

臺中海線地區地下水資源量化評估

THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF GROUNDWATER RESOURCES IN COASTAL PLAIN OF TAICHUNG

國立臺灣大學
水工試驗所
助理研究員

劉宏仁*
Hung-Jen Liu

國立臺灣大學
土木工程學系
兼任教授

徐年盛
Nien-Sheng Hsu

桃園市政府
水務局
局長

劉振宇
Chen-Wuing Liu

摘要

臺中地區近年因縣市合併、人口增長及經濟發展下，需用水量快速成長，預計 2021 年就會出現供水缺口。若能妥適取用地下水做為多元水資源開發，將有助於供水的穩定。臺中地區地下水系統在台灣主要的九大地水分區中屬於臺中地區地下水區，並可細分為三個子系統：臺中盆地、梧棲龍井海岸平原、大安大甲沖積扇，在海線地區主要的地下水系統即為梧棲龍井海岸平原。

本研究以地下水蓄水量歷線法進行臺中海線地區的地下水資源量化評估，首先建立梧棲龍井海岸平原地下水系統概念分層模型與水平衡模型，然後再取地下水監測網之每日水位紀錄以及現地試驗所得之水文地質參數計算整體蓄水量，依水量變化計算得到 2008 ~ 2014 年間，梧棲龍井海岸平原年抽水量約 0.32 ~ 0.76 億噸之間，淨補注量約 0.21 ~ 0.81 億噸之間，抽水與補注大致維持平衡狀態，但因淨補注量僅佔降雨量的 9% ~ 24% 之間，顯示海岸平原補注不豐，應與地質條件多細砂及不透水層有關。

未來若欲開發臺中海線地區之地下水資源，需特別注意區域地質條件，應選取有連續且廣大的礫石層分布之區位優先進行開發，並且對於深度超過 50 m 的深井鑿設需進行管制。

關鍵詞：地下水蓄水量歷線法、海岸平原、水資源量化評估。

THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF GROUNDWATER RESOURCES IN COASTAL PLAIN OF TAICHUNG

Hung-Jen Liu*
National Taiwan University
Hydrotech Research Institute

Nien-Sheng Hsu
National Taiwan University
Department of Civil
Engineering

Chen-Wuing Liu
Department of Water
Resources , Taoyuan

ABSTRACT

In recent years, due to the merger of county and city, population growth and economic development, the water consumption of Taichung increased rapidly. It was expected that there will be a water supply gap in 2021. Proper access to groundwater as a diversified water resource will help stabilize the water supply. Overall, the groundwater system of Taichung belonged to the Taichung Area Groundwater Area in 9 major groundwater areas of Taiwan and can be subdivided into three sub-systems: Taichung Basin, Yuxi-Longjing Coastal Plain, and Daan-Dajia Alluvial Fan. Yuqi-Longjing Coastal Plain is the main groundwater area of coastal areas in Taichung.

In this study, the groundwater hydrograph method was used to quantitatively evaluate the groundwater resources of the coastal plain in Taichung. Firstly, the conceptual layered model and water balance model of the groundwater system in coastal plain were established. Then, the daily water level record from the groundwater monitoring network and the hydrogeological parameters obtained from the field experiments were used to calculate daily groundwater storage. According to the change of water volume, the annual pumpage is between 0.32 ~ 0.76 billion tons, and the net recharge is about 0.21 ~ 0.81 billion tons. Between the annual pumpage and recharge, the groundwater balance was maintained, but the net recharge only accounted for 9 % ~ 24 % of the rainfall, indicating that the recharge sources were limited on Coastal Plain.

In the future, if we want to develop the groundwater resources of Coastal Plain in Taichung, special attention should be paid to the regional geological conditions. The location of continuous and extensive gravel layer should be selected for priority development, and deep wells with depth exceeding 50 m should be limited.

Keywords: Groundwater hydrograph, Coastal plain, Quantitative assessment of water resources.

一、緒論

臺中地區因縣市合併後，經濟發展與人口密度隨之增加，而在臺中海線地區也隨即迅速發展，需用水量亦持續成長。公共給水現況雖為供需平衡狀態，但預計民國 110 年會因需求增加而造成供水缺口。以大臺中地區水資源供給量而言，主要供水來源大安溪與大甲溪水系以及地下水源，主要水資源設施為鯉魚潭與石岡壩，未來若開發新產業區預估水資源需求量必然增加，皆顯示出臺中地區水資源困境。

因臺灣降雨時空分布不均，且開發新水源不易，其中地下水資源為重要供水來源之一，面對水資源短缺的調適策略，目前規劃以大安大甲溪水資源聯合運用工程供給大臺中地區用水，而短期內鯉魚潭水庫水源仍需供給苗栗地區使用，因此探討臺中海線地區之地下水資源，如能增加水資源供給量，將可避免持續調配農業用水解決用水短缺問題。

本研究即針對臺中海線地區地下水資源進行初步的量化評估並建議相關管理策略，以作為後續水資源管理調配可行性、都市計畫及國土規劃策略參考。

二、研究區域介紹

臺中地區的地下水系統在台灣主要的九大地下水分區中屬於臺中地區地下水區，其北與新苗地區地下水區接壤，南為濁水溪沖積扇地下水區。而在臺中地區地下水區範圍內，又可以細分為三個子系統，包括臺中盆地、梧棲龍井海岸平原、大安大甲沖積扇，如圖 1 所示，在海線地區主要的地下水系統即為梧棲龍井海岸平原。

梧棲龍井海岸平原位於大肚台地以西，大甲溪及烏溪兩流域之間，係屬一南北狹長之海岸平原，整體地形平緩，南北長約 24.5 公里，東西寬約 19 公里，面積約 200 平方公里。依據經濟部中央地質調查所之地質鑽探結果顯示，在平原東邊的大肚台地範圍內主要為紅土台地堆積層與頭嵙山層，其餘皆屬於現代沖積層，本層為近期河流堆積之產物，岩性以礫石、砂及泥，主要分佈在現有河流的河床、臺中盆地、大肚山及八卦山西側的沖積平原，所以梧棲龍井海岸平原地下水區主要行程於現代，因河流不斷流動沖積加上海近海退的結果，所形成的一個地下含水層系統。依據中央地質調查所(2005)之地質鑽探資料，可以大致掌握梧棲龍井海岸平原之水文地質分布情形，繪製之地質剖面如圖 2 所示。

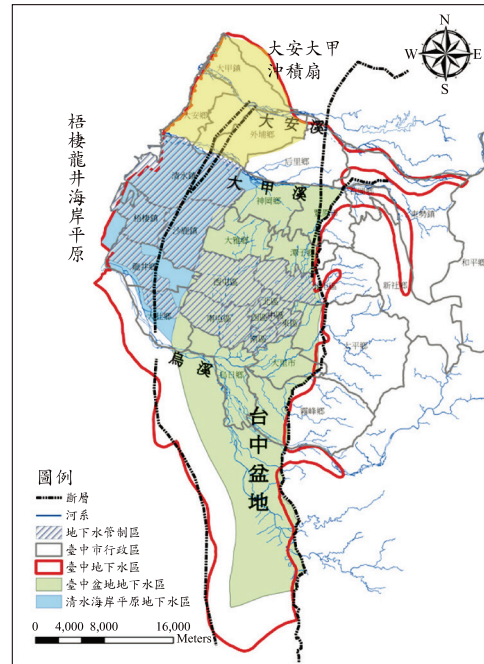


圖 1 臺中地區地下水系統分區圖

梧棲龍井海岸平原之地質剖面(高美-清水-梧棲-忠和-大肚)其井深約 150~250 公尺，可概分為三個含水層及兩個阻水層。各層之特性：(1)第一含水層 F1 由細砂至極細沙層所構成，在高美地區因臨近大甲溪有局部礫石，因地層組成細密，本含水層含水量可能不豐。本層厚度在 7~41 m 間，以北側清水地區(高美、清水站)較厚，而向南向海減薄，以近臺中火力發電廠之忠和站最薄僅 7 m。(2)第一阻水層 T1，由一薄泥層所構成，在清水及梧棲間夾有礫石及細砂之凸鏡體。本層厚度在 7.1~41 m 間，自大甲溪(高美站)及烏溪(大肚站)往海邊加厚，以忠和站最厚達 41 m。(3)第二含水層 F2 為礫石及中砂，在高美站有較厚之礫石，其次為靠近山麓之清水站及大肚站，於近海邊之梧棲站及忠和站則變成以中砂為主，本層厚度在 22.4~67.4 m 間。(4)第二阻水層 T2 為泥及細砂，其中清水站為薄細砂層，阻隔可能較差，本層厚度在 7.35~58 m 間，忠和站及清水站有顯著層厚分佈。(5)第三含水層 F3 為中砂及礫石，本層之厚度皆超過 60 m，但因鑽井深度未觸及岩盤，詳細厚度未知。因地質組成以粗顆粒為主，且含水層厚度較大，初步判斷該為一優良含水層，但由於其為位於深層(深度超過地表下 100 m)之拘限含水層，地表之河水或雨水難以直接補注，僅能透過上游大肚台地之降雨或者是由北邊大甲溪河水入滲補注後，再緩慢的透過地下水的垂向移動至深層，補注十分不易，所以也限制了其開發的可能性。

綜合而言，梧棲龍井海岸平原含水層為現代沖積

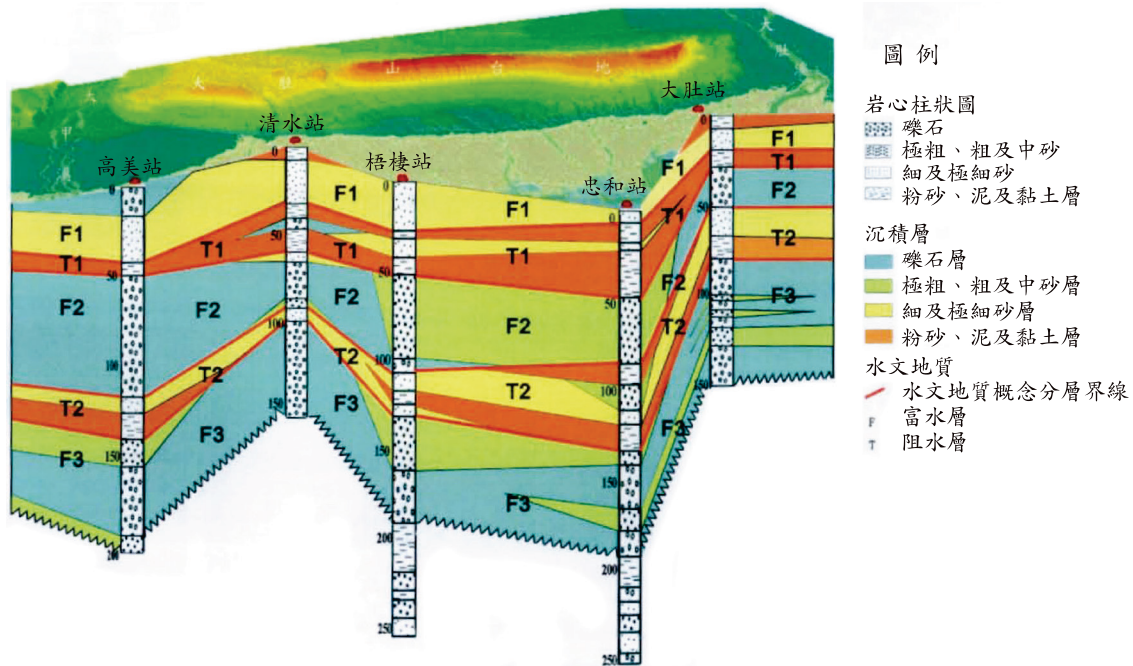


圖 2 梧棲龍井海岸平原地質剖面圖

層地質，區域內東側大肚山山腳有清水斷層通過，於靠近大肚台地及大甲溪與烏溪處有厚層之礫石層分布，越往海邊則越以細顆粒之細沙或泥層為主。含水層系統較為複雜包括多個含水層與阻水層，但含水層並不發達，厚度約 20~50 公尺，此特性較為類似濁水溪沖積扇扇尾之含水層特性，而不像臺中盆地之含水層特性。開發時需特別注意，不可誤將臺中盆地的良好含水層特性直接假想在海岸平原含水層。

梧棲龍井海岸平原之水文地質參數詳列如表 1，其中以水力傳導係數 K 與導水係數 T 之資料最為完整，表上所附為現場試驗所得，而比出水率與儲水係數資料較為缺乏，故在此乃依據其地質條件給定一合理值。

水力傳導係數 K 乃描述地下水於含水層中流動的容易與否，其值越高則水流動越容易，梧棲龍井海岸平原內目前有大秀、梧棲、永順等三站自計水位井站，以梧棲之 K 值 78.03 m/d 最高。導水係數 T 乃將 K 值乘上含水層厚度之後而得，一樣以梧棲最高。

比出水率 S_y (Specific yield) 乃描述非拘限含水層 (unconfined aquifer) 的出水特性，其值越高則出水量越

大，目前尚無現地試驗資料，故依地質條件初步給定一合理值為 0.09。儲水係數 S (Coefficient of Storage) 乃描述拘限含水層 (confined aquifer) 的出水特性，其值越高則出水量越大，目前亦無相關資料，故依地質條件初步給定一合理值為 0.0001。由於比出水率數值的大小會直接影響地下水系統之蓄水量的多寡，故建議後續仍應進行現場抽水試驗以確認該參數數值。

三、地下水蓄水量、補注量及抽水量估算

由於目前並無針對臺中海線地區的地下水資源量進行過量化探討，故本研究首先利用地下水蓄水量歷線法(徐年盛等, 2011)進行地下水蓄水量、補注量及抽水量的估算。地下水蓄水量歷線法之優點在於所有水文量分析工作均以觀測之地下水水位和實測之比出水率 S_y 與儲水係數 S 為基礎，將人為假設減至最低；同時採用日地下水水位進行計算，可確實掌握每日水文量變化及各場次降雨對應之補注量。另外，於地下水蓄水量計算是以地下水區內全部地下水水位測站的地下水水位資料進行整合分析，如此可將地下水歷線分析工作簡化為只需進行一組地下水蓄水量歷線分析，使方法更為簡便，可以快速且正確的評估地下水蓄水量、補注量與抽水量。

基本原理示意如圖 3，其顯示為地下水蓄水量隨時間變化之情形，圖中 L 為乾季退水線，其斜率即為

表 1 梧棲龍井海岸平原水文地質參數表

站名	K (m/d)	T (m ² /d)	S_y	S
大秀	28.98	347.76	0.09	0.0001
梧棲	78.03	1248.48	0.09	0.0001
永順	12.36	148.32	0.09	0.0001

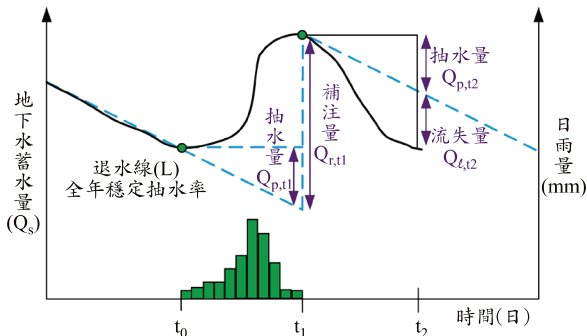


圖 3 地下水蓄水量歷線法原理示意圖

年平均穩定抽水率； $Q_{s,t}$ 為第 t 日地下水蓄水量； $Q_{r,t}$ 為第 t 日補注量； $Q_{p,t}$ 為第 t 日抽水量。 Q_l 為年流失量， ΔQ_s 為地下水年蓄水量變化量。臺灣地區每年枯水期，因為地面水源不足而大量抽取地下水，造成地下水蓄水量呈直線下降，此一固定斜率之直線即為乾季退水線 L ，其斜率代表全年穩定抽水率，包括民生、工業、農業用水及施工基地開挖抽水等之穩定抽水，各時段抽水量等於 L 線斜率乘以該抽水時段長度。

一年中有降雨的日子，雨水可以透過地表入滲補注地下水，而區域內的河水也可以由河床入滲補注地下水，地下水區外的地下水也會由邊界緩慢補注至區內地下水含水層內，其一樣是由雨水及河水入滲補注而成。各時段的地下水補注量是以退水線 L 之平行線通過蓄水量歷線谷底後延伸到歷線峰頂下方，取蓄水量歷線峰頂至延長線的垂直距離即代表了補注量。此評估方法的物理意義是在穩定抽水下，地下水蓄水量應該持續地減少至延長線的底端，但實際觀測到的歷線卻無下降反而是一路上漲至峰頂，這部分增加的蓄水量即來自雨水和河水入滲補注所供應，加總每一段的補注量及得到地下水年補注量。

但在旱季時期或大量降雨過後，地下水位可能高於河川水位，造成地下水向河川流失或從地表蒸發，此部份稱為流失量，此部分之水資源量無法蓄存於地下水含水層中。

上述之抽水、淨補注量與地下水蓄水量需滿足質量守恆，即一年中地下水蓄水量變化量等於淨補注量減去抽水，方程式如下所示：

$$\Delta Q_s = Q_{s,365} - Q_{s,1} = Q_{r,N} - Q_p, \quad Q_{r,N} = Q_r - Q_l \dots (1)$$

地下水蓄水量歷線法計算流程如圖 4 所示，主要包括三大步驟：

(1) 計算地下水絕對蓄水量：首先，蒐集地下水區地下水位觀測站日水位資料，並依據地質條件劃分觀測站控制面積，假設單一控制面積內水位相同。接著蒐集各地下水觀測站由現場抽水試驗、微水實驗或

實驗室實驗所得之實測貯水係數或比出水率。無實測資料之站，則按其屬受壓或非受壓含水層之屬性，以實測貯水係數或比出水率之平均值給定，於單一控制面積內給定同一個貯水係數或比出水率。利用地下水位、控制面積、水文地質參數計算地下水絕對蓄水量，各站地下水位是以平均海水位零公尺為基準之觀測值，將其乘上控制面積與對應之貯水係數或比出水率，加總得到地下水區之相對日蓄水量，將一年 365 天的地下水蓄水量變化繪出為地下水蓄水量歷線圖，簡稱地下水歷線圖。

- (2) 評估穩定抽水率：觀察地下水位歷線的變化可以發現，每年乾季未有降雨的日子裡，因為抽取地下水造成地下水歷線呈一固定斜率直線下降，此直線稱為乾季退水線 L ，其斜率代表全年穩定抽水率，將其乘以 365 天即得地下水年抽水。
- (3) 計算淨補注量：地下水蓄水量之增加，主要來自於雨水或河水的補注，故由地下水歷線變化，可以計算淨補注量。計算方法是以退水線 L 之平行線通過谷底後延伸到歷線峰頂下方，取水位峰頂至延長線的垂直距離等於該時段內的地下水補注量，累積加總得到地下水年補注量。地下水歷線在每年 12 月 31 日之蓄水量，減去 1 月 1 日之蓄水量，可得年蓄水變化量。將其代入質量守恆方程式中，可以求得地下水年流失量；將補注量減去流失量即得到淨補注量。

本研究考量海岸平原地下水系統，研究期距為西元 2008 至 2014 年，取每日觀測水位進行分析，以便觀察其蓄水量消退趨勢。本計畫之地下水蓄水量歷線法計算流程如圖 4 所示。

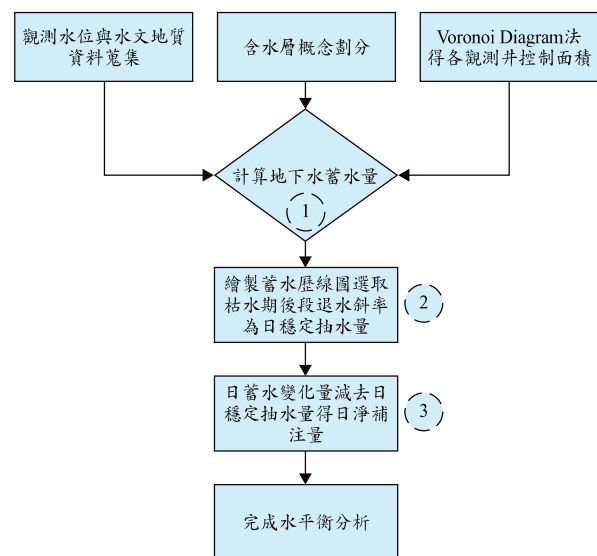


圖 4 地下水蓄水量歷線法計算流程

首先進行資料蒐集包括地質分層、觀測水位、水文地質參數，再透過觀測水位、觀測站控制面積、水文地質參數之乘積估得日地下水蓄水量，之後繪製地下水蓄水量歷線圖，取枯水期後段時間蓄水量消退斜率視為抽水造成估得日穩定抽水量，再將每天的蓄水變化量減去日穩定抽水量將得到每天的淨補注量，最後加總一年內之每日抽水量與每日淨補注量即完成水平衡分析，得到年抽水量與年淨補注量。

由於清水平原內目前僅有大秀、梧棲、永順等三站自計水位井站，資料有限，故本研究取此三站之第一含水層水位觀測資料進行水量之初步估算，各站之井位與控制區域繪製如圖 5 所示，並計算各控制面積。另外含水層分層高程、儲水係數、比出水率等水文地質參數整理如表 2。因目前水利署觀測井網於海岸平原區域內主要是以一個站位鑿設深淺兩口觀測井的方式記錄地下水位，所以研究亦採深淺兩層含水層的地下系統進行蓄水量評估。

計算時，抽水量乃利用枯水期之蓄水量歷線進行評估，觀察 2008 ~ 2014 年間之枯水期蓄水量歷線發現於枯水期後段之歷線變化較為穩定，顯示此時蓄水量受補注流失影響較小，故取 1 至 3 月期間最長之無降雨時段且蓄水量無明顯升降變化者，估算海岸平原之退水斜率，再依此斜率計算年抽水量，以 2013 年為例，如圖 6 所示，退水斜率為 0.0021 億噸/日，即海岸平原之日穩定抽水量為 21 萬噸。

海岸平原北側有大甲溪，南側烏溪，考量有河道出滲流失可能故還是以淨補注量進行估算，因為若以蓄水變化量及抽水量判斷補注量會有低估總補注量之可能，流失量需透過數值模擬模式試誤才能得到更為正確的

補注量。在研究年限 2008 ~ 2014 年透過地下水歷線法評估海岸平原所估算之平均年淨補注為 0.49 億噸。

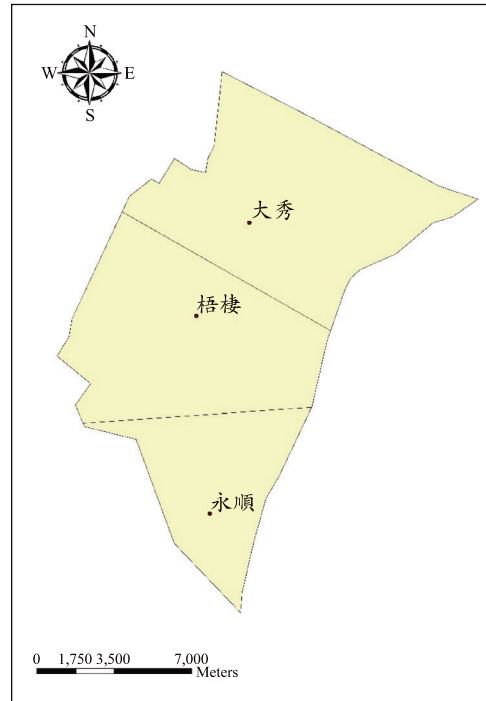


圖 5 海岸平原地下水位站及控制分區設定

表 2 海岸平原各控制點之水文地質資料

站名	K(m/d)	T(m ² /d)	Sy	S	控制面積 (km ²)	地表高程	第一含水層底
大秀	28.98	347.76	0.09	0.0001	87.1	11.4	-4.6
梧棲	78.03	1248.48	0.09	0.0001	67.9	2.0	-28.0
永順	12.36	148.32	0.09	0.0001	44.8	5.8	-10.2



圖 6 海岸平原 2013 年地下水蓄水量歷線

表 3 海岸平原地下水蓄水量歷線法分析結果

年分	抽水量 (億噸)	蓄水變化量 (億噸)	淨補注量 (億噸)	降雨量 (億噸)	淨補注量佔 降雨量百分比
2008	0.40	0.07	0.472	3.59	13%
2009	0.32	-0.11	0.21	2.31	9%
2010	0.41	-0.02	0.39	2.68	15%
2011	0.44	-0.07	0.37	1.60	23%
2012	0.43	0.15	0.58	3.64	16%
2013	0.76	0.05	0.81	4.22	19%
2014	0.69	-0.09	0.60	2.53	24%
平均	0.49	0.00	0.49	2.94	17%

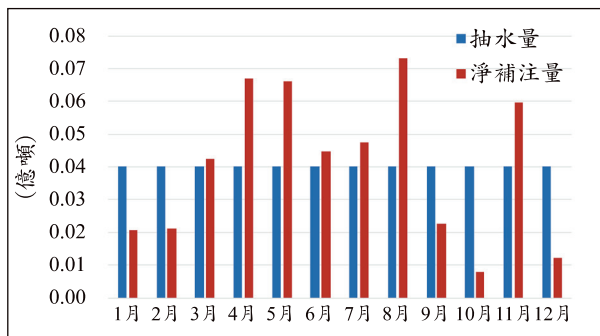


圖 7 海岸平原各月份平均抽水量與補注量

海岸平原水平衡結果如表 3，年抽水量約 0.32 ~ 0.76 億噸之間，年淨補注量約 0.21 ~ 0.81 億噸之間，佔降雨量百分比約 9% 至 24% 之間，顯示海岸平原補注不豐，應與地質條件多為細砂及不透水層有關。

進一步將海岸平原地下水區 2008 ~ 2014 年間各月份之平均抽水量與淨補注量繪製如圖 7 所示，各月份之抽水量為 0.04 億噸，而淨補注量於全年各月份皆為正值，顯示海岸平原的地下水受到降雨及河水入滲補注的量大於地下水出滲流失量；而在 4 ~ 8 月份淨補注量最大，超過 0.04 億噸，顯示雨季時大量的降雨及河水透過地表入滲補注至地下含水層。

進一步，由地質分布可以發現局部區域上覆泥層，此些區域地面水不易直接由地表入滲補注，而是由上游大肚台地之降雨或者是由北邊大甲溪河水入滲補注後，才能進入到含水層中。同時，由於水位觀測站數少，目前大致呈北中南均勻分布，若有某一站井水位大幅升降，會直接反應至整體的蓄水量歷線升降，可能造成抽水量與補注量估算之誤差，所以建議於台中海線地區應於每一行政區至少設置一個監測井站，且依據不同的含水層深淺設置多口監測井，才能三維度的掌握海岸平原之地下水量。

四、結論與建議

本研究以地下水蓄水量歷線法進行臺中海線地區的地下水資源量化評估，首先建立梧棲龍井海岸平原地下水系統概念分層模型與水平衡模型，然後再取地下水監測網之每日水位紀錄以及現地試驗所得之水文地質參數計算整體蓄水量，依水量變化計算得到 2008 ~ 2014 年間，梧棲龍井海岸平原年抽水量約 0.32 ~ 0.76 億噸之間，由於目前並無相關研究資料，但比對水利署之用水統計顯示海岸平原之年抽水量約 0.57 億噸，發現大致相符。

而年淨補注量約 0.21 ~ 0.81 億噸之間，抽水與補注大致維持平衡狀態，這點與歷年地下水位大致持平的現場觀測結果亦相符，以平均而言，臺中海線地區的地系下水年抽補量為 0.49 億噸，此量值可作為水資源量化管理的初步參考。

依據現有調查及研究資料，海岸平原的抽水包括有農業、民生、工業等三大用水，由目前產業及人口發展來看，抽水量應會伴隨著提升；而海岸平原的補注來自地表降雨入滲、大甲溪河床入滲及大肚台地入流等三個主要來源，但台地入流是否受清水斷層阻礙，沿海是否有地下水流出或海水入侵等，仍有待進一步調查。

而由於淨補注量僅佔降雨量的 9% ~ 24% 之間，顯示海岸平原補注並不豐沛，應主要與地質條件多細砂及不透水層有關。未來若欲開發臺中海線地區之地下水資源，需特別注意區域地質條件，應選取有連續且廣大的礫石層分布之區位優先進行開發。並且臺中海線地區的地下水系統特性是類似濁水溪沖積扇而非臺中盆地，此點需特別注意，若在沿海大量抽水，可能導致地層下陷，建議對於深度超過 50 m 的深井鑿設需進行管制。

參考文獻

1. 葉文工、楊淑麗，「臺灣沿海地區地下水超抽改善方案研擬與評估(II)」，經濟部水資源局，1998。
2. 經濟部中央地質調查所，「臺灣地區地下水觀測網第三期-94 年度臺中地區水文地質鑽探及水文分析研究」，2005。
3. 財團法人工業技術研究院，「臺灣地區地下水觀測網第 3 期 94 年度計畫水文地質(旋鑽)調查及水文分析計畫」，2005。
4. 交通大學防災工程研究中心，「臺中盆地做為地下水

- 庫可能性之探討」，經濟部水利署水利規劃試驗所，2007。
5. 巨廷工程顧問股份有限公司，「大安大甲溪水源聯合運用輸水工程規劃-大甲溪下游地下水影響評估」，經濟部水利署中區水資源局，2008。
 6. 經濟部水利署，「臺灣水文年報」，2000~2013。
 7. 國立臺灣大學，「臺中盆地地下水抽補量評估計畫」，臺中市政府水利局，2013。
 8. 經濟部水利署，「生活用水量統計年報」，2000~2013。
 9. 中興工程顧問股份有限公司，「臺中盆地地下水資源利用調查評估(3/3)」，經濟部水利署水利規劃試驗所，2011。
 10. 徐年盛、江崇榮、汪中和、劉振宇、劉宏仁、黃建霖，「地下水系統水平衡分析與補注源水量推估之研究」，2011。
 11. Liu, H.-J., N. S. Hsu, and W.W-G. Yeh, 2015.08., “Independent Component Analysis for Characterization and Quantification of Regional Groundwater Pumping,” *Journal of Hydrology*. Vol.527, pp.505-516. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.013> (SCI)
 12. 劉宏仁，「區域穩定供水與減災總合策略研究與成效評估-子計畫：乾旱條件下台灣地區地下水資源抽用與補注之影響評估與應變策略研擬(II)」，2019，科技部補助計畫。
 13. 經濟部水利署，「經濟部水利署水文資訊網」，<https://gweb.wra.gov.tw/HydroInfo/?id=Index>

收稿日期：民國 109 年 07 月 03 日

修正日期：民國 109 年 12 月 17 日

接受日期：民國 109 年 12 月 25 日