

以數值模擬評估濁水溪沖積扇北彰化地區之 地下水水文細節及人爲抽水分佈

Estimating Groundwater Details and Pumping Distribution in North Cho-Shui Alluvial Fan by Numerical Modeling

逢甲大學土木及水利工程研究所碩士

逢甲大學水利工程學系教授

林 時 猷

許 少 華

Shih-Yu Lin

Shaohua Marko Hsu

摘 要

濁水溪沖積扇之降雨時空分佈不均，瞭解當地抽水及補注之時空分佈情形，是地下水資源管理上必要的資訊。本研究利用 PMWIN 來評估其地下水文收支狀況，將濁水溪沖積扇彰化北區分成七層扇狀的剖面，並參考現地觀測井間之空間相關性與水文地質屏狀圖，相關性高且地質岩性相近之區域劃為同一水文地質參數區，4 層含水層共 35 個分區。文中使用 PEST 模組先進行水文地質參數 K 值之推估，再以暫態模擬進行 S 值之微調，使民國 84 年模擬結果與濁水溪沖積扇含水層各分層之觀測井記錄實際資料吻合。模式所得之水平衡，民國 84 年之年總抽水量為 155.4 百萬立方公尺，降雨入滲補注量為 81.3 百萬立方公尺，上游之側流補注量 18 百萬立方公尺，可知該年抽水量明顯超出地下水補注量之 1.5 倍。文中除將各鄉鎮的分層相對抽水量以圖示表現以外，並將扇頂、扇央與扇尾之地下水流相互補注情形圖示出來。其中僅扇尾之含水層三有淨向上層之補注量，其餘含水層皆是補注向下層的多。敏感度分析顯示本系統因屬超抽狀況，抽水量乃最敏感之變量，上下調整 20% 則會影響地下水位 20% 的振幅。包括垂向滲漏的水文地質參數若上下調整 20%，則使地下水位變動 5~10%。氣象水文量的降雨入滲與蒸發則對模式影響較不敏感。

關鍵詞：地下水，模擬，抽水，MODFLOW。

ABSTRACT

Assessing pumping amounts and all fluxes in groundwater flow is an essential support toward good management of regional water resources, especially in the Cho-Shui

alluvial fan area, where rainfall is extremely seasonally uneven. In this study, PMWIN (a 3D groundwater model) was employed to simulate groundwater flow and estimate water budgets of the north part of Cho-Shui alluvial fan. Correlation analysis features of water-table records from multi-layers were utilized to divide suitable sub-regions. An inverse model, PEST, was used to estimate hydraulic conductivity of each layer. Calibration and verification were performed according to multi-layer records of groundwater table of 1995 to 1996. Results indicate that in year 1995, the cumulative pumping volume is 155.4 million cubic meter, the rainfall recharge is 81.3 million cubic meter, and the constant head inflow is 18 million cubic meter. Sensitivity analyses indicate that pumping rate is the most sensitive variable.

Keywords: Groundwater, Modeling, Pumping, MODFLOW.

一、前言

濁水溪沖積扇是台灣本島最大的沖積扇，而其地下水之蘊藏量也是最為豐富，乃該地區不可或缺的水資源蓄存機制。濁水溪沖積扇地區在季節上有豐枯水期之分，在區域上其上游的平均降雨量高於下游之平均降雨量，其降雨之時空分佈極不平均，若能夠瞭解抽水及補注之情形，對於地下水管理將有正面的幫助。本文所研究之區域為濁水溪沖積扇彰化地區北邊的扇狀區域。根據觀測站網計畫所繪之地質屏狀圖，參考觀測井地下水位之空間相關性，將研究區域劃分數個透水係數 K 值之分區，利用地下水流數值模式 PMWIN 5.1 (Processing Modflow; Chiang and Kinzelbach, 2001) 來進行地下水數值模擬，並將模擬結果與濁水溪沖積扇含水層各分層之觀測井記錄資料相互比較，希望以較小的模擬區域做較詳細深入的模擬分析。

二、文獻回顧

根據江崇榮等人(1996)從民國八十一至八十三年度水文地質調查結果，將濁水溪沖積扇地表下 200 公尺範圍內概念劃分為三個含水層及二個阻水層；含水層二之厚度最大、粒徑最粗、透水及含水性最好；含水層一、二、三在東側扇頂附近並無顯著的分層，可認定是合而為一並有共同之地下水補注區水源。

林君怡等人(1996)以 U.S.G.S 所發展之多層

三維地下水流數值模式 MODFLOW 來模擬濁水溪沖積扇。水文地質參數之設定使用觀測值配合 Kriging 法來推估。降雨和灌溉之入滲係數約為 0.1 至 0.3 不等。將濁水溪沖積扇視為 7 層之概念地下分層(4 個含水層、3 個阻水層)，第 3、5 地下分層即為水文地質分層之含水層 2-1 和 2-2。研究範圍北以烏溪為界，向東銜接八卦山脈、延伸至車籠埔斷層、斗六丘陵，南部跨越至嘉義縣以朴子溪為界，成一零流邊界，涵蓋範圍略大於傳統上定義之濁水溪沖積扇範圍；西部海洋構成一定水頭邊界，但只在第 1、2 地下分層，其他幾層則為零流邊界。

林再興等人(2001)以 U.S.G.S 所發展之多層三維地下水流數值模式 MODFLOW 來模擬濁水溪沖積扇。研究範圍及邊界設定和林君怡等人(1996)大多相同，不同處是石榴和二水間設定為定水頭邊界。概念分層也是分為 7 層。推算之彰化地區年地表入滲補注量約為 6.2 億噸，雲林地區約為 5.3 億噸，嘉義地區約為 1.47 億噸，合計約 12.97 億噸。而模擬結果顯示濁水溪沖積扇年總抽水量約為 15.3 億噸。

台灣省政府水利處(1998)分別利用水文收支平衡法與 MODFLOW 地下水流模式推算地下水補注量，當採用以水平衡收支法時，估算濁水溪沖積扇地下水年補注量約為 5.25 億噸，年地下水抽取量約為 8.18 億噸。而採用 MODFLOW 地下水流模式時，得到年補注量約為 8.18 億噸，年地下水抽取量約為 9.25 億噸。其模擬區域東側沿八

卦山脈及斗六丘陵定為零流邊界，南側沿北港溪定為零流邊界，西側沿外海 15 公里位置為零水頭固定水頭，東側二水隘口定為變動水頭邊界，其水頭依附近觀測站之觀測水位資料，以 Kriging 法推求出邊界水位。數值模擬過程中所調整的參數為抽水量、地下水補注量、水力傳導係數(K 值)、儲水係數及垂向滲漏係數，其中抽水量與地下水補注量依據實際現況土地使用及抽水型態為參考，水力傳導係數(K 值)、儲水係數及垂向滲漏係數等水文地質參數則參考濁水溪沖積扇實測的水文地質參數。

三、研究方法與流程

本研究以濁水溪沖積扇之北區為主要之研究範圍，利用地下水流數值模式 PMWIN 5.1 進行數值模擬，以模擬研究區域內之水文地質架構與地下水流狀態；故需蒐集研究區域內之各項相關模式資料，如：地質狀態、水文地質參數、水文氣象資料等，分析後配合各觀測井資料的相關性來建構研究區域之水文地質架構，進行數值模擬；再將數值模擬所得之水位，經由率定與驗證的過程以求得符合現地狀況之地下水流模式及地下水水理參數。整個研究流程圖如圖 1 所示。

四、研究區域概況

濁水溪沖積扇北起烏溪南岸，南止於北港溪和朴子溪之間，東以斗六丘陵與八卦山台地為界，西接台灣海峽，為台灣最大的沖積扇，面積約 1800 平方公里，為一廣大的現代沖積層。濁水溪以二水之鼻子頭隘口為扇頂(標高約 100 公尺)，向下游展開形成沖積扇，與更下游的海岸隆起平原，構成了濁水溪沖積扇平原。本文的研究範圍位於整個濁水溪沖積扇之北區，主要將研究重點放在彰化縣的二水-田中-溪湖-好修-彰濱剖面和二水-田中-員林-花壇-頂番-鹿港剖面之間的區域，如圖 2 所示。

五、地下水流數值模式

本研究所採用的地下水數值模式 PMWIN (Processing Modflow for Windows) 模式乃為一

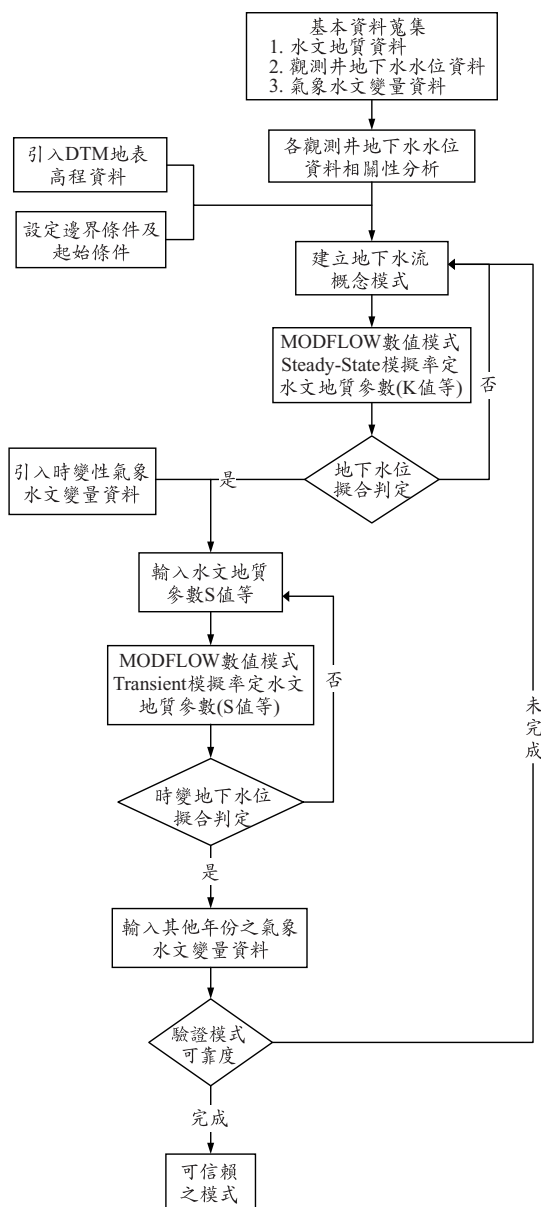


圖 1 研究流程圖

兼具數個地下水數值模式的系統軟體，其中所包含的模式有 Modflow(地下水流及污染傳輸模式)、Moc3d(污染傳輸模式)、Mt3d(污染傳輸模式)及 Mt3dms(污染傳輸模式)等。本研究乃使用 Modflow 模式模擬地下水流，其所使用之求解計算的差分方法為體心式有限差分法(Block-Centered Finite-Difference Approach)。Modflow 模式之整體架構是由一主程式及一系列獨立的副

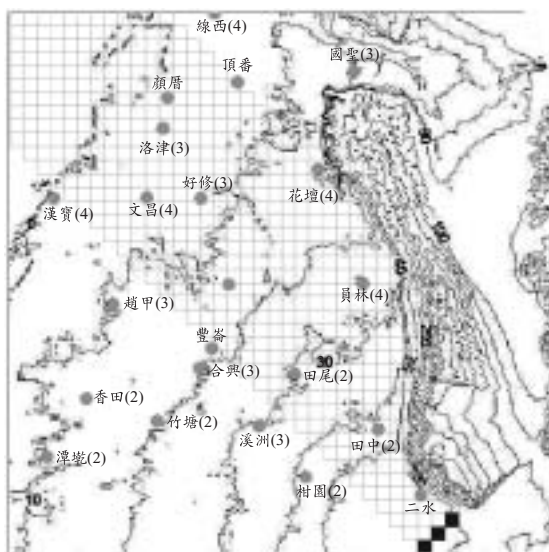


圖 2 彰化地區地下水觀測井分佈圖

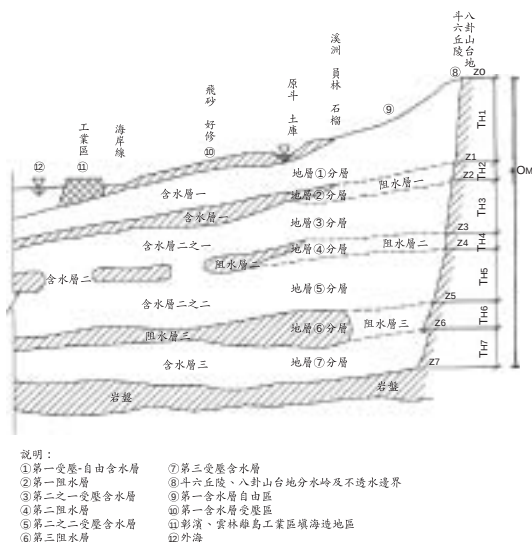


圖 3 概念模式分層剖面示意圖
(台灣省政府水利處, 1997)

程式所組成，此副程式又可稱為模組(Modules)，利用數個模組組成模組群(Packages)，來進行水文地質參數之輸入，以模擬各種不同之水文地質狀況。

5.1 模式模擬相關設定

應用 PMWIN 地下水數值模式建立濁水溪沖積扇彰化北區之水文地質概念模式，必須給定以下幾點假設條件：

- (1) 研究區域概念化：依照研究區域範圍選取東西向總長度 40km，南北向總長度 40km，所涵蓋範圍如圖 2 所示，本區含水層在地下 200m 以內大致可以分為 7 層之含水層-阻水層系統，即 3 個阻水層分隔土層為 4 個含水層，其概念分層如圖 3 所示。取一正方形網格其縱向與橫向的網格間距皆為 1000m ($\Delta x = \Delta y = 1000m$)，共計東西向與南北向網格數皆為 40 格，4 層含水層共 6400 個網格(阻水層假設為沒有蓄水效果以及水平向流速，僅作為上下含水層之地下水流交換途徑)。依據農委會委託中央大學製作之數值地形高程檔(DTM)資料確認各網格點之高程，而各層之底部高層則依據各個觀測井之分層做 Kriging 內差，各觀測井之各層底部高

程如表 1 所列。前人的研究發現，濁水溪沖積扇的地下水流流動的方式是從扇頂流經扇央最後由扇尾流出，流動的路線像一個輻射扇狀，所以將二水-田中-溪湖-好修-彰濱剖面以南之非研究區域視為非作用區(inactive zone)或非模擬區域，而二水-田中-員林-花壇-頂番-鹿港剖面以東屬於斷層帶，北面屬於烏溪流域，由過去所繪製的地下等水位圖中並無明顯補注來源，所以也將之視為非作用區域。總計含水層模擬網格 2344 個，非作用區域則有 4056 格，合計 6400 格。而含水層 1 在西北邊外海的部分視為海底大陸棚的延伸，假設並無與上層海水交換的機制，故將該區視為含水層且並無降雨入滲和蒸發的作用，僅和同一層海岸線以內的區域抽水相通以及和下層含水層有水交換。

- (2) 邊界條件：依照前述之研究區域劃分可知，研究區域之東面為斷層帶設定為零流邊界；北面烏溪與研究區域南面之邊界則假設基本上與流線平行故亦設定為零流邊界；西側界彰濱工業區外海區域並無明確資料加以界定，故假設其距現有海岸仍有一段距離且不受海岸抽水之影響也設定為零流邊界；東側

表一 觀測井各層分層高程

單位：m

	觀測井	國聖	線西	花壇	員林	溪湖	田中	好修	二水
地質高程	z0 高程	20.8	5.4	15.8	26.8	18.9	49.7	10.8	82.4
	z1 高程	6.3	-36.6	4.5	10.8	5.2	-1.0	-18.2	31.0
	z2 高程	-13.7	-70.6	-26.5	-22.0	-25.0	-16.0	-34.2	25.3
	z3 高程	-49.2	-76.0	-41.5	-42.1	-52.6	-41.0	-62.2	-14.2
	z4 高程	-60.9	-99.1	-68.5	-59.9	-72.2	-61.0	-77.8	-19.8
	z5 高程	-103.7	-118.6	-97.0	-116.0	-119.6	-91.0	-116.9	-32.0
	z6 高程	-121.5	-140.5	-118.3	-124.7	-156.2	-114.0	-128.5	-55.0
	z7 高程	-192.8	-194.6	-120.5	-178.0	-211.5	-154.0	-202.5	-95.0
	觀測井	趙甲	漢寶	芳苑	潭墘	西港	竹塘	柑園	溪州
地質高程	z0 高程	12.8	3.8	4.6	14.1	5.0	21.7	46.7	34.2
	z1 高程	-9.2	-42.5	-31.1	-8.2	-24.3	-7.3	20.0	6.3
	z2 高程	-19.2	-55.0	-47.0	-33.2	-48.0	-21.3	4.0	-5.3
	z3 高程	-42.0	-71.6	-120.0	-51.3	-53.5	-46.8	-31.4	-32.7
	z4 高程	-64.5	-79.1	-127.0	-66.0	-85.2	-51.3	-40.8	-41.0
	z5 高程	-123.1	-139.5	-140.0	-105.8	-148.0	-109.3	-98.1	-96.7
	z6 高程	-168.0	-165.0	-186.0	-109.0	-179.5	-132.3	-121.1	-119.7
	z7 高程	-192.0	-200.0	-210.0	-149.0	-219.2	-172.3	-161.1	-159.7

資料來源：台灣省政府水利處 (1997)

二水之鼻子頭隘口處設定為變動水頭邊界 (Time-Variant Specified-Head)，即暫態模擬時，水頭會隨時間變化。圖 4 為本研究區域概念模式之邊界設定示意圖，粗線為零流邊界，右下方 3 個格點為變動水頭邊界，中間之格點為模擬區域。

- (3) 起始條件：起始條件為模擬開始時，模擬區域內任一網格之水頭設定，亦為時間之邊界條件。本研究所模擬之暫態模擬時間為民國 84 年 1 月至 12 月，其時間週期(Period)以一句為一個週期。起始之水頭值乃根據經濟部水利署於濁水溪沖積扇所設置之觀測站網之各月水位記錄，起始水頭值選用民國 84 年 1 月之各分層觀測井地下水實際觀測值以 Kriging 內插後，所得每一網格之地下水位作為暫態模擬起始條件之水頭值。

- (4) 降雨入滲補注(Recharge)與蒸發(Evapo-transpiration)：本區域降雨量補注是以補注率的方式輸入，降雨入滲量使用徐昇氏法劃分出雨量站控制區域，並採中央氣象局在研究

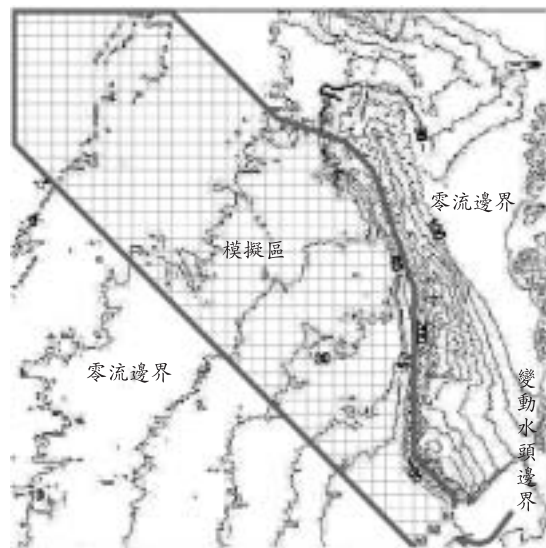


圖 4 概念模式之邊界設定示意圖

區域內各雨量站所觀測降雨量之 10%~30%計算各區域入滲量(扇頂入滲較大為 30%、扇央為 15%、扇尾則為 10%，即入滲係數為 0.1~0.3)。蒸發量的計算則因為 PMWIN 所提

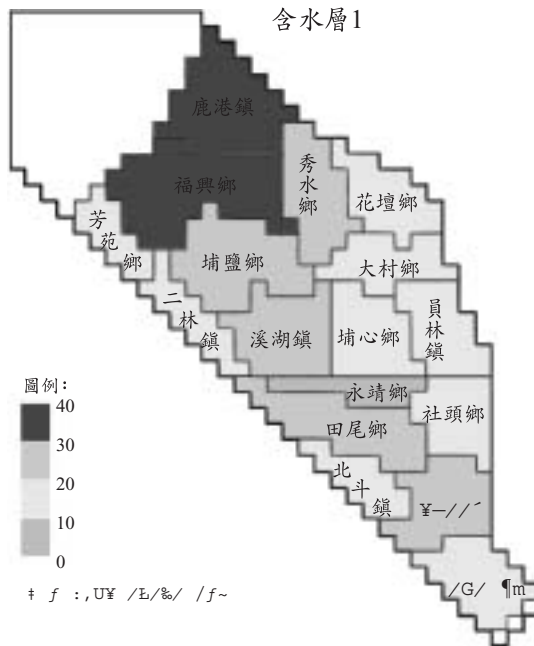


圖 5 含水層 1 民國 84 年暫態模擬之地下水年抽取量分佈圖

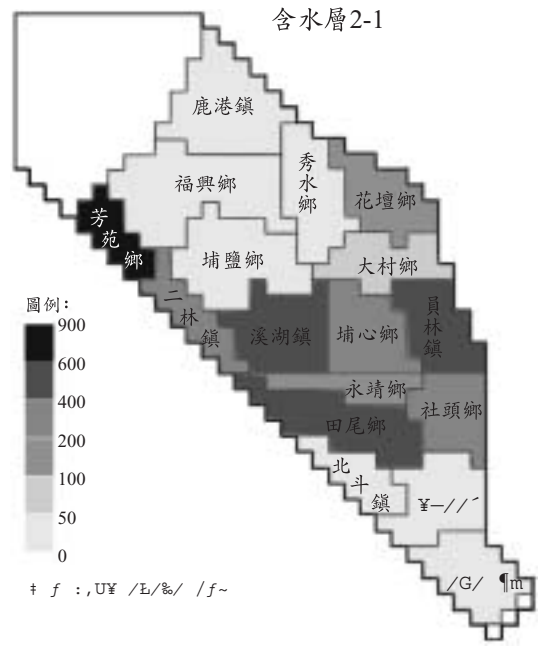


圖 6 含水層 2-1 民國 84 年暫態模擬之地下水年抽取量分佈圖

供之模組是計算含水層地下水出滲至地表之蒸發量，而非如氣象觀測站以蒸發皿觀測之蒸發量，故模組計算所得蒸發量應比觀測所測得之蒸發量來得小。而扇央、扇尾均為受壓含水層，地表均是較細之土壤覆蓋，所以目前以氣象局測得的蒸發量之 15%(0.15 倍)為該地之最大蒸發率，有效影響深度定為 2m。

- (5) 地下水抽水：研究區域之抽用水量資料僅有全年統計資料，無明確抽水分區，且抽水量之逐月或逐旬時間序列變化均沒有詳細資料，所以抽水量乃參考實際現況土地之使用以及抽水型態來調整。模式調整之各鄉鎮抽水量繪製其年抽水量之空間分佈如圖 5 至圖 8 所示。含水層 1 在趨勢上以沿海抽的量較多，逐步向內陸遞減；含水層 2-1 則是扇央與扇尾抽水量較大；含水層 2-2 的抽水量以扇央為最多；含水層 3 則是在員林一帶抽水量較大。
- (6) 水文地質參數：垂向滲漏係數 L 值為含水層之間地下水的交換能力，愈大表示交換能力愈強。本區之垂向滲漏係數 L 值之劃分區域

與輸入值乃參考台灣省政府水利處(1998)的內容，扇頂的垂向滲漏係數大於扇央，扇央大於扇尾；含水層 1 和含水層 2-1 之間的 L 值大於含水層 2-1 和含水層 2-2 之間的 L 值，而含水層 2-1 和含水層 2-2 之間的 L 值大於含水層 2-2 和含水層 3 之間的 L 值。扇頂無阻水層區域的垂向滲漏係數必須大到垂向流通毫無阻礙，使模擬結果像單一含水層似的各層總水頭皆相同。本區之透水係數的給定，根據觀測站網計畫所繪之地質屏狀圖，參考觀測井地下水位空間上水位同步之相關性，將研究區域共劃分為 35 個透水係數 K 值分區。先以站網計畫之抽水試驗結果與經濟部水利處水利規劃試驗所(2000)「地下水超抽導致地層下陷防治對策之群體研究」(pp.7-10~pp.7-12)之透水係數設定值來設定各分區 PEST 模組之初擬值(initial guesses)，因為有些分區內並無抽水試驗之資料，因此該區之初擬值乃根據該區之岩性來給定，並依據分區內之岩性來設定該區透水係數之上下限範圍，接著輸入已知地下水觀測井實測

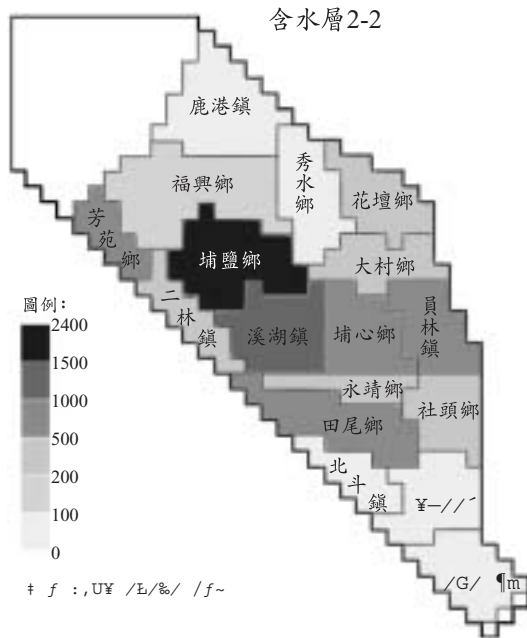


圖 7 含水層 2-2 民國 84 年暫態模擬之地下水年抽取量分佈圖

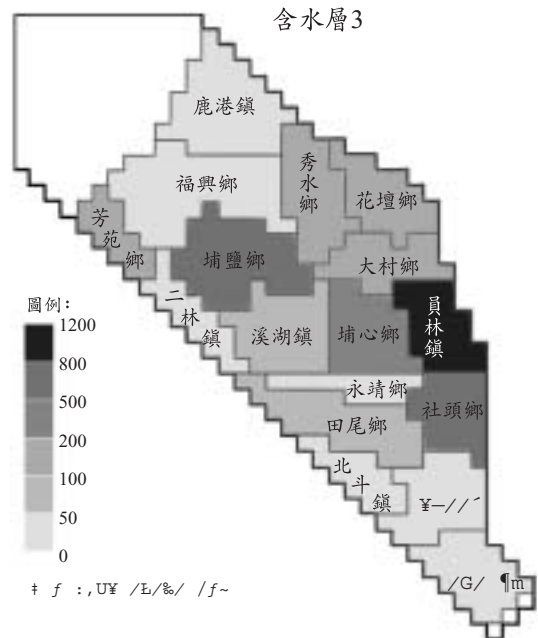


圖 8 含水層 3 民國 84 年暫態模擬之地下水年抽取量分佈圖

資料後，PEST 模組會以試誤法來推求與觀測水位最相近之各分區 K 值。儲水係數 S 值主要參考台灣省政府水利處在「濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用」1997、1998 年的報告為主，但報告中 S 值所劃分的範圍較廣區間較大，本模式中依模擬狀況做些微調整，將模擬區域的 S 值劃分較密集，但所輸入的 S 值仍是以「濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用」1997、1998 年的報告為準。

5.2 模式之率定與驗證

本研究所模擬的時段為 1995 年 1 月至 1995 年 12 月，以 1 旬為模擬週期，共 36 個模擬週期，每個週期的計算時距(Δt)為 1 天。本研究採用平均誤差(mean error)與最大絕對誤差(max absolute error)來判斷模擬結果之正確性。率定的主要依據是以模式模擬計算結果與觀測水位值加以比較，依結果的差異進行不同參數的調整，直到最大絕對誤差在 2 公尺以內。再將 1996 年之水文氣象資料帶入模式中驗證，而抽水量的輸入因無明確抽水分區且抽水量之逐月或逐旬時間序列

變化亦無詳細資料，所以沿用 1995 年調整後的抽水量，其驗證結果雖然誤差較大但仍可反應現場實測趨勢。

六、結果分析與討論

- (1) 本研究運用地下水數值模式 PMWIN，採取民國 84 年基本資料建立濁水溪沖積扇彰化北邊區域之三維地下水流狀態數值模擬，其模擬結果與實際現況吻合(如圖 9 至圖 12 所示)。
- (2) 根據本研究之模擬結果，可知民國 84 年研究區域內之年總抽水量為 155.4 百萬立方公尺，降雨入滲補注量為 81.3 百萬立方公尺，地表滲出蒸發量為 31.4 百萬立方公尺，定水頭入流量為 18 百萬立方公尺。由此可知該年抽水量明顯超出地下水補注量。
- (3) 由於本模式將各層抽水量在空間上平均分配至各鄉鎮，所以實際上抽水量大的格點在模式裡會被平均分配至鄰近格點，較難反應出局部抽水對地下水流況之影響。但藉由整體趨勢之地下水等值線圖，可以發現各含水層地下水主要受到邊界條件之影響，地下水的

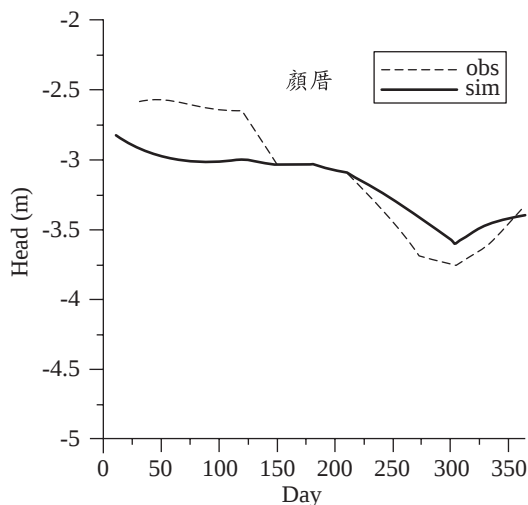


圖 9 民國 84 年顏厝站暫態模擬結果與觀測井資料比較圖

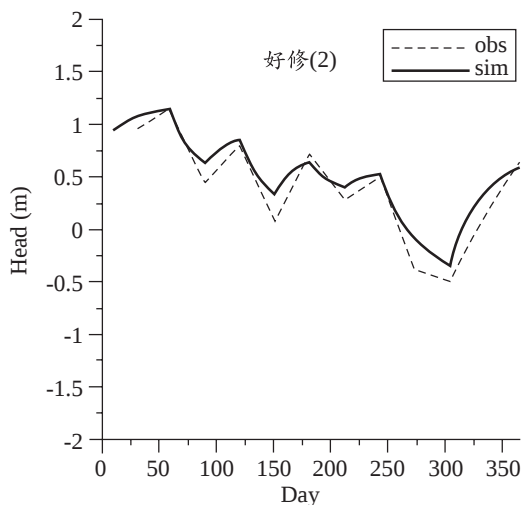


圖 11 民國 84 年好修站暫態模擬結果與觀測井資料比較圖

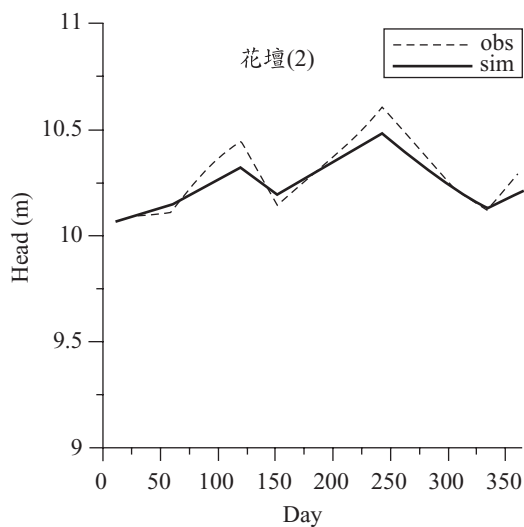


圖 10 民國 84 年花壇站暫態模擬結果與觀測井資料比較圖

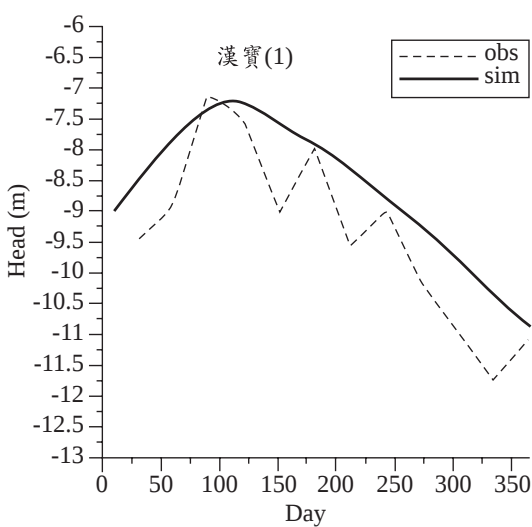


圖 12 民國 84 年漢寶站暫態模擬結果與觀測井資料比較圖

天然流場均呈現由扇頂流向扇尾的趨勢。

- (4) 模式模擬所需之透水係數值，可以根據研究區域之地質屏狀圖，並參考觀測井地下水位空間上水位同步之相關性，將研究區域內水文地質屏狀圖岩性相近且觀測井空間相關性高者劃分為同一區，先使用 PMWIN 模式中 PEST 模組來進行透水係數之推求，但仍需輔以暫態模擬進行人工調整，方能達到良好的

模擬結果。

- (5) 本研究以民國 84 年暫態模擬為基礎，對透水係數、儲水係數、垂向滲漏係數等水文地質參數與降雨入滲量、蒸發量、抽水量等氣象水文資料分別上下調整 20%，來進行敏感度分析。水文地質參數之變動對地下水位的影響約有 5%~10%，其中以儲水係數和垂向滲漏係數的影響比較敏感；氣象水文資料之降

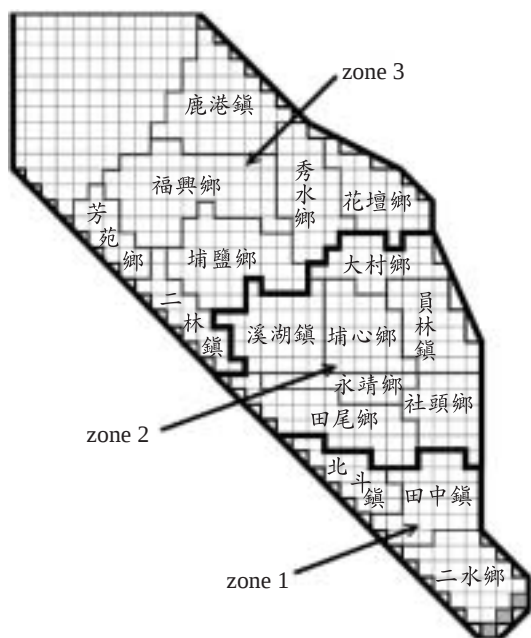


圖 13 民國 84 年暫態模擬之含水層間垂向滲漏分區圖

雨入滲量與蒸發量對地下水位的影响不大，僅有 0.45%~2.08%，抽水量是最敏感的因素，對地下水變動的影嚮約有 20%。數值模式於現場抽水狀況的空間分佈及時間變化的實況資料不是很充足的情況下，在調整各區抽水量要十分小心，需參考前人的研究報告以瞭解當地地下水使用情形及趨勢，來調整各鄉鎮在不同時段每個含水層的抽用水量。

- (6) 為了具體表現本區地下含水層間之地下水垂向滲漏情形，將研究區域分為 3 個區域來分析討論，如圖 13 所示，二水鄉、田中鎮與北斗鎮等扇頂部分為 zone 1，單層網格數為 76 格(4 層共 304 格)；田尾鄉、社頭鄉、永靖鄉、溪湖鎮、埔心鄉、員林鎮與大村鄉等扇央部分為 zone 2，單層網格數為 178 格(4 層共 712 格)；花壇鄉、秀水鄉、埔鹽鄉、二林鎮、鹿港鎮、福興鄉、芳苑鄉以及海邊區域等扇尾部分為 zone 3，單層網格數為 332 格(4 層共 1328 格)。並將研究區域內各分區之垂向滲漏量、降雨、蒸發、抽水等水量交換情形以圖形表示(圖 14)，為方便說明圖中以日平均量

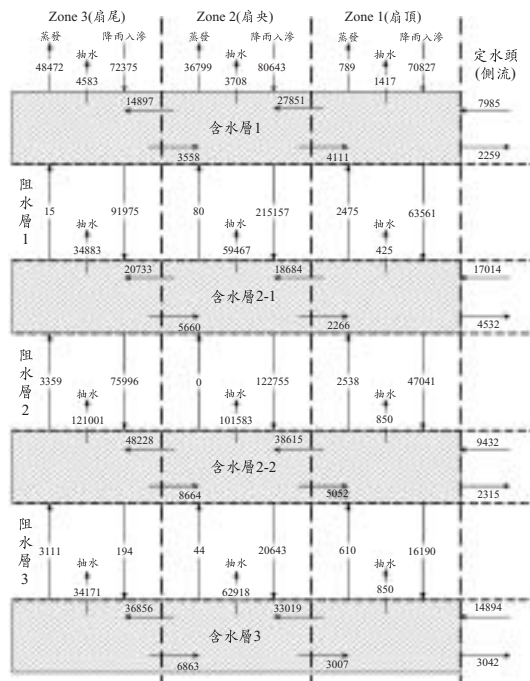


圖 14 民國 84 年暫態模擬各分區及含水層間水量交換示意圖

表示，民國 84 年暫態模式中，含水層 1 入滲至含水層 2-1 以 zone 1(扇頂)與 zone 2(扇央)之單位網格入滲量較大，zone 3(扇尾)較少；含水層 2-1 幾乎不出滲至含水層 1，僅有 zone 1 有少量的出滲。含水層 2-1 入滲至含水層 2-2 仍是以 zone 1 與 zone 2 之單位網格入滲量較大，而 zone 3 較少；相對於含水層 2-1 入滲至含水層 2-2 的水量，含水層 2-2 僅有 zone 1 和 zone 3 有少量的出滲至含水層 2-1。含水層 2-2 入滲至含水層 3 也是以 zone 1 與 zone 2 之單位網格入滲量較大，但只有含水層 2-1 入滲至含水層 2-2 之水量的三分之一；含水層 3 也是僅有 zone 1 和 zone 3 有少量的出滲至含水層 2-2。

- (7) 降雨入滲量以 zone 1 明顯大於 zone 2 和 zone 3，蒸發量則是 zone 2 和 zone 3 遠大於 zone 1 的量。
- (8) 上游定水頭側流之每天平均入流量和出流量以含水層 2-1 最多，含水層 3 次之，再者為含水層 2-1，含水層 1 最少，各含水層之側流入

流量均大於側流出流量。各含水層地下水流之水平流動趨勢均是由 zone 1(扇頂)流向 zone 2(扇央)最後流至 zone 3(扇尾):水平流量以含水層 2-2 和含水層 3 較多,比含水層 2-1 與含水層 1 大約 1.4 至 3 倍左右。

參考文獻

1. Anderson, M. P. and W. W. Woessner, (1992), "Applied Groundwater Modeling Simulation of Flow and Advective Transport", Academic Press.
2. Bouwer, H. (1993), "Groundwater Hydrology", McGraw-Hill Inc.
3. Bredehoeft, J. D. (2002), "The water budget myth revisited: Why hydrogeologists model", Ground Water, Vol.40, No.4, pp.340-345.
4. Chiang, W. H. and W. Kinzelbach, (2001), "3D-Groundwater Modeling with PMWIN", Springer.
5. Eggleston, J. R., S. A. Rojstaczer, and J. J. Peirce, (1996), "Identification of hydraulic conductivity structure in sand and gravel aquifers: Cape Cod data set", Water Resource Research, Vol.32, No.5, pp.1209-1222.
6. Fetter, C. W. (1994), "Applied Hydrogeology", 3rd Edition, Macmillan College Publishing Company Inc.
7. McDonald, M. G. and A. W. Harbaugh, (1988), "A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model", U.S. Geological Survey, Virginia.
8. Wu, J. ; R. Zhang, and J. Yang, (1996), "Analysis of rainfall-recharge relationships", Journal of Hydrology, Vol. 177, pp. 143-160.
9. 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, pp.207-221。
10. 台灣省水利局 (1990), 「改善台灣地區地下水文基本資料收集系統規劃研究報告(第二期)」。
11. 台灣省政府水利處 (1997), 「濁水溪沖積扇地表地下水聯合應用第一階段-濁水溪沖積扇地下水可開發潛能評估報告」。
12. 台灣省政府水利處 (1998), 「濁水溪沖積扇地表地下水聯合應用第二階段-濁水溪沖積扇地下水人工補注計畫規劃報告」。
13. 台灣省政府水利處 (1997), 「台灣地區地下水觀測站網地下水位年報表(濁水溪沖積扇、屏東平原 中華民國八十五年)」。
14. 林君怡、葉明生、張良正、田巧玲、江崇榮 (1996), 「濁水溪沖積扇地下水觀測站網評估」, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會, pp.223-236。
15. 林再興、林崇亮 (2001), 「濁水溪沖積扇地下水資源蘊藏量之研究」, 第四屆地下水資源與水質保護研討會, pp.295-303。
16. 林時猷 (2003), 「以地下水之區位相關性輔助濁水沖積扇地下水模擬之參數決定」, 碩士論文, 逢甲大學土木及水利工程研究所, 台中市。
17. 江崇榮、賴典章、黃智昭、賴慈華、陳利貞 (1996), 「濁水溪沖積扇之水文地質與地下水系統概念模型」, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會, pp.127-143。
18. 易任、王如意 (1997), 「應用水文學(新編上冊)」, 國立編譯館。
19. 袁彼得、鄧屬予、林泗濱(1996), 「濁水溪沖積扇地下沉積物特性及分佈狀況」, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會, pp.43-54。
20. 徐明童 (2002), 「花蓮溪流域年平均地下水收支量之探討」, 碩士論文, 逢甲大學土木及水利工程研究所, 台中市。
21. 黃信恩 (2001), 「屏東平原地下水人工補注水資源優化管理之研究-以林邊溪流域為例」, 碩士論文, 國立屏東科技大學土木工程研究所, 屏東縣。
22. 張佑誠 (2001), 「九份二山崩積區地下水之數值模擬」, 碩士論文初稿, 國立中興大學土木工程研究所, 台中市。

23. 張誠信、劉振宇 (2001)，「克利金法與條件模擬推估濁水溪沖積扇水力傳導係數空間之不確定性」，農業工程學報，第 47 卷，第 3 期，pp.17-30。
24. 經濟部水利處 (1999)，「地下水位年報表(中華民國八十七年)」。
25. 經濟部水利處 (2000)，「地下水位年報表(中華民國八十八年)」。
26. 經濟部水利處水利規劃試驗所 (2000)，「地下水超抽導致地層下陷防治對策之群體研究-區域地下水文平衡模擬與預測(二)」。
27. 經濟部水利處 (2001)，「濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用第三階段-濁水溪沖積扇地表地下水聯合營運規劃報告」。
28. 經濟部水利處 (2001)，「濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用總報告」。
29. 經濟部水利署 (2002)，「我們的濁水溪-集集共同引水工程紀念文集」。
30. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2002)，「花蓮流域地下水模式建置與地下水資源評估計畫」。
31. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2002)，「中部地區水資源整體規劃檢討濁水溪下游水源開發規劃檢討」。
32. 經濟部水利署網站 (2002)
<http://www.wrb.gov.tw/>。
33. 經濟部中央地質調查所 (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」。
34. 經濟部中央地質調查所 (2000)，「台灣經濟礦物 第三卷 台灣能源礦產及地下水資源」。
35. 農業工程研究中心 (1994)，「彰雲地區地下水流向及天然補注區調查(三)」。
- 收稿日期：民國 92 年 10 月 28 日
修正日期：民國 93 年 7 月 27 日
接受日期：民國 93 年 8 月 3 日