a valuable tool for conjunctive surface and subsurface operations planning.

H23C-0974

Author : Liang-Cheng Chang 1 Yu-Wen Chen 2 Chen-Che Pan 3

Integrating Evolution Algorithms with Linear Programming to the Conjunctive Use of Surface and Subsurface Water

2009 AGU Fall Meeting

Introduction

1. The changing climate make the happen frequency of water supply shortage increases than before.
2. Only using surface water resource is easily effected under extreme climate condition and also associates with high supply risk.
3. On the contrary, because the relationship between groundwater resource and rainfall quantity is not so close, conjunctive use between surface and subsurface water can make water supply stable.

Methodology

A hybrid algorithm is proposed for the conjunctive use model of surfaceand subsurface model.

- Model Architecture

- Artificial Neural Network: Ggroundwater system (the groundwater transfer function)
- Linear Programming :Gsurface water system (determine the reservoir supply amount)
- Genetic Algorithm :Gthe bridge between surface water and subsurface water system (determine the pumping rates)

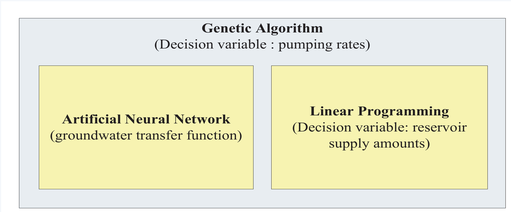


figure1 : The model architecture for CUMM.

- Model Objective Function (Original)

$$Z^t_{CUMM} = \min_{\vec{X}^t, \vec{P}^t} \sum_{j=1}^{N_d} \omega_{SH,j} SHR^t_j + \omega_{GAP} \sum_{m=1}^{N_s} \sum_{n=1}^{N_s} GAP^t_{SW,mn} + \omega_{GAP} GAP^t_{SYS} + \omega_{SL} \sum_{i=1}^{N_s} \left(SL^t_{SW,i} + SL^t_{GW} \right)$$

- X^t_k : means water supply quantity of the k-th linkage at the t-th time step and also is the decision variable
- P^t_k : means groundwater pumping quantity of the k-th well and also is one of the decision variables
- SHR^t_i : means the ratio of water shortage to water demand for the i-th demand node
- $GAP^t_{SW,mn}$: means index value discrepancy between the m-th and the n-th reservoir
- GAP^t_{SYS} : means index value discrepancy between surface water system and groundwater system
- $SL^t_{SW,j}$: means ratio of spare volume to system capacity for the j-th reservoir
- SL^t_{GW} : means ratio of spare volume to system capacity for groundwater system
- $\omega_{SH,j}$ ω_{GAP} and ω_{SL} : are assigned to present the priority between different sub-objects

- Modified Model Objective Function for Hybrid Algorithm

The entire problem can be divided into a primary sub-problem and secondary sub-problem.

- Primary sub-problem (solved by Genetic Algorithm)

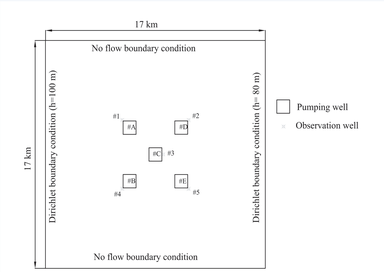
$$Z^t_{CUMM} = \min_{\vec{P}^t} \left[J^\star\left(\vec{P}^t\right) + \omega_{GAP} GAP^t_{SYS} + \omega_{SL} SL^t_{GW} \right]$$

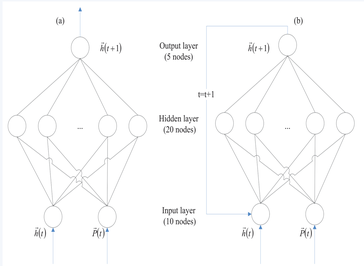
- Secondary sub-problem (solved by Linear Programming)

$$J^\star\left(\vec{P}^t\right) = \min_{\vec{X}^t} \sum_{j=1}^{N_d} \omega_{SH,j} SHR^t_j + \omega_{GAP} \sum_{m=1}^{N_s} \sum_{n=1}^{N_s} GAP^t_{SW,mn} + \omega_{SL} \sum_{i=1}^{N_s} SL^t_{SW,i}$$

- Groundwater ANN model development

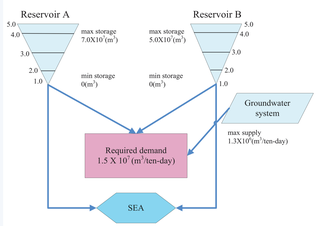
A recursive ANN model is used to simulate the relationship between groundwater level and pumping. The training and verification data for ANN is collected from a numerical model, MODFLOW 96, and groundwater system structure is shown as Fig. 2. The structure of the ANN model for training stage and prediction stage are shown as Fig. 3. The input nodes contain state variables, $\vec{h}(t)$, and decisionvariables , $\vec{P}(t)$ and the output nodes just contain state variables, $\vec{h}(t+1)$ In the prediction stage, the structure of recursive ANN model needs to be modified as Fig. 3(b). Similar with the traditional numerical models, the results calculated from output nodes are recursively assigned to the input nodes for the next step simulation.





Numerical Cases

Three cases have been presented in this study (shown as Table 4. Case #1 is a case of surface water independent operation and Case #2 and #3 are cases of conjunctive use operation. In Case #2, the wells just supply while the surface system is empty by using "surface water supply firstly" policy. In Case #3, the supply policy is determined by our proposed model, CUMM.



	Operation form	Model usage
Case # 1	Surface water independent operation(SW)	SWAM
Case # 2	Decoupled conjunctive use operation(DCU)	CUMM
Case # 3	Coupled conjunctive use operation(CCU)	CUMM

	Case #1	Case #2	Case #3
Case type	SW	DCU	CCU
Shortage index (SI)	2.93	1.54	1.13
Number of supply shortage step (SSSN)	135	125	111
Average requirement quantity ($\times 10^3\ m^3/10\ days$)	15,000	15,000	15,000
Average supply amount of surface water system ($\times 10^3\ m^3/10\ days$)	13,550 (90.33%)	13,550 (90.33%)	13,480 (89.87%)
Maximum supply productivity of groundwater system ($\times 10^3\ m^3/10\ days$)	0 (0%)	1,300 (8.67%)	1,300 (8.67%)
Average supply amount of groundwater system ($\times 10^3\ m^3/10\ days$)	0 (0%)	480 (3.20%)	680 (4.53%)
Average production efficiency of groundwater system	0%	36.87%	52.31%
Average supply amount of the conjunctive use system	13,550 (90.33%)	14,030 (93.53%)	14,160 (94.40%)

Cases Result

Comparing Case #1 and #2, an additional groundwater supply, whose maximum supplycapacity is just 8.67\% of the total water demand, can significantly decrease the shortageindex (SI) from 2.93 to 1.54.

- Comparing Case #2 and #3, the higher operating efficiency of the proposed model make the system SI significantly decrease to 1.13.
- Because of the usage of the hybrid framework and ANN, the computational efficiency of proposed model is higher than other models with purebred framework or traditional groundwater simulation.
- The proposed model has ability to extend to solve a complicated large field problem andalso will be a valuable tool for conjunctive surface and subsurface operations planning.

Liang-Cheng Chang
Professor of Department of the Civil Engineering, National Chiao Tung University, 1001 University Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC
email : lcchang31938@gmail.com

Yu-Wen Chen
Post-Doctor of Department of the Civil Engineering, National Chiao Tung University, 1001 University Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC
email : bsjacky@gmail.com

Chen-Che Pan
PhD. candidate of Department of the Civil Engineering, National Chiao Tung University, 1001 University Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC
email : panchenche@gmail.com

肆、 心得與建議:

AGU 秋季會議歷史悠久，向為國際上地質、地球科學或水利相關學門最重要的會議之一，本次的會議中，來自世界各國超過 16,000 位專家學者，發表了成千上萬的研究成果，本團隊與其它研究相互交流亦有豐碩的收獲。

另外，由 AGU 會議安排的主題與演講中可以發現，AGU 對於目前趨勢與基礎研究並重，並未有因趕流行而追逐議題的情形。氣候變遷為目前氣象、水文與水資源方面的重大議題，本次大會其亦為重點之一，惟其它基礎而重要的研究工作成果仍佔多數，顯現此大型學術組織永續經營的態度與作法。此外，AGU 對於年青學生與學者特別重視，除了安排教育訓練課程外，並為其舉辦相關交誼活動，此點可供國內舉辦相關活動的參考。

無衍生研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：張良正	計畫編號：98-2625-M-009-005-

計畫名稱：乾旱時期用水分配模式之研究--子計畫:乾旱時期地面水與地下水聯合運用作業模式研發(I)

成果項目			量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）
			實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	2	2	100%		於 10/22 投稿於農工研討會，其中一篇獲頒學生論文競賽佳作
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	3	3	100%	人次	
		博士生	1	1	100%		
		博士後研究員	1	1	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	3	3	100%		年底將參加 AGU 2010 Fall Meeting
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	3	3	100%	人次	
		博士生	1	1	100%		
		博士後研究員	1	1	100%		
		專任助理	0	0	100%		

其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)	無

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與（閱聽）人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

■達成目標

□未達成目標（請說明，以 100 字為限）

　　□實驗失敗

　　□因故實驗中斷

　　□其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文：□已發表 □未發表之文稿 ■撰寫中 □無

專利：□已獲得 □申請中 ■無

技轉：□已技轉 □洽談中 ■無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究應用多種智慧型演算法於地表地下聯合營運中，其中包含遺傳演算法、類神經網路與模糊推論，其中類神經網路可應用於地表地下聯合營運之中，取代地下水數值模式，降低聯合營運模式之整體計算量；相較於傳統非線性規劃，遺傳演算法無須推導系統之導函數，建構上較有彈性；模糊推論則可運用於不同系統間之操作調度，在維持一定之調度效能下，可大幅降低計算複雜度。