

抽水量的時空分佈對花蓮鳳林地區地下水位之影響

Effect of Pumping activities on the groundwater Levels in the Fenglin Area of Hualien County

逢甲大學水利工程學系副教授

逢甲大學水利工程學系碩士級研究助理

許少華

林伯聰

Shaohua Marko Hsu

Bor-Tsong Lin

摘 要

本文以 PMWIN 模式 (MODFLOW) 模擬鳳林綜合開發區不同抽水策略之地下水位，探討抽水量的時空分佈對於該地區地下水水位變動之影響，提供當地未來運用地下水資源時抽水之操作參考。結果得知抽水井若設置在地下水之上游來源其影響較設置於下游地區的開發區中來得小，此乃因抽水井距離較遠且水流有類似輻射狀之故。而抽水井若僅於枯水季抽水，雖會造成枯水季地下水水位較人之降幅，但於豐水季時停止抽水使之自然接受補注，於豐水季結束後其地下水水位與全年未抽水之地下水水位面十分接近。反觀全年抽水之情況，雖於枯水季時地下水水位降幅小於前者，但因不間斷的抽水造成地下水無法有效蓄留，而導致豐水季後其地下水水位遠低於未抽水之情況。

關鍵詞：地下水，抽水，Modflow。

ABSTRACT

A groundwater model is constructed, using PMWIN (Modflow), to simulate the draw-down behavior in the Fenglin alluvium of Hualien County. Scenarios of pumping in different time and locations were performed to evaluate the impact of pumping. Results show that if the pumping moves upstream to the source of groundwater, the impact will be less significant. If pumping only takes place in the dry season, although groundwater level in the dry season will be much lower, however, in the wet season, the groundwater level will be back to the stage similar to situation without any pumping. This is due to effect of natural recharge. On the other hand, if the total amount of pumping discharge is spread evenly to everyday pumping, although the groundwater level is much higher in the dry season, eventually, even in the wet season, a significant draw-down is preserved.

Keywords: Groundwater, Pumping, Modflow.

一、前言

台灣東部地區雖然地表水量豐富，但水源季節性豐枯變化之差距更甚於西部，使得單純利用地表水源無法滿足未來可預見之用水需求。而東部的地下水資源大部分仍未開發使用，因此利用地下水作為輔助水源乃一必然的水源取得方式。本文以位於東部縱谷地區的鳳林綜合開發區（圖 1）為研究區域，藉由地下水數值模式 PMWIN (Chiang, 2001) 來進行模擬，探討不同抽水策略對於開發區地下水水位之影響，期能提供更多資訊以利於水資源運用之永續利用。

鳳林計畫區全域均位於花蓮縣鳳林鎮南端，鳳林鎮鎮中心位置在東經 120 度 26 分、北緯 23 度 45 分，位於花東縱谷本縣境內最中間的地帶，東面海岸山脈與豐濱鄉毗鄰，西面中央山脈與萬榮鄉毗鄰，南以馬鞍溪與光復鄉為界，北則以壽豐溪與壽豐鄉相隔，距縣轄市花蓮市之南約 32 公里。而鳳林綜合開發區位於其長橋里，東起花蓮溪，西迄台九線公路，南起馬鞍溪，北接中心埔，為一東西長 6 公里，南北寬 2.5 公里，由馬鞍溪、萬里溪及花蓮溪等河川會流沖積而成之河川浮覆新生地，面積達 1,400 公頃。本區北距鳳林都市計畫區約 4 公里；南距玉里鎮約 37 公里，與光復都市計畫以馬鞍溪區隔。

本文所採用之數值模式 PMWIN 乃一兼具數個地下水數值模式的系統軟體，其所包含的模式有 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，本文僅利用其地下水流模組。模式最大的特色在於模式可由網站上自由下載；從網格繪製、資料輸入、數值模擬運算至結果輸出圖示化，皆由不同模式功能介面分開進行處理。

二、地下水概念模式

主要的研究區域雖然南北以馬鞍溪及萬里溪為界，為了避免研究區域受到邊界條件影響，並可利用研究區域以外的水文觀測資料，採用之模擬範圍較鳳林計畫區更往南北擴張數公里（如

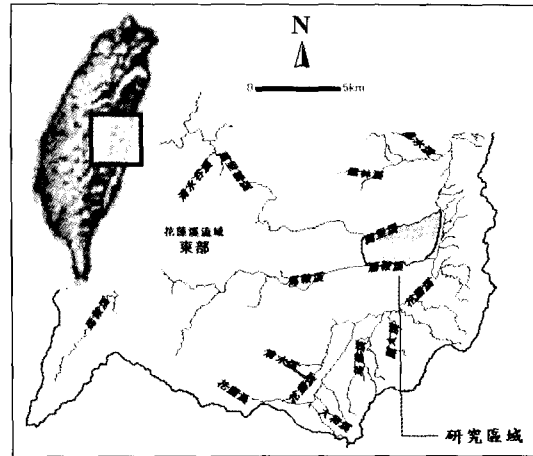


圖 1 研究區域示意圖

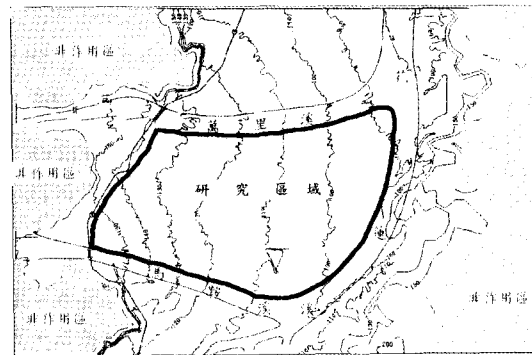


圖 2 研究區域模擬範圍、網格區分、非作用區與地形高程示意圖

圖 2)。東西兩側之模擬範圍則視海岸山脈與中央山脈標高 200m 以上的區域為不透水岩盤，而將其設定為地下水無法流通的非作用區 (inactive zone)。

地表高程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，依前述條件擷取模擬區域範圍，東西向總長度為 13km，南北向總長度為 9km，數值模擬採用 250m×250m 的小網格，共計東西向網格數 52 格，南北向網格數 36 格。地表以下之含水層厚度乃依河谷地形建構，採用 0m、-100m、-200m 三種不同高程造成階梯型底部高程，如圖 3 所示。由此區域之地質資料顯示 (水規所, 2001)，其含水層並無明顯的分層情況，且因缺乏分層水



圖 3 含水層底部之河谷地形圖

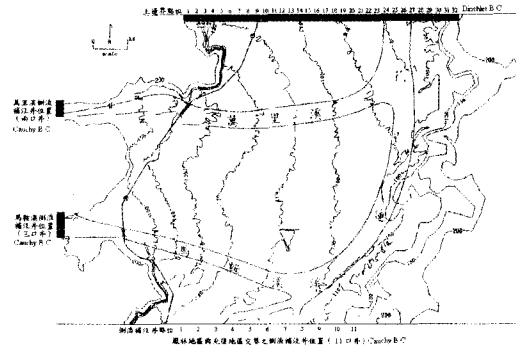


圖 4 地下水概念模式之邊界條件位置示意圖

井數據，因此研究區域之含水層視為同一層。模式中東、西兩邊與非作用區交接處設為零流邊界（No Flow B.C.），北邊界採用已知水頭邊界（Dirichlet B.C.）而南邊界則是屬於側流補注的邊界型態（Cauchy B.C.），西邊的萬里溪與馬鞍溪溪谷隘口處可視為一側流補注區（Cauchy B.C.），匯集上游流域的入滲雨量，由河谷的沖積層注入模擬範圍，於模式中以補注井給定流量之方式進行，如圖 4 所示。

綜合上述概念模式中之各項設定如側流補注區，北邊界之已知水頭邊界，週邊非含水層區域的不透水邊界，加上河川-地下水交換模組計算區域及降雨入滲等輸入條件，且考慮計畫區之地勢為西南方較高東北方較低，推斷研究區域之水流方向應有從西南方流向東北方之趨勢，各項邊界條件作用位置及水流方向如圖 5 所示。

三、水文量

(一) 降雨量

研究區域週邊之代表雨量站計有馬太安、新高嶺及新大觀等三站，依西元 1985 年至 2000 年之歷年資料以徐昇氏法依面積比例求得馬太安權重值為 0.33、新高嶺權重值為 0.26、新大觀權重值為 0.41，以此計算月平均雨量，結果列於表 1。由表 1 可知本區域於五月至十一月降雨較多且以九月最高，而十二月至四月之降雨量較少。由於所取用的資料為馬鞍溪及萬里溪上游集水區之山區雨量站，若直接將其雨量資料直接引用至研究區域上，可能會因山區降雨及平地降雨其

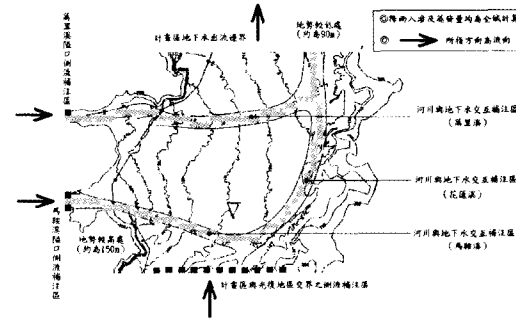


圖 5 研究區域各項邊界條件作用位置及水流方向示意圖

表 1 馬太安、新高嶺及新大觀三雨量站歷年平均月雨量資料表

月份	馬太安	新高嶺	新大觀
	1980 年 至 2000 年	1985 年 至 2000 年	1985 年 至 2000 年
1	340	121	82
2	345.6	139.2	98.5
3	283.8	105.2	78.8
4	267.5	128.3	108.3
5	451.7	256.5	230
6	496.9	317.3	363.5
7	350.5	327.7	384.1
8	443.1	337.7	430.2
9	748.5	537.5	618.3
10	651.6	389.8	425.7
11	379.9	175.5	153.6
12	288.8	103.7	81.7

$$\text{集水區降雨量} = \text{馬太安} \times 0.33 + \text{新高嶺} \times 0.41 + \text{新大觀} \times 0.26$$

單位：mm

表 2 研究區域主要河川歷年地表水平均流量及水位統計

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
花蓮大橋	流量	51.88	56.71	55.22	53.83	63.99	111.43	109.39	137.24	183.2	198.26	112.91	65.54
1970~2000	水位	4.54	4.54	4.52	4.52	4.56	4.73	4.67	4.75	4.86	4.9	4.74	4.6
馬鞍溪橋	流量	4.06	4.38	4.61	4.44	5.89	21.4	13.44	21.02	30.22	23.29	13.24	6.25
1980~2000	水位	164.44	164.5	164.55	164.54	164.57	164.65	164.53	164.49	164.45	164.42	164.48	164.4
萬里溪橋	流量	6.7	8.01	7.45	6.02	7.09	15.65	12.3	16.17	24.96	18.73	14.11	8.38
1980~2000	水位	133.88	133.75	133.74	133.74	133.85	134.09	133.94	134.02	134.17	134.08	134.07	133.93

流量單位：CMS

水位單位：M

特性有所差異而失去其代表性，因此另外找了 1996 至 1998 年氣象局鳳林觀測站之雨量資料與集水區同年資料進行比較。一般而言，山區降雨因地形所致通常大於平地降雨故以氣象局鳳林站資料為分子，集水區降雨資料為分母取得一降雨比例係數，經分析後得到全年之平地/山區降雨比例係數約為 0.64。

(二) 逕流量

影響計畫開發區水源調配的河川有主流花蓮溪及萬里溪、馬鞍溪兩支流，西元 1980 年至 2000 年之歷年地表水平均流量及水位統計資料如表 2 所列。

(三) 含水層之側流補注量

於地下水數值模擬中，含水層模擬範圍外之地下水側流補注量是個較難決定之數值，目前常被採用的方式有水收支平衡推算及數值模式反推法等，兩種方法各有其優點與缺點。水收支平衡法是將研究區域視為一控制體，利用進出控制體之水量來求得側流補注量。此法之準確度建立在精確量測其餘各種水量之基礎上，但諸如蒸發量、未飽和含水層水流量、土壤含水量、河川補注量量測等均屬不容易精確量測其時空分佈之水量，因而增加了側流補注量的不確定性。而數值模式反推法是建立一數值模型，將各種影響地下水之參數值與邊界條件、初始條件等一一定義詳細後，給定邊界條件上的已知水位高程而模擬計算得邊界上之地下水側流量。此法受限於邊界條件與參數之不確定性，需藉由實測資

料來確定各參數之正確性，否則易造成偏離事實的不合理高估或低估。此外數值模式反推法因對研究區域建立一數值模型可另外提供各水文量之時間與空間之分佈等資訊，此為水收支平衡法所無法比擬。

本研究嘗試由側流補注量的起源來推求其合理量。因現地實勘資料貧乏，本研究中假設於研究區域中會產生側流補注量的地區以有河床堆積層的入流河谷為主，分別為馬鞍溪隘口、萬里溪隘口及光復地區與研究區交界面三處，兩處溪流隘口之地下水側流量來自於其上游集水區之降雨入滲所形成的地下水流，研究區與光復地區交界面之側流補注量則是來自於光復地區之地下水流。其他山脈交界處與岩盤裂縫或有泉水湧入，在此因資料不足暫時不予考慮。

本文中側流補注的估算如下，首先推估該集水區域可以有多少的雨量補注到地下水，以該區降雨量乘上集水區面積得降雨總量並扣除其逕流量得到之非逕流量，再依豐枯水季推求其側流入滲係數作為水文資料參數，將非逕流量與側流入滲係數相乘而估得該區之側流補注總量，其基本算式如下：

$$Q_{SID} = C_E \times (P \times A - Q_R) \dots\dots\dots(1)$$

式中

- Q_{SID} : 年側流補注總量[LT⁻¹]
- P : 集水區年降雨量[LT⁻¹]
- C_E : 側流入滲係數
- A : 上游集水區面積[L²]
- Q_R : 年逕流量[L³T⁻¹]

表 3 側流補注井之比例係數一覽表

萬里溪側流補注井比例係數 (地層厚度相同分兩口補注井)											0.50
馬鞍溪側流補注井比例係數 (地層厚度相同分三口補注井)											0.33
鳳林地區與光復地區交界之側流補注井比例係數											
點 位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
地層厚度(m)	215	213	210	209	307	306	307	309	316	227	254
係 數	0.07	0.07	0.07	0.08	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.08	0.08

模式中側流補注於模式中以水井補注方式進行模擬，依不同溪流分成不同的井數，其井位如圖 3 所示，且各井依其含水層厚度加以分配其補注水量之比例如表 3 所示。

因水深可忽略，故河川水位於空間上是採用平均河高，而不考慮各河川斷面間之差異。於非穩態模擬中，空間上雖仍一致但其值則需隨著各句改變給予不同的時間水位。

(四) 河川與地下水間之流出及流入量

地下水流出地表河川及河川水補注含水層之水量乃配合河川流量資料以及河川水位與地下水水位來決定，此條件決定了川流水與地下水之間的交換關係，此亦是本研究要務之一。於 PMWIN 數值模式中，是以(2)式的河川模組控制方程式，簡化了河川與地下水交互補注之情況 (Anderson, 1992)。

$$Q_{RIV} = C_{RIV} \cdot (h_{RIV} - h_{sub}) \quad h_{sub} > R_{BOT}$$

$$Q_{RIV} = C_{RIV} \cdot (h_{RIV} - R_{BOT}) \quad h_{sub} \leq R_{BOT} \dots\dots(2)$$

$$C_{RIV} = \frac{K_b \cdot L \cdot W}{M} \dots\dots\dots(3)$$

式中 Q_{RIV} ：河流與地下水含水層間的滲漏率(the Rate of Leakage) [L^3T^{-1}]； C_{RIV} ：河流底床的透水係數(Conductance) [L^2T^{-1}]； h_{RIV} ：河流的水頭高[L]； h_{sub} ：河流旁網格的地下水水頭高[L]； R_{BOT} ：河流底床的高程[L]； K_b ：河底濕週控制滲流流速的水力傳導係數[LT^{-1}]； L ：網格內河道長度[L]； W ：河道寬度[L]； M ：河流底床瓶頸顆粒的代表厚度[L]。

因所模擬的主體乃地下水含水層，故當含水層的水位 h_{sub} 高於河流水位 h_{RIV} 時， Q_{RIV} 乃是負

值，代表地下水補注了河流。否則 Q_{RIV} 為正值，代表河水補注地下水層。

於本研究區域中，地表蒸發量併入降雨入滲中考慮，而淺層地下水的蒸發量因研究區域之地下水水位面與地表約有 20m 的差距，相對於其他水文量之影響可將淺層地下水蒸發量忽略。

(五) 水力傳導係數

台糖公司地下水保育中心曾於民國 89 年於本研究區域內的扇頂及扇尾地區做過現地調查，得到扇頂地區約為 288m/day、扇尾地區約為 216 m/day，本研究採兩者平均 259m/day 為模式之水力傳導係數值。

四、數值模式模擬與結果討論

本文依地下水概念模式建構出數值模式之後，礙於當地僅有民國 69 年與民國 88 年豐枯水季之地下水等水位線圖可供參考，故以多年平均數值模擬與民國 69 年之地下水等水位線進行比較，確認模式各項參數選定是否無誤。再已確認後之參數進行民國 88 年之數值模擬與該年之地下水等水位線進行比較，驗證模式之可信度可接受後 (水規所，2001)，採用側流入滲係數於豐水季為 0.5 於枯水季為 0.7，並以下述方式進行本文所要探討的抽水策略對開發區地下水水位之影響。

本研究以該地區民國 88 年每一句的水文量進行非穩態的句模擬，以其所得之結果為基礎進行地下水不同位置與不同抽水時段的試驗。首先進行民國 88 年非穩態模擬，模式中所需的資料包括每一句的降雨入滲、河川水位、側流補注量及已知水頭邊界之水頭值等水文資料，相關數據如表 4 至表 7 所列，並以此模擬結果為基礎進行

表 4 民國 88 年非穩態模擬之降雨入滲量

月份	旬	集水區平均旬雨量 (mm/day)	計畫區平均旬雨量 (mm/day)	計畫區平均旬雨量 (m/day)
1	上	2.74	1.3	0.0013
	中	7.9	3.8	0.0038
	下	4.61	2.2	0.0022
2	上	4.56	2.2	0.0022
	中	4.51	2.2	0.0022
	下	6.12	2.9	0.0029
3	上	2.46	1.2	0.0012
	中	6.06	2.9	0.0029
	下	6.7	3.2	0.0032
4	上	4.43	2.1	0.0021
	中	6	2.9	0.0029
	下	5.97	2.9	0.0029
5	上	17.4	6.2	0.0062
	中	2.69	1.0	0.0010
	下	12.55	4.5	0.0045
6	上	46.63	16.6	0.0166
	中	18.29	6.5	0.0065
	下	11.36	4.0	0.0040
7	上	7.1	2.5	0.0025
	中	6.34	2.3	0.0023
	下	9.41	3.3	0.0033
8	上	16.18	5.7	0.0057
	中	4.6	1.6	0.0016
	下	24.41	8.7	0.0087
9	上	23.46	8.3	0.0083
	中	12.76	4.5	0.0045
	下	2.96	1.1	0.0011
10	上	18.66	6.6	0.0066
	中	9.19	3.3	0.0033
	下	3.7	1.3	0.0013
11	上	4.58	1.6	0.0016
	中	3.66	1.3	0.0013
	下	7.55	2.7	0.0027
12	上	4.67	2.2	0.0022
	中	12.19	5.9	0.0059
	下	2.76	1.3	0.0013
豐水季區域降雨係數				0.71
枯水季區域降雨係數				0.48
豐水季逕流係數				0.5
枯水季逕流係數				0.0

表 5 民國 88 年非穩態模擬之網格河川水深

月份	旬	馬鞍溪旬平均網格河床高 (m)	萬里溪旬平均網格河床高 (m)	花蓮溪旬平均網格河床高 (m)
1	上	0.04	0.03	0.21
	中	0.03	0.03	0.19
	下	0.03	0.03	0.19
2	上	0.03	0.02	0.15
	中	0.03	0.02	0.15
	下	0.02	0.01	0.08
3	上	0.03	0.01	0.10
	中	0.03	0.01	0.10
	下	0.03	0.01	0.10
4	上	0.02	0.01	0.08
	中	0.03	0.01	0.10
	下	0.03	0.02	0.15
5	上	0.03	0.02	0.15
	中	0.03	0.02	0.15
	下	0.03	0.03	0.19
6	上	0.16	0.1	0.75
	中	0.1	0.11	0.67
	下	0.06	0.12	0.64
7	上	0.04	0.1	0.51
	中	0.04	0.03	0.21
	下	0.04	0.03	0.21
8	上	0.03	0.03	0.19
	中	0.04	0.04	0.25
	下	0.05	0.07	0.40
9	上	0.05	0.06	0.36
	中	0.05	0.06	0.36
	下	0.05	0.06	0.36
10	上	0.04	0.05	0.30
	中	0.06	0.06	0.38
	下	0.06	0.06	0.38
11	上	0.05	0.03	0.23
	中	0.05	0.03	0.23
	下	0.04	0.02	0.17
12	上	0.04	0.02	0.17
	中	0.04	0.04	0.25
	下	0.04	0.04	0.25

不同時空分佈之抽水對地下水水位面升降之影響。

爲了研究抽水井於不同空間分佈與不同抽水時間的差異，故需先決定年總抽水量，作爲各種模擬測試之比較基礎。依據水規所「地下水數值模式應用-花蓮鳳林綜合開發區地下水可開發

量研究」中建議之水源調配方式，計算當地歷年缺水情況（水規所，2001）。可知該地區最大缺水年爲民國 50 年，共計缺水 16 旬，總缺水量爲 1763.42 萬噸，本文即以此一歷年最大缺水量爲抽水量來進行各項不同的模擬。

表 6 民國 88 年非穩態模擬之上邊界已知水頭條件

月 份	旬	88 年上邊界--定水頭邊界																																				
1	上	70	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69	69	69	68	68	68	68	68	67	67	67	67	67	66	66	66	66	65	65	64	64	63	62	61	61		
	中	69	69	69	69	69	69	69	68	68	68	68	68	68	67	67	67	67	67	66	66	66	66	66	65	65	64	64	63	63	62	62	61	61	61			
	下	69	69	69	69	69	69	69	68	68	68	68	68	68	67	67	67	67	67	66	66	66	66	66	65	65	64	64	63	63	62	61	60	60	60			
2	上	68	68	68	68	68	68	67	67	67	67	67	67	66	66	66	66	66	65	65	65	65	65	64	64	63	63	62	62	61	61	60	60	60				
	中	69	69	69	69	69	69	68	68	68	68	68	68	67	67	67	67	67	66	66	66	66	66	65	65	64	64	63	63	62	62	61	60	60				
	下	69	69	69	69	69	69	68	68	68	68	68	68	67	67	67	67	67	66	66	66	66	66	65	65	64	64	63	63	62	62	61	61	61				
3	上	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69	69	69	68	68	68	68	68	67	67	67	67	67	66	66	65	65	64	64	63	63	62	61	61				
	中	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69	69	69	68	68	68	68	68	67	67	67	67	67	66	66	65	64	63	63	62	61	61	61					
	下	71	71	71	71	71	71	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69	69	68	68	68	68	67	67	66	66	65	65	64	64	63	63	62	61	61			
4	上	71	71	71	71	71	71	71	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69	69	68	68	68	68	67	67	66	65	64	64	63	63	62	61	61				
	中	72	72	72	72	72	72	72	71	71	71	71	71	71	70	70	70	70	70	69	69	69	69	68	68	67	66	65	65	64	63	63	62	61	61			
	下	72	72	72	72	72	72	72	71	71	71	71	71	71	70	70	70	70	69	69	69	69	68	68	67	66	65	65	64	63	63	62	61	61				
5	上	73	73	73	73	73	73	73	72	72	72	72	72	72	71	71	71	71	71	70	70	70	70	69	69	68	67	66	66	65	65	64	63	62	61			
	中	74	74	74	74	74	74	73	73	73	73	73	73	72	72	72	72	72	71	71	71	71	70	70	70	69	68	68	67	66	65	65	64	63	62	61		
	下	74	74	74	74	74	74	74	73	73	73	73	73	73	72	72	72	72	72	71	71	71	71	70	70	69	68	67	66	66	65	65	64	63	62	61		
6	上	75	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	74	73	73	73	73	73	72	72	72	72	71	71	71	70	69	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61	
	中	75	75	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	74	73	73	73	73	73	72	72	72	72	71	70	69	68	68	67	66	65	65	64	63	62	61		
	下	76	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	73	73	73	73	72	72	71	70	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61		
7	上	76	76	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	73	73	73	73	72	71	70	69	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61	
	中	77	77	77	77	77	77	77	76	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61
	下	77	77	77	77	77	77	77	76	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61
8	上	78	78	78	78	78	78	78	77	77	77	77	77	77	76	76	76	76	76	75	75	75	75	74	74	74	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	65	
	中	77	77	77	77	77	77	77	76	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61
	下	77	77	77	77	77	77	77	76	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61
9	上	76	76	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	73	73	73	73	72	71	70	69	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61	
	中	76	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	73	73	73	73	72	72	71	70	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61		
	下	75	75	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	74	73	73	73	73	73	72	72	72	72	71	70	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61	61		
10	上	75	75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	74	73	73	73	73	73	72	72	72	72	71	71	70	69	69	68	67	66	65	65	64	63	62	61		
	中	74	74	74	74	74	74	73	73	73	73	73	73	72	72	72	72	72	71	71	71	71	70	70	69	68	68	67	66	65	65	64	63	62	61	61		
	下	74	74	74	74	74	74	73	73	73	73	73	73	72	72	72	72	72	71	71	71	71	70	70	69	68	68	67	66	65	65	64	63	62	61	61		
11	上	73	73	73	73	73	73	72	72	72	72	72	72	71	71	71	71	71	70	70	70	70	69	69	69	68	68	67	66	65	65	64	63	62	61	61		
	中	72	72	72	72	72	72	72	71	71	71	71	71	71	70	70	70	70	70	69	69	69	69	68	68	68	67	66	65	65	64	63	62	61	61			
	下	72	72	72	72	72	72	72	71	71	71	71	71	71	70	70	70	70	69	69	69	69	68	68	68	67	66	65	65	64	63	62	61	61	61			
12	上	71	71	71	71	71	71	71	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69	69	68	68	68	68	67	67	66	65	65	64	63	62	61	61	61	61			
	中	71	71	71	71	71	71	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69	69	68	68	68	68	67	67	66	65	65	64	63	62	61	61	61	61	61			
	下	70	70	70	70	70	70	70	69	69	69	69	69	69	68	68	68	68	68	67	67	67	67	66	65	65	64	63	62	61	61	61	61	61	61			

表 7 民國 88 年非穩態模擬之側流補注量一覽表

單位	CMD	馬鞍		萬里		光復	
平均非逕	豐水季	607580	C.M.D.	1662260	C.M.D.	565809	C.M.D.
流雨量	枯水季	47234	C.M.D.	963062	C.M.D.	216139	C.M.D.
月份	旬	逕流比例值	側流補注	逕流比例值	側流補注	逕流比例值	側流補注
1	上	1.27	41991	1.91	1287614	1.59	240563
	中	1.13	37362	1.7	1146044	1.415	214086
	下	1.06	35048	1.06	714592	1.06	160375
2	上	0.91	30088	0.76	512349	0.835	126333
	中	0.77	25459	0.45	303365	0.61	92291
	下	0.76	25128	0.29	195502	0.525	79431
3	上	0.73	24137	0.24	161794	0.485	73379
	中	0.87	28766	0.37	249433	0.62	93804
	下	0.8	26451	0.39	262916	0.595	90022
4	上	0.69	22814	0.23	155053	0.46	69597
	中	0.64	21161	0.21	141570	0.425	64301
	下	0.62	20500	0.22	148312	0.42	63545
5	上	0.48	145819	0.16	132981	0.32	90529
	中	0.46	139743	0.28	232716	0.37	104675
	下	0.48	145819	0.25	207783	0.365	103260
6	上	2.89	877953	4.04	3357765	3.465	980264
	中	0.82	249108	2.28	1894976	1.55	438502
	下	1.2	364548	1.43	1188516	1.315	372019
7	上	0.84	255184	0.81	673215	0.825	233396
	中	0.63	191388	0.39	324141	0.51	144281
	下	0.61	185312	0.35	290896	0.48	135794
8	上	0.73	221767	0.59	490367	0.33	93358
	中	0.61	185312	0.61	506989	0.61	172572
	下	1.44	437458	1.65	1371365	1.545	437087
9	上	2.16	656186	2.1	1745373	2.13	602587
	中	1.19	361510	0.99	822819	1.09	308366
	下	0.83	252146	0.81	673215	0.82	231982
10	上	0.94	285563	1.17	972422	1.055	298464
	中	1	303790	1.21	1005667	1.105	312609
	下	0.77	233918	0.69	573480	0.73	206520
11	上	0.69	209615	0.48	398942	0.585	165499
	中	0.66	200501	0.4	332452	0.53	149939
	下	0.65	197464	0.33	274273	0.49	138623
12	上	1.22	40338	1.43	964025	1.325	200469
	中	1.27	41991	1.71	1152785	1.49	225433
	下	1.21	40007	1.7	1146044	1.455	220138
有效入滲係數		豐水季		0.5	枯水季		0.7

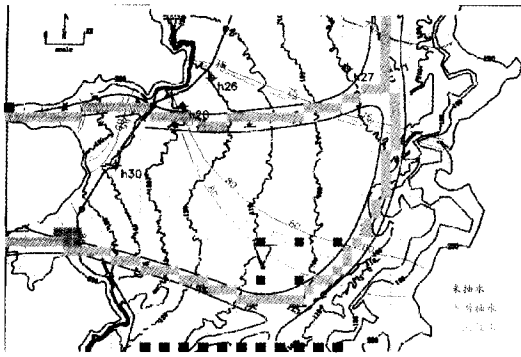


圖 6 全年每日抽水五萬噸及未抽水模擬於第 12 旬（枯水季尾）地下水水位

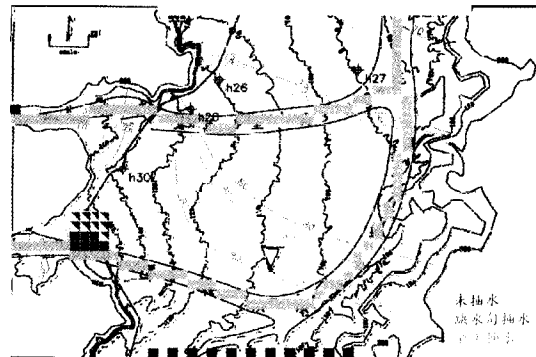


圖 8 歷史最大缺水年全年抽水與枯水季抽水及未抽水模擬之第 13 旬地下水水位

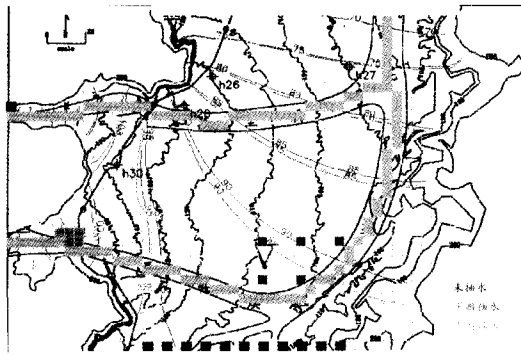


圖 7 全年每日抽水五萬噸及未抽水模擬於第 33 旬（豐水季尾）地下水水位

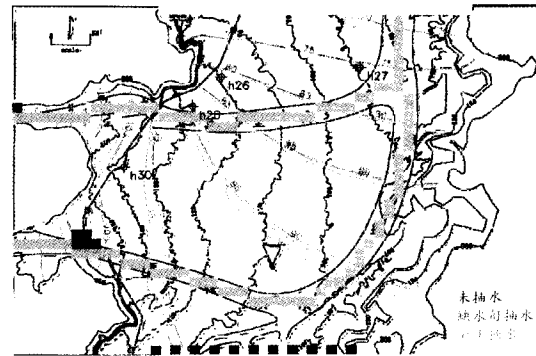


圖 9 歷史最大缺水年全年抽水與枯水季抽水及未抽水模擬之第 33 旬地下水水位

(一) 抽水井設置於不同的空間分佈

為了瞭解抽水井於研究區域內不同位置的抽水差異，分別將抽水井設置於上游（西區）及下游（東區）地區，以連續抽水方式運作。為求符合實際之狀況，每口抽水井以每日一萬噸抽水為上限。以年總缺水量 1763.42 萬噸並採每日抽水，每日約抽取 5 萬噸，全年共抽取 1825 萬噸。取枯水季與豐水季結束旬（第 13 旬及第 33 旬）的模擬結果如圖 6 與圖 7 加以比較。

對於抽水井設置於不同位置之模擬結果加以比較，圖 6 與圖 7 繪有民國 88 年末抽水，以及上游抽水或下游抽水於枯水季與豐水季結束時之模擬水位。比較兩圖可發現枯水季結束時，地下水水位下降的情況較豐水季結束時嚴重，此乃因為枯水季可補注至地下水之水量較少之故。由圖亦可知，抽水井設置處其地下水水位下降得較嚴重，而離抽水井越遠其影響程度越小，

因此若將抽水井設置於上游，將使位於較下游的開發區受到較小的影響。但是，毋論設置抽水井於上游或是下游都無法使地下水水位面回復到未抽水時的高程。

(二) 抽水井於不同時間分佈操作

為了模擬抽水時間對於地下水位的長期影響，將抽水井均設置於上游地區，分別採用全年每日連續抽水以固定量及枯水季每日連續抽水但豐水季停止抽水兩種不同的操作方式但達到相同的總抽水量來進行，比較全年利用地下水供給需求水量以及豐水季僅利用地表水源枯水季再利用地下水增加供水量兩種不同的供水策略。每一口抽水井的每日抽水量上限仍訂為 1 萬噸，年總抽水量同為 1825 萬噸，取枯水季與豐水季結束之第 13 旬及第 33 旬模擬結果如圖 8 與圖 9 加以比較。

依據民國 88 年之水文條件，模擬未抽水、全年抽水以及僅於枯水季抽水之三種情況，將枯水季與豐水季結束之模擬結果套繪於圖 8 與圖 9，以比較不同時間抽水操作之模擬結果。由圖 8 可發現，抽水均集中於缺水旬會比全年抽取造成地下水位於枯水季更嚴重之下降，但若比較圖 9 可發現經過豐水季後，僅於枯水季抽水之模擬地下水等水位線卻比全年抽水模擬更為接近未抽水的情況。此一結果可說明持續的抽取地下水將造成地下水位無法回復至未抽水時之水位高度，而適度的停止抽水讓地下水於豐水期的自然補充將可回復至未抽水時之水位高度，如此將可降低抽水對於地下水資源儲存量的衝擊，也較符合永續利用的標的。

五、結 論

於本研究所選定的花蓮鳳林地區，綜合以上針對抽水井於不同空間分佈與不同操作時間的比較分析，可得以下幾點結論。

1. 抽水井設置於地下水水源之上游地區，對於研究區域地下水水位面下降之影響較輕微，而若於計畫區域內設置抽水井則會造成較區域內嚴重的地下水水位下降。
2. 於相同的年總抽水量條件下，僅於枯水季抽取地下水使用，在豐水季時停止抽水使地下水自然獲得補充，經過一年後地下水水位與全年未抽水之水位十分接近，但於枯水季因抽水的緣故會使地下水水位有較大的降幅。
3. 於相同的年總抽水量條件下，連續不斷的日抽水量將比僅於枯水季抽水的單日抽水量小。因此全年連續抽水之地下水水位於枯水季的降幅將比僅於枯水季抽水的降幅來得較小，但因豐水季後仍持續抽水致使地下水無法獲得充分補充，最終結果與全年未抽水的情況竟有一明顯的差距，不可忽視。

誌 謝

本研究承蒙水利署水利規劃試驗所補助研究經費得以順利進行，特此謹致謝忱。

參考文獻

1. Anderson, M. P., Woessner, W. W., (1992), "Applied Groundwater Modeling", Academic Press.
2. Chiang, Wen-Hsing and Wolfgang Kinzelbach, (2001), "3D-Groundwater Modeling with PMWIN", Springer.
3. 台灣省水利局, (1979), 「東部地下水調查報告」。
4. 台灣省水利局規劃總隊, (1980), 「東部地區地下水調查報告」。
5. 台灣省水利局, (1989), 「花蓮溪水系治理規劃報告」。
6. 台灣省水利局, (1995), 「花蓮馬鞍溪水資源開發初步規劃報告」。
7. 曾鈞敏, (1998), 「GMS 應用於河道滲漏量之模擬」, 經濟部水資源局。
8. 經濟部水利署水文資料服務網站 (http://wis.wca.gov.tw/wis/is/is_menu.cfm)。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所, (2001), 「地下水數值模式應用-花蓮鳳林綜合開發區地下水可開發量研究」。
10. 經濟部水利處水利規劃試驗所, (1999), 「花東縱谷地下水調查研究(一)」。
11. 經濟部水利處水利規劃試驗所, (2000), 「馬鞍溪攔河堰工程規劃檢討」計畫規劃中資料。

收稿日期：民國 91 年 8 月 7 日

修正日期：民國 91 年 10 月 18 日

接受日期：民國 91 年 10 月 24 日