

# 屏東平原地下水人工補注之可行性研究

## A Feasibility Study on Artificial Recharge of Groundwater for Pingtung Plain

國立屏東科技大學土木工程系  
副教授

丁澈士  
Cheh-Shyh Ting

國立屏東科技大學土木工程系  
碩士

周建名  
Chien-Ming Chou

### 摘 要

本研究針對林邊溪上游規劃選取兩處人工湖址；及高屏溪中游規劃抽水井並選取兩處人工湖址，研擬以人工湖泊法入滲補注地下水含水層五個方案及抽水井兩方案佈置開發利用之可行性研究。經方案模擬結果顯示，以設置人工湖與不設置人工湖作比較，可以發現於地下水位之補注有明顯的改善。以同時放置多口人工湖或單口人工湖，則水頭增量也會有不同之差異，尤其以大窩營農場為最，萬隆農場次之，吉洋地區最差；研究結果亦顯示，於高屏溪中下游處加設抽水井群，其水頭差以溪埔觀測站水位降低最少；里港觀測站降低最多。若於林邊溪流域增設抽水井群，其水頭差以崎峰觀測站水位降低最少；新埤觀測站降低最多。

為尋求達成地下水人工補注之效果及確定影響入滲補注相關因子，本研究建議應先行設置小型人工補注湖之先驅試驗，藉由試驗瞭解相關因子及現地資料並應用已建立之數值模式；再分析補注量及對地下水位之影響，俾能得出最佳之補注池之設計，也提供屏東平原水資源永續開發利用與保育之參考。

**關鍵詞：**屏東平原，人工湖，數值模式，地下水補注。

### ABSTRACT

This paper is to focus on the feasibility study by artificial recharge of groundwater. A series of well fields along the Kaoping River and four sites of artificial lake along the Linpien River have been thus selected for scenario simulation to solve the water resources development and management in the plain. In order to focus on the favorable evaluation for artificial recharge lake, twelve scenarios have been carried out using the numerical simulation model in the thesis. To re-dense the grid of model and simulate the real scale

of artificial lake have also been established.

Based on the results of the simulation, to set up the artificial recharge lake is better than to no set up artificial recharge lake for groundwater recharge have been found on the groundwater hydraulic head rise. In the scenario simulation, to set up one artificial recharge lake and over one artificial recharge lake can be found the different of flux from indicated cell, especially Sugarcane Farm located at Ta-Hsiang-Yin is the best one, Wanlong and Jiyang are in sequence. To install pumping well fields along Kaoping and Linpien Rivers, the difference of hydraulic head is much more less from Hsinpu Observation Well than Likang, and Gifeng Observation Well than Hsinpei individually.

With an aim to achieving the efficiency of artificial recharge of groundwater and confirming the relative factors of infiltration recharge, the recommendations to propose the small-scale pilot experiment should be tested before practice. The better understanding will be gained from the pilot test together with in-situ information to import into the simulation model. From the calibrated model, it can predict the groundwater recharge amount and water level changes through the optimized design of recharge basins. The well results can be provided to the sustainable water resources development and management for Pingtung Plain.

**Keywords:** Pingtung plain, Artificial lake, Numerical model, Artificial recharge of groundwater.

## 一、前言

隨著經濟和城鄉建設的大規模發展、都市人口的集中和增長，對水資源的需求量也隨之遽增。在水資源開發過程中，地下水人工補注工程長期以來一直受到產官學界實際上的關注，主要原因是這種取水方式吸收了地面水和地下水的各自優勢，即依靠地面水源補注，利用地下水儲存空間進行充分調節，它既能使地面水體得到天然淨化，同時也可增加地下水的開採資源、擴大現有取水工程的生產能力；防止由於地下水過量開採而造成的地層下陷，和沿海地區海水入侵、土壤鹽化等環境地質災害的發生，亦可由地下水人工補注方式解決。

故本研究在高屏溪中游及林邊溪上游規劃選取四處人工湖址，研究以群井抽水開發地下水資源及以人工湖入滲至地下水含水層，作為水資源開發利用及地下水補注之目的。

## 二、研究目的與流程

本研究目的旨在：

1. 建立以往作者在屏東平原完成之數學模式試驗成果之數據的基礎上，配以前經濟部水資源局建置完成之屏東平原觀測站網計劃之最新資訊，應用地理資訊系統結合地下水流數學模式，改進丁澈士(Ting, 1997)[7]已建立之數學模式進行以 1996 及 1997 年地下水位再校正，並驗證各項水文變量(Hydrological Stresses)，水文地質參數 (Hydrogeological parameters) 以符合屏東平原水文地質之合理性。

2. 運用前述之地下水流數值模式模擬以人工湖補注地下水，藉以探討在不同區位抽水及人工湖區域面積大小對地下水位及人工補注之效果。期能提供未來決策單位探究在不同區位抽取地下水及施設人工湖以供應標的用水及地下水人工補注之可行性參考。本研究之流程如圖 1 所示。

本研究主要以屏東平原為研究範圍，首先進行屏東沖積平原現有資料之收集與分析，以建立地下水流模擬模式，以構成地下水資源模式並利用補注池補注地下水。利用補注池補注地下水，是一項屬於應用層面的主題。而在實際補注系統

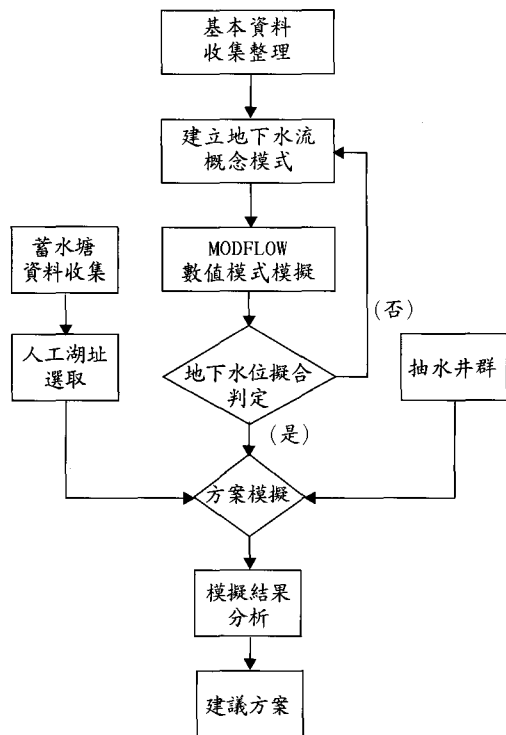


圖 1 研究流程圖

設計與管理之前，一些問題必須釐清與解答，以獲得最佳的水力與經濟效益(Bouwer, 1986)[5]。

適合地點是其中一個非常重要的問題，必須要經由土壤調查調查與量測入滲/土壤的水力傳導性，以初步評估其補注效率。另外，補注池之水深亦必須訂定。當補注池濕周尚未被細顆粒或其他淤塞 (clogging) 材質覆蓋之前，可能發現深池比淺池有更大的入滲率(Bouwer, 1989) [4]。但是在池底淤塞之材質將因水深的增加而更加壓縮，由此可知選擇適當的地點進行人工地下水補注尚必須考慮到補注水源、地質、水文地質、以及用地取得等問題。

除了上述之人工湖選址評估並模擬外，本研究並於高屏溪中上游與林邊溪流域附近假設若干抽水井群模擬其與人工湖搭配後對水位與水量之影響。此一目的，不但可探討群井效應對附近地區甚至下游地區之水位變化，亦可達到人工湖需求補注量之地面水地下水聯合運用之雙重目標。

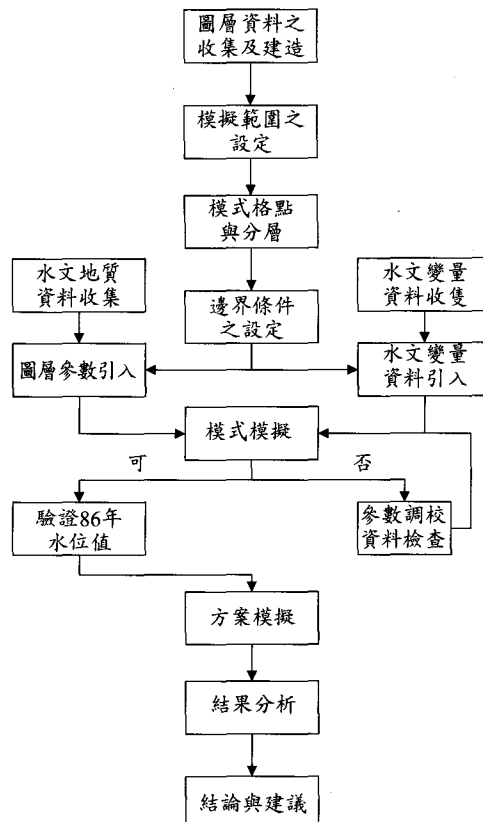


圖 2 地下水人工補注模式模擬流程圖

### 三、地下水人工補注數值模式

數值模式建立應先經過基本資料蒐集、概念模式設定、模式建立及校正過程。屏東平原地下水人工補注模式架構建立之步驟，包括模擬範圍的設定、模式格點與分層、邊界條件、水文地質參數、水文變量、以及初始水頭的選擇，利用 1996 年的觀測水位資料進行模式校正(周建名，2000)[1]。其流程圖如圖 2。

屏東平原呈縱長矩形，東西寬約 22 公里，南北長約 55 公里，標高 100 公尺以下之面積約為 1,130 平方公里。平原北倚旗山溪與荖濃溪一帶之低山，南臨台灣海峽，東界以潮州斷層與中央山脈相接，西則跨高屏溪至其右岸之嶺口丘陵。行政區域則包括屏東縣二十個鄉鎮市及高雄縣五個鄉鎮市。本研究之模擬範圍面積為 1,130 平方公里，東西寬 31 公里，南北長 70 公里，包

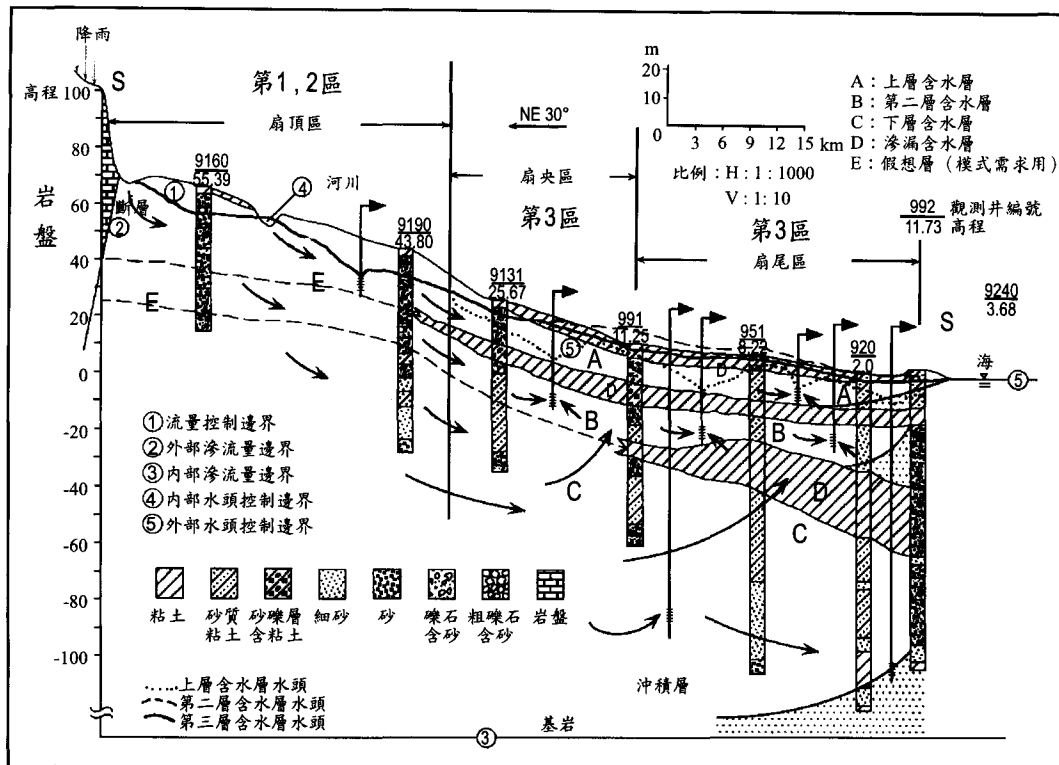


圖 3 屏東平原水文地質概化模式圖

含了整個屏東平原地下水區，模擬含水層深約為 220 公尺。為考量有些輸入資料是以鄉鎮為推估單位。因此，本計畫模式中的屏東平原包含了各所轄鄉鎮市。

本模式邊界條件之設定大抵以經濟部地調所所釐定之邊界條件為基準（中央地調所，1997）[2]。模式北邊以旗山溪及荖濃溪上游一帶之低上為界，西界為高屏溪右岸之鳳山丘陵與嶺口丘陵，東接中央山脈南端之西斜面之潮州斷層並以一百公尺等高線模擬之，上述北邊與東邊邊界外緊接輕度變質或未變質之中新世地層，西邊邊界假設為地下水分水線，都設定為不透水之零流邊界，模式南邊邊界相鄰台灣海峽設定為定水頭邊界，概念模式如圖 3 所示。

為瞭解並模擬本研究區域內地下水之流動狀態及其與河川、降雨、蒸發散量等之間的相互關係，本研究採用地下水數值模式來進行模擬，而為了便於各項資料之輸入與處理。因此，

採用了 PM (Processing MODFLOW, Chiang & Kinzelbach, 2000)之軟體進行數值模式之模擬。所謂 PM(Processing MODFLOW)，乃是根據美國地質調查所(U.S.G.S; United States Geological Survey)所發展之地下水流模擬程式 MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988)[6]之前後置處理軟體。本模式在現有輸入資料之可信度與模式精度要求的考量下，格點之劃分設定為 1 公里  $\times$  1 公里的等間距格點，每格面積為 1 平方公里。因此，在模式範圍內共劃分成 71 列 30 行，每一分層有 2,130 個格點。實際模擬範圍之格點如圖 4 所示。

#### 四、方案模擬與結果分析

##### 4.1 模擬方案說明

研究區域地下水流模式經校正(calibration)後，可作為預測模擬(prediction)，本研究規劃 14 個方案予以模擬，其方案內容如表 1。模擬區域

表 1 方案說明表

方案	說明
A1	於西隆地區附近開挖人工湖 3 公尺之單口人工湖模擬並分析
A2	於西隆地區附近開挖 6 公尺之單口人工湖模擬並分析
A3	於西隆地區附近開挖 6 公尺之人工湖群模擬並分析
B1	於吉洋地區附近開挖 16 公尺之單口人工湖模擬並分析
B2	於吉洋地區附近開挖 19 公尺之單口人工湖模擬並分析
B3	於吉洋地區附近開挖 19 公尺之人工湖群模擬並分析
C1	於萬隆農場擬設開挖 10 公尺之單口人工湖模擬並分析
C2	於萬隆農場擬設開挖 15 公尺之單口人工湖模擬並分析
C3	於萬隆農場擬設開挖 15 公尺之人工湖群模擬並分析
D1	於大響營農場擬設開挖 10 公尺之單口人工湖模擬並分析
D2	於大響營農場擬設開挖 15 公尺之單口人工湖模擬並分析
D3	於大響營農場擬設開挖 15 公尺之人工湖群模擬並分析
E1	於高屏溪中下游設一抽水群井
E2	於林邊溪中下游設一抽水群井

於西隆地區、吉洋地區附近及萬隆農場與大響營農場進行模擬其位置示意圖如圖 5。其中 A 地區為西隆地區，B 地區為吉洋地區附近，C 地區為萬隆農場，D 地區為大響營農場。並於模擬方案 E 內並設置抽水群井以評估其對周圍地下水位之影響程度。以下為各方案之互相搭配探討各方案之間之搭配成果與補注效益提出分析。而由表 1 可知，本研究方案模擬區域為高屏溪中下游之西隆地區、吉洋地區及林邊河流域之萬隆農場、大響營農場，並分別擬設置人工湖，將網格加密使得每口人工湖之面積為 4 公頃，加密網格使人工湖模擬更符合實際情況。本研究並於整個屏東平原數值模式中切割林邊溪之流域邊界，由模式所產生之隨時間與空間變化之特定水頭為新生

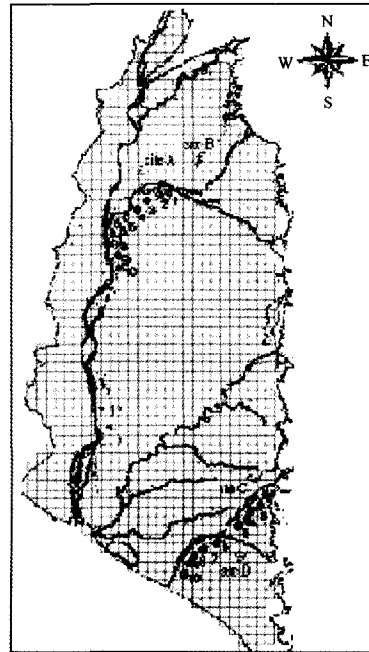


圖 4 模擬範圍之網格圖

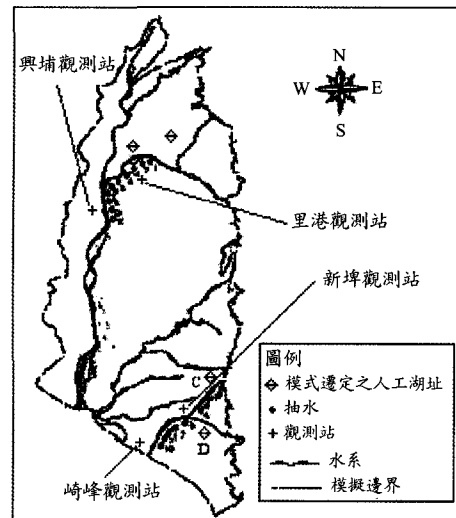


圖 5 模擬人工湖址與抽水井位置示意圖

成之邊界為模擬邊界。其餘之水文地質參數與水文變量與原模式相同。此目的主要為若採用局部地區之邊界評估分析較使用整個屏東平原數值模擬所佔的空間為小，並且較為詳盡，可以探討特殊區域之水文地質環境的影響。所以，於萬隆

表 2 方案設置模擬區域儲蓄水位變化量表

方案編號	A 人工湖址(西隆地區)						B 人工湖址(吉洋地區)				C 人工湖址(萬隆地區)						D 人工湖址(大響營地區)				
	儲蓄增加量 (m <sup>3</sup> /y)			水頭增量 (m)			儲蓄增加量 (m <sup>3</sup> /y)		水頭增量 (m)		儲蓄增加量 (m <sup>3</sup> /y)			水頭增量 (m)			儲蓄增加量 (m <sup>3</sup> /y)		水頭增量 (m)		
原模式	***						***				***						***				
A1	14,188			1.09			***		***		313,401			1.61			***		***		
A2	17,446			1.45			***		***		955,829			1.63			***		***		
A3	156,284			5.55			***		***		2,155,909			4.81			***		***		
B1	***			***			8,251		0.35		***			***			805,559		1.22		
B2	***			***			11,003		0.61		***			***			827,575		1.28		
B3	***			***			12,706		2.35		***			***			3,720,886		5.49		
A1+B1	14,193			1.18			8,261		0.37		313,389.23			1.6			805,680		1.24		
A2+B2	17,436			1.48			11,015		0.61		955,810.24			1.65			828,157		1.31		
E1	井號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	水頭差(M)	-2.6	-3.3	-3.8	-4.4	-4.2	-3.5	-3	-2.4	-3.5	-2.3	-7.63	-8.17	-8	-7.8	-6.6	-7.5	-8.6	-9.5	-8.8	-7.82

註一：\*\*\*表方案未加以考慮之位址

註二：模擬係以一平方公里網格(cell)計算水均衡；人工湖面積以 200m×200m 計算。

農場與大響營農場切割包含林邊河流域至海平面之矩陣邊界。藉以探討擬設人工湖後，對鄰近水位與儲水量之影響。

在本研究的模擬過程中，特定水頭邊界是透過相關的邊界節點設定為已知的水頭來模擬。當邊界水位隨空間而變，對於湖泊或水庫邊界，通常用特定水頭來模擬。所以確定特定水頭邊界代表一個消耗不盡的水體供應者是相當重要的概念。用這種方式製造大水體是很有用的，可以在模擬期間避免定水頭節點的水位被改變。地下水流系統可以從邊界取水或排水而不會造成此一特定水頭節點在水位上的任何改變。在某些狀況下，它變成了與事實不符的方法。當然，只要邊界的水頭合理，它也可以在模擬的過程中改變邊界水頭。MODFLOW 的一般水頭套裝程式(GHB)提供了簡便的方法可以在模擬中改變邊界的水位值。故方案模擬均以 GHB 邊界水頭模擬人工湖之邊界。

#### 4.2 模擬結果

本研究方案設置模擬區域儲蓄水位變化，模擬結果如表 2，其中方案中之地下水位以 1995 年 12 月之地下水位為模擬初始地下水位，而水位抬升及增加儲蓄量皆以模式中包含設置人工

湖之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)來計算，其他網格之水位抬升及增加儲蓄量皆不予考慮，模擬結果如下所述：

- (1)在方案 A1 中，在西隆地區挖設一人工湖湖底離地下水位 6 公尺(開挖深度 3 公尺)，湖面積為 4 公頃，並且保持每月固定離地面 1 公尺之水位，實施人工補注，經由方案模擬後在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)計算水均衡，其儲蓄增加量為 14,188 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 1.09 公尺。
- (2)在方案 A2 中於西隆地區，開挖一人工湖離地下水位 3 公尺(開挖深度 6 公尺)，湖面積為 4 公頃，除保持每月固定離地面 1 公尺之水位，並實施人工補注，經模式模擬之後，在原有網格(1,000 公尺×1,000 公尺)計算水均衡，發現其儲蓄增加量為 17,446 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 1.45 公尺。
- (3)在方案 A3 中，在西隆地區挖設五個人工湖群，人工湖底離地下水位 3 公尺(開挖深度 6 公尺)，湖面積一共為 20 公頃，使其每月保持長年固定離地面 1 公尺之水位，並且實施人工補注，經方案模擬後，在原有之網格計算水均衡，發現其儲蓄增加量為 156,284 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 5.55 公尺。

- (4) 在方案 B1 中，在吉洋地區附近挖設一人工湖湖底離地下水水位 6 公尺(開挖深度 16 公尺)，湖面積為 4 公頃，並且保持每月固定離地面 1 公尺之水位，實施人工補注，經由方案模擬後在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)計算水均衡，其儲蓄增加量為 8,251 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 0.35 公尺。
- (5) 在方案 B2 中，在吉洋地區附近挖設一人工湖湖底離地下水水位 3 公尺(開挖深度 19 公尺)，人工湖之面積為 4 公頃，在保持每月離地面 1 公尺之水位，實施人工補注，經方案模擬後，在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)計算水均衡，其儲蓄增加量為 11,003 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 0.61 公尺。
- (6) 在方案 B3 中，在吉洋地區附近挖設五個人工湖群，人工湖底離地下水水位 3 公尺(開挖深度 19 公尺)，湖面積一共為 20 公頃，使其每月保持長年固定離地面 1 公尺之水位，並且實施人工補注，經方案模擬後，在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)計算水均衡，發現其儲蓄增加量為 12,706 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 2.35 公尺。
- (7) 聯合 A1 方案與 B1 方案，實施人工補注，經方案搭配模擬後，在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)計算水均衡，其儲蓄增加量分別為 14,193 m<sup>3</sup>/年、8,261 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇分別為 1.18 公尺、0.37 公尺。
- (8) 聯合 A2 案與 B2 案，實施人工補注，經方案搭配模擬後，在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)計算水均衡，其儲蓄增加量分別為 17,436 m<sup>3</sup>/年、11,015 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇分別為 1.48 公尺、0.61 公尺。
- (9) 在方案 E1 中，於高屏溪中下游處加設抽水井 10 口，於 1-5 月間進行每口抽水量 100 萬立方公尺，其餘月份不抽。其水頭差以溪埔觀測站水位降低 2.4 公尺最少；里港觀測站降低 4.4 公尺最多。
- (10) 在方案 C1 中，於萬隆農場開挖一人工湖湖底離地下水水位 16 公尺(開挖深度 10 公尺)，人工湖之面積為 4 公頃。並且保持每月固定離地面 1 公尺之水位，實施人工補注，經由方案模擬後在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)經方案模擬後，在原有之網格計算水均衡，發現其儲蓄增加量為 313,401 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 1.61 公尺。
- (11) 在方案 C2 中，於萬隆農場開挖一人工湖湖底離地下水水位 11 公尺(開挖深度 15 公尺)，人工湖之面積為 4 公頃。並且保持每月固定離地面 1 公尺之水位，實施人工補注，經由方案模擬後在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)經方案模擬後，在原有之網格計算水均衡，發現其儲蓄增加量為 955,829 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 1.63 公尺。
- (12) 在方案 C3 中，於萬隆農場開挖人工湖湖底離地下水水位 11 公尺(開挖深度 15 公尺)，人工湖之總面積為 20 公頃。並且保持每月固定離地面 1 公尺之水位，實施人工補注，經由方案模擬後在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)經方案模擬後，在原有之網格計算水均衡，發現其儲蓄增加量為 2155,909 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 4.81 公尺。
- (13) 在方案 D1 中，於大嚮營農場開挖一人工湖湖底離地下水水位 22 公尺(開挖深度 10 公尺)，人工湖之面積為 4 公頃。並且保持每月固定離地面 1 公尺之水位，實施人工補注，經由方案模擬後在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)經方案模擬後，在原有之網格計算水均衡，發現其儲蓄增加量為 805,559 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 1.22 公尺。
- (14) 在方案 D2 中，於大嚮營農場開挖一人工湖湖底離地下水水位 17 公尺(開挖深度 15 公尺)，人工湖之面積為 4 公頃。並且保持每月固定離地面 1 公尺之水位，實施人工補注，經由方案模擬後在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)經方案模擬後，在原有之網格計算水均衡，發現其儲蓄增加量為 827,515 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 1.28 公尺。
- (15) 在方案 D3 中，於大嚮營農場開挖人工湖湖底離地下水水位 17 公尺(開挖深度 15 公尺)，人工湖之總面積為 20 公頃。並且保持每月

固定離地面 1 公尺之水位，實施人工補注，經由方案模擬後在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)經方案模擬後，在原有之網格計算水均衡，發現其儲蓄增加量為 3,720,886 m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇 5.49 公尺。

- (16) 聯合 C3 案與 D3 案，實施人工補注，經方案搭配模擬後，在原有之網格(1,000 公尺×1,000 公尺)計算水均衡，其儲蓄增加量分別為 920,886 m<sup>3</sup>/年、893,625m<sup>3</sup>/年，水位可抬昇分別為 1.65 公尺、1.72 公尺。
- (17) 在方案 E2 中，於林邊溪中下游處加設抽水井 10 口，於 1~12 月間進行每口抽水量 120 萬立方公尺。其水頭差以崎峰觀測站水位降低 0.3 公尺最少；新埤觀測站降低 4.1 公尺最多。

#### 4.3 結果分析

- (1)在比較方案 A1 與 A2 中，可以清楚的發現 A2 方案有較好的補注效果，其水位可抬昇較 A1 方案多了 0.36 公尺。但若將 A3 方案與 A2 方案比較便可發現多口人工補注湖較單口人工湖有更明顯的儲蓄增量與水位抬昇的效果。
- (2)在比較方案 B1 與 B2 中，可以發現 B2 方案有較 B1 方案好的補注效果，其水位可抬昇較 B1 方案多了 0.26 公尺。於 B3 方案中若與 B2 方案比較其多口人工補注湖與單口人工補注湖，可以發現其結果與 A3 方案相同；多口人工湖群較之單口人工湖有更好的效益。
- (3)聯合 A1 方案與 B1 方案，結果發現 A1 位址之儲蓄增量比原本單一方案有些微的增量，於水位抬昇方面也有些微的影響，但是影響效果並不顯著，於 B1 位址也有相同的結果。
- (4)聯合 A2 方案與 B2 方案：結果發現 A2 位址之儲蓄增量比原本單一方案僅有些微的增量，於水位抬昇方面僅 A2 位址較原本單一方案多了 0.03 公尺，而在 B2 位址上似乎沒有影響。

(5)在比較 C1 方案與 C2 方案中，可以清楚的發現 C2 儲蓄增量有顯著的效果相差約 642,428 m<sup>3</sup>/年但於水位抬昇上效果卻不顯著。若將 C3 方案與 C2 方案比較便可發現多口人工補注湖較單口人工湖有更明顯的儲蓄增量相差約 1,200,080 m<sup>3</sup>/年且於水位抬昇的效果則相差了 3.18m。

(6)在比較 D1 方案與 D2 方案中，可以清楚的發現 D2 儲蓄增量有顯著的效果較 D1 多了 21,956m<sup>3</sup>/年，於水位抬昇上效果卻不顯著。若將 D3 方案與 D2 方案比較便可發現多口人工補注湖較單口人工湖有更明顯的儲蓄增量相差約 2,893,371 m<sup>3</sup>/年且於水位抬昇的效果則相差了 4.21m。

(7)聯合 C2 方案與 D2 方案：結果發現 C2 位址之儲蓄增量比原本單一方案有減少的趨勢其相差約 34,943 m<sup>3</sup>/年。於 D2 位址之儲蓄增量比原本單一方案有增加的趨勢其相差約 66,110 m<sup>3</sup>/年，於水位抬昇方面 C2 位址較原本單一方案僅有些微的抬昇約為 0.02 公尺，而在 D2 位址上抬昇了 0.44 公尺。

(8)應用 Bouwer 在 1999 年 10 月發表之 Predicting Infiltration and Ground-Water Mounds for Artificial Recharge[3]其文中提及推估影響半徑之公式推算萬隆農場對大嚮營農場人工湖模擬之影響半徑，此公式應用於方案 C2 與 D2 的主要原因為萬隆農場與大嚮營農場均有其觀測井。由運用聯合 C2 方案與 D2 方案共同模擬得知於大嚮營農場之水位有些微抬昇現象而對於較遠之水底寮觀測站或林邊觀測站則無影響，經方程式推估結果發現萬隆農場設置人工湖對大嚮營觀測水位之影響半徑約為 10 公里與數值模擬之影響區域大略相同。

## 五、結論與建議

本研究運用地下水流數值模擬，在相當簡化的情況下，推估以不同人工湖深度與面積探討其對地下水位與儲蓄增量的影響。並設置 A、B、C、



D 四個人工湖址主要以高屏溪流域與林邊溪流域為人工湖模擬區域。同時亦探討在高屏溪中游及林邊溪上游以群井抽水開發利用，對地下水位變化，經可行性評估研究後，得到以下結論及建議。其中對於詳細之人工湖群配置，本研究並未列入考慮，僅僅以模式之定水頭。

## 5.1 結論

- (1)經由各方案的模擬與綜合各種方案之模擬結果可得知設置人工補注池對於儲蓄水量與水位之抬昇方面均有程度上之影響，其影響效果若以單口人工湖作為儲蓄量之考量則以設置於萬隆農場較其他地點為佳，以設置在吉洋地區附近為最差。
- (2)經由各式方案之研究得知，於西隆地區單口人工深湖較單口人工淺湖之儲蓄增量多了將近  $3,258\text{m}^3/\text{年}$ ；於吉洋地區附近單口人工深湖較單口人工淺湖之儲蓄增量多了將近  $2,752\text{m}^3/\text{年}$ ；在萬隆農場單口人工深湖較單口人工淺湖之儲蓄增量多增加了將近  $642,428\text{m}^3/\text{年}$ ；在大嚮營農場單口人工深湖較單口人工淺湖之儲蓄增量則多了  $21,956\text{m}^3/\text{年}$ 。由以上結果得知將單口人工湖設置於萬隆農場會比其他地方之儲蓄增量有最佳之效果。而於吉洋地區設置單口人工湖則較其他方案有較差之效益。
- (3)多口人工湖之補注效果以大嚮營之儲蓄增量  $3,720,886\text{ m}^3/\text{年}$ ，抬昇水位 5.49 公尺最佳。而於萬隆農場之儲蓄增量  $2,155,909\text{ m}^3/\text{年}$ ，抬昇水位 4.81 公尺次之。以吉洋地區附近之儲蓄增量  $11,003\text{ m}^3/\text{年}$ ，抬昇水位 0.61 公尺最差。
- (4)在聯合方案之研究上，本研究以萬隆農場與西隆地區均設置多口人工湖為聯合方案之研究另以萬隆農場與大嚮營農場也同時設置人工湖以作為聯合方案之研究。主要考量流域與空間區域性之因素，經研究結果均顯示人工湖位址間之相互的補注影響有些微之變化，但其效益並不十分顯著，並不因為區域之不同而有顯著的變化。此

點結論可能與人工湖面積與深度對其影響半徑有關。

- (5)在人工湖面積與深度對於影響半徑之影響文獻研究上則有 Bouwer 在 1999 年 10 月發表之「預測地下水丘之滲透對於人工補注之影響」，本研究以此方法計算解析解並與模式模擬之數值解作比較在聯合方案 C2 與 D2 中發現有大略相同的結果。
- (6)經模式模擬人工湖底距地下水位其高低，對補注量增加功能；不僅受水文地質參數（如：T, K, S）之影響，同時對水文變量（如：河川水位、地下水補注率、地下水蒸發散量降雨量及抽水量）及其精確度（網格大小）皆會有補注功能。
- (7)經由本研究之初步估算人工湖補注影響之結果可以發現，因為不同之水文地質、含水層厚度、補注水位之高低及各種人工湖面積大小對於含水層水位及儲蓄增量皆有不同之影響。至於何種方案適用於何種地質或流域甚或最佳之補注水位與來源與最經濟的方案則需有更深入之研究與探討，本研究僅對於屏東平原數個不同流域與地點作一可行性之初步估算與探討。而與前人研究之最大不同點在於：
  - (a)本研究人工湖之邊界採用一般水頭邊界 (General Head Boundary) 以此種特定水頭邊界為簡化人工補注池模擬之複雜因素。
  - (b)將模擬區域網格加密以更適合實際人工補注池之大小，將實際人工補注池之面積完整研擬在數值模式中。

## 5.2 建議

- (1)最佳之人工湖底距地下水位埋深、網格大小、水文地質參數、補注水源及湖泊大小形狀應先行調查評估及小規模試驗及調查評估；並應配合數值模式相互印證，俾能擬定最佳地下水人工補注池之設計。
- (2)本研究由於人工補注池之入滲效應牽涉未飽和層與飽和層兩者，而入滲量則深受補

注池面積影響，因此除了將模式以較小尺寸之數值網格進行模擬外，建議另將垂直深度網格切密以作最精密之模擬。此一目的最主要為可以精密探討人工湖底部之淤泥水力傳導係數之影響，配合現地開挖土樣的試驗資料，作為人工湖區設置最佳化之研擬。

- (3)本研究以一般水頭邊界做為人工湖邊界，但此一方式有其缺點，即邊界之水頭變化以定水位為補注水位無法顯示地下水頭高於定水頭之情形，結果造成人工補注湖之補注水位只能以定水位模擬無法與實際情況驗證。建議以優選方式俾能達成有效調配運用地面水源。
- (4)本研究就地下水抽水量與地面補注水量之營運管理僅於初步估算，未盡完善。建議對屏東平原之整體水資源考量，應用地下水流數值模式配合地面水源調配，規劃及評估地下水人工補注區之操作原則，有系統之整合營運策略及可開發利用之水源，以達屏東平原水資源永續經營。

### 謝 誌

本研究承蒙國科會經費補助（NSC-89-2211-E-020-012），謹此致謝。論文審查過程中，審查者提供寶貴建議，作者由衷感謝。

### 參考文獻

1. 周建名，2000，「屏東平原地下水人工補注

之可行性評估研究」，國立屏東科技大學土木系碩士班碩士論文，屏東。

2. 經濟部中央地質調查所，1997，屏東平原水文地質調查研究報告。
3. Bouwer, H, and Jennifer T. B. 1999, "Predicting Infiltration And Ground-Water Mounds For Artificial Recharge," J. of Hydrologic Engineering, pp.350-357.
4. Bouwer, H., and Rice, R. C., 1989, "Effect of water depth in ground water recharge basins on infiltration rate," ASCE, New York, pp. 377-384.
5. Bouwer, H, 1986, Intake rate; "Cylinder infiltrometer: Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods," Agronomy Monograph No.9, Madison, Wis., pp. 825-855.
6. Chiang, W. H., Kinzelbach, W., 1996, Procession MODFLOW For Windows (Version 4.00), Hamburg, Germany.
7. Ting, C. S. (丁澈士), 1997, Groundwater Resources Evaluation and Management for Pingtung Plain, Taiwan, PhD thesis, Free University, Amsterdam, ISBN 909008794x.

收稿日期：民國 92 年 3 月 5 日

修正日期：民國 92 年 5 月 9 日

接受日期：民國 92 年 5 月 14 日