

濱海地區抽水試驗現場分析法

An In-Situ Method for Analyzing Pumping Test in Coastal Area

國立台灣大學農業工程學系
副 教 授

美國勞倫斯柏克萊國家實驗室
地球科學部門研究員

劉 振 宇

賴 成 銑

Chen-Wuing Liu

Cheng-Hsien Lai

摘 要

台灣四周環海，沿海地區之地下水水位會受到潮汐漲落之影響而上下起伏。執行抽水試驗時，此一周期性之變動邊界，對地下水水位洩降有明顯之影響。在以標準曲線分析水位變化，求取含水層之導水係數及儲水係數等水文參數之前，必須先過濾潮汐影響，以期求得正確之導水係數及儲水係數等水文參數之模式過濾潮汐效應，模式中之延滯時間、潮汐效率及區域水力壓降等三參數，可於抽水試驗前，事先觀測海水潮汐及井中水位變化求得。此公式可於現場試驗中直接修正潮汐壓降影響，求得因抽水所造成井中水位淨洩降隨時間之變化。模式應用於現場實例，結果顯示該模式可成功的立即過濾潮汐變化之影響。

關鍵詞：抽水試驗、潮汐效率、濱海地區

ABSTRACT

Taiwan is an island surrounded by sea, the groundwater level near the shore is significantly affected by the periodic tidal fluctuation. To determine the correct transmissivity and storativity of hydrogeological parameters by the standard method of type curve match, it is necessary to filter the tidal influence. A simple model of filtering the tidal fluctuation is developed. The model contains three parameters time lag, tidal efficiency and groundwater gradient. These parameters are evaluated prior to the pumping test by measuring the variations of sea level and groundwater level. It can then be used to correct the tidal influence directly during the field pumping test. The model was applied to field pumping test and yielded good results. It is suggested that the model is capable of filtering the tidal influence simultaneously during the pumping test.

Key Words: pumping test, tidal efficiency, coastal area

一、前言

台灣地區四周環海，近海附近之地下水水位，受海水潮汐周期性之起伏而上下波動，其影響大小，隨著距離海岸之遠近成反比。近年來由於環保意識之高漲，部分高污染性之石化鋼鐵等工業，因設置臨近人煙稠密之都會區，造成許多民衆圍廠、抗爭等污染糾紛。為求徹底解決此一問題，並符合國家環境保護之基本方針，經濟部工業局已主動著手開發彰濱工業區及離島工業區。規劃將上述高污染性之基礎工業遷移至沿海離島，以天然之水域屏障，減低對人民生活及環境之衝擊；同時日後低及中高強度之核廢料貯存場亦極有可能設置於離島或沿海地區⁽¹⁾。故不論工業區之規劃開發或核廢料貯存場址之篩選設置，初期都必須對當地之環境背景資料有詳細之收集及監測。其中有關地下水部分，現地之水文地質參數，包括導水係數及儲水係數，必須藉由現場抽水試驗求得。但由於規劃區域臨近海邊，地下水水位受海洋潮汐之影響很大，在分析抽水試驗壓力洩降隨時間之變化時，必須將此潮汐之影響過濾，才可以用適當之標準曲線求得其水文參數。過濾或消除潮汐周期性之影響方法很多，一般而言，均須現場試驗完成後，將壓降曲線以各種不同之數值模式分離潮汐變化。由於在現場試驗中無法即時修正潮汐變化之影響，顯現抽水試驗水位變化是否已達到穩態，而決定停止試驗之時間，往往所獲得之收據不是不足就是過多，影響求得水文參數之準確性或造成人力及資源上之浪費。

本文提出一簡單分析模式，及其現場實驗之分析步驟。模式中之參數可於現場試驗前事先觀測海水潮汐變化及井中水位變化求得。試驗期間可直接經由模式過濾潮汐影響，修正水位變化，冀期能在現場即時獲得因抽水試驗產生之淨水位下降，決定達到穩態之時間，停止試驗。

二、文獻回顧

地下水層中水位受到自然界之力量包括海潮、地潮、大氣壓力及地震等，而造成上下波動影響之研究很多，包括Jacob⁽²⁾⁽³⁾、Parker and Stringfield⁽⁴⁾、Bredehoeft⁽⁵⁾、Van der Kamp⁽⁶⁾、Van der Kamp and Gale⁽⁷⁾這些研究之理論基礎主要源於Meinzer⁽⁸⁾提出含水層受壓不僅其中之孔隙水會改變體積，同時孔隙固體也會改變體積。若僅考慮井中水位變化

是受到快速荷重變化影響，此區域內水體質量可以視為固定不變，此一因應力影響造成水位改變而維持水體質量不變之現象，稱為不排水荷重(Undrained Loading)，常見於地下水及土壤力學等文獻中。

Meinzer⁽⁹⁾曾觀測海水潮汐與地下水水位變化。Robinson⁽¹⁰⁾發現海潮改變60公分，對30米外水井水位會產生20公分洩降之影響。Robinson同時發現觀測井中水位變化受大氣壓力改變之影響，其對水位影響之範圍亦在10公分以內。若對非侷限含水層而言，由於大氣壓力對井中水位及含水層中之水位改變效應相同，其影響效應不易偵測出。而觀測地球潮汐與井中水位之變化，井中水位之改變約在幾公分左右，與海水潮汐相比，其對水井水位影響效果很小，故海水潮汐為影響地下水水位昇降之主要因素。尤其是近海岸之地區，過去在執行抽水試驗時，大多先將觀測井中水位變化隨時間之紀錄，然後帶回實驗室用數值方法或統計自動相關法分析。如此固然可以精確的過濾潮汐及大氣壓力之影響，獲得正確之數據。然而由於執行現場抽水試驗，無法即時過濾潮汐影響，獲得井中水位受抽水產生之淨洩降數據，做出適當之研判修正，對日後結果分析會造成許多困擾。故本研究擬針對上述問題提出一簡易之分析方法，以適合近海地區現場抽水試驗之使用。

三、模式理論及試驗步驟

考慮地下水流動其系統參數為流體壓力 P ，應力 σ ，及流體質量 M_f 則 M_f 可以 P_f 與 σ 之函數來表示， $M_f = M_f(\sigma, P_f)$ ，同樣地，流體壓力與應力亦可表示成 $P_f = P_f(M, \sigma)$ ， $\sigma = \sigma(M_f, P_f)$ 。

若流體壓力產生改變，則可將流體壓力寫成

$$dP_f = \left(\frac{\partial P_f}{\partial M_f} dM_f \right)_\sigma + \left(\frac{\partial P_f}{\partial \sigma} d\sigma \right)_{M_f} \quad (1)$$

(1)式中等號右邊之第二項 $\left(\frac{\partial P_f}{\partial \sigma} \right)_{M_f}$ 在土壤力學

定義為Undrained Loading。在飽和情形下，可以簡化為[3]

$$\left(\frac{\partial P_f}{\partial \sigma} \right)_{M_f} = \frac{a_v}{e\beta + a_v} = T_B \quad (2)$$

其中 $a_v = -\frac{\partial e}{\partial \sigma'}$ ； σ' 為有效應力

$\sigma' = \sigma - P_f$; e 為孔隙比, β 為水之壓縮係數,

T_E 為潮汐效率(Tidal Efficiency)。

Jacob⁽³⁾將潮汐效率應用於潮汐與含水層中水位之變化時,認為在含水層水質保持一定時,潮汐效率為地下水飽和含水層中水位與海水潮汐變化之比值,亦即觀測井中水位之變化正比於海水潮汐水位變化與潮汐效率之乘積,或以數學式子表示:

$$Hw(t) \propto Ho(t) \cdot T_E \quad (3)$$

其中 $Hw(t)$ 為觀測井中水壓隨時間之變化, $Ho(t)$ 為海水潮汐壓力之變化。

因為海水潮汐壓力改變,傳送至觀測井須經過一段時間 Δt ,兩者間之變化會有 Δt 之時間落後, Δt 視觀測井與海水距離之遠近而有所不同,同時因觀測井與海水之距離產生之區域地下水壓力洩降, B_w ,亦須納入考慮,因此藉由座標平移之關係,(3)式須修正為

$$(Hw(t) - B_w) = Ho(t + \Delta t) \cdot T_E \quad (4)$$

其中 B_w 為區域地下水水位洩降, Δt 為落後時間,(4)式可以重寫成

$$Hw(t) = Ho(t + \Delta t) \cdot T_E + B_w \quad (5)$$

潮汐效率及落後時間可以根據現場抽水試驗前觀測海水潮汐及井中壓力變化,以簡單之試誤法求得。起始之潮汐效率可以由觀測井中波峰與波谷振幅差之比值求得,落後時間可以由觀測井波峰與海水潮汐波峰之橫座標時間相位差求得,落後時間係加在海水潮汐壓力變化中,故為正值。區域地下水之壓力洩降, B_w ,則可經由比對 $Hw(t)$ 與 $Ho(t + \Delta t) \cdot T_E$ 之圖形,尋找出最吻合之平移點而得。

為求容易瞭解起見,採用實際觀測井與海水潮汐洩降數據加以說明。圖1為一處近海地區地下水井與海水潮汐之壓力隨時間變化之情形,由於在潮汐退潮時壓力監測計已露出海面,故部分壓力數據無法記錄。仔細分析圖1,可以計算出落後時間 $\Delta t = 0.5$ 小時,潮汐效率 $T_E = 0.29$,將此參數代入公式(5),調整 B_w ,經過試誤後,求得最佳吻合位置,如圖2所示,實線代表計算值,點線代表觀測值,而最佳吻合之值 B_w 為30公分。

應用此簡易分析法於現場抽水試驗中,首先須量測未抽水前水井與海水潮汐壓力變化值 $Hw(t)$ 及 $Ho(t)$ 。依上述方法分析求得 Δt , T_E 及 B_w ,然後執行抽水試驗將觀測井中之壓力變化,減去由(5)式計算井中受潮汐之影響,即得出受抽水試驗水位淨洩降與時間之關係,代入適當之標準曲線,求出導水

及儲水係數等水文地質參數。

茲將實驗步驟整理如下:

- 1、將抽水試驗前量測海水潮汐及井中水位變化資料繪製成圖。
- 2、推估公式(5)潮汐效率, T_E , 區域地下水水位洩降, B_w , 及落後時間, Δt , 三參數值。
- 3、比較井中水位變化之觀測值與公式(5)計算出井中水位變化之計算值。
- 4、在抽水試驗開始時,將未過濾潮汐效應,觀測井中之現場瞬時水位數據記錄,並繪製於圖上。
- 5、依據公式(5)計算出抽水試驗時,觀測井中受潮汐效應影響之水位變化,過濾求得觀測井受抽水試驗之淨水位變化。
- 6、隨時將修正後觀測井中水位隨時間之變化,與標準曲線相比較,決定抽水試驗停止時間,完成抽水試驗。

四、實地應用

現場試驗之場址為濱海地區,其地下水含水層為一非侷限含水層,為求取其水文地質參數,須執行抽水試驗。抽水試驗規劃在海島沿岸之四處 $pw1$ 、 $pw2$ 、 $pw3$ 、 $pw4$ 執行如圖3所示。由於海水潮汐波峰與波谷間之振幅超過3公尺,對抽水井及觀測井之水位影響很大,故在試驗前必須先量測海水潮汐與井中水位之變化。 $pw2$ 之抽水試驗井群,包括一口抽水井 $pw2$ 及二口觀測井 $OB-2-1$ 及 $OB-2-2$,如圖4。在抽水試驗前觀測海水潮汐與 $pw2$ 井中水位隨時間之變化,總量測時間約2800分鐘,如圖5所示。採用比對法,求得公式(5)之 Δt 、 T_E 、及 B_w 參數之值分別為30分鐘、0.721及52公分代入公式(5),將 $pw2$ 水位之觀測值與計算值繪於圖6,結果十分吻合。接著在 $pw2$ 井執行抽水試驗,抽水時間約持續360分鐘,海水潮汐、 $pw2$ 、 $OB-2-1$ 及 $OB-2-2$ 水位四組未修正之觀測值水位隨時間之變化如圖7所示,其中 $OB-2-1$ 與 $OB-2-2$ 水位變化類似,現場同時將實測之參數代入公式(5),如公式(6)

$$Hw(t) = Ho(t + 20 \text{ min}) \times 0.721 + 52 \text{ cm}, \quad (6)$$

求出潮汐對井中水位之影響,消除潮汐之影響後,直接繪製,如圖8所示。可以發現井 $OB-2-1$ 及 $OB-2-2$ 水位洩降相近。圖8中之修正後水位洩降數據,可直接與Neuman⁽¹¹⁾所推導出分非侷限含水層水位洩降之標準曲線比對,求得相關之水文地質參數。

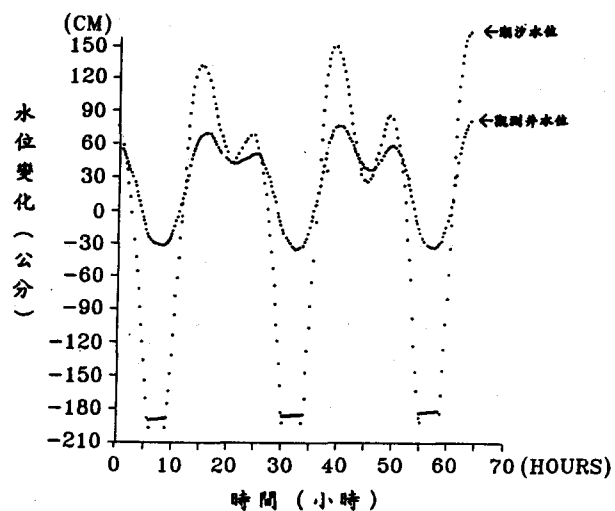


圖 1 海水潮汐變化(大訊號)影響臨近觀測井水位變化(小訊號)之關係

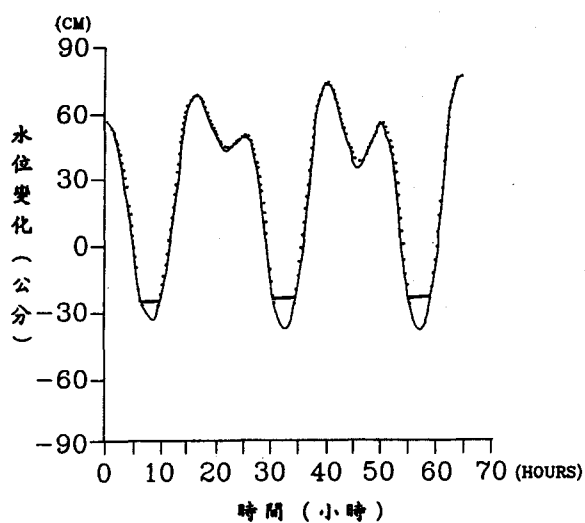


圖 2 鄰近觀測井水位受潮汐影響之觀測值(點線)與計算值(實線)之比較

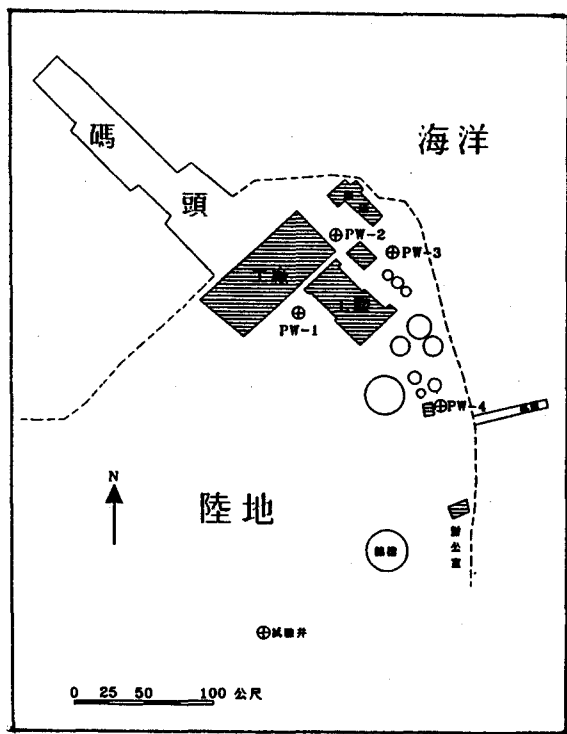


圖 3 四組抽水試驗井之相關位置

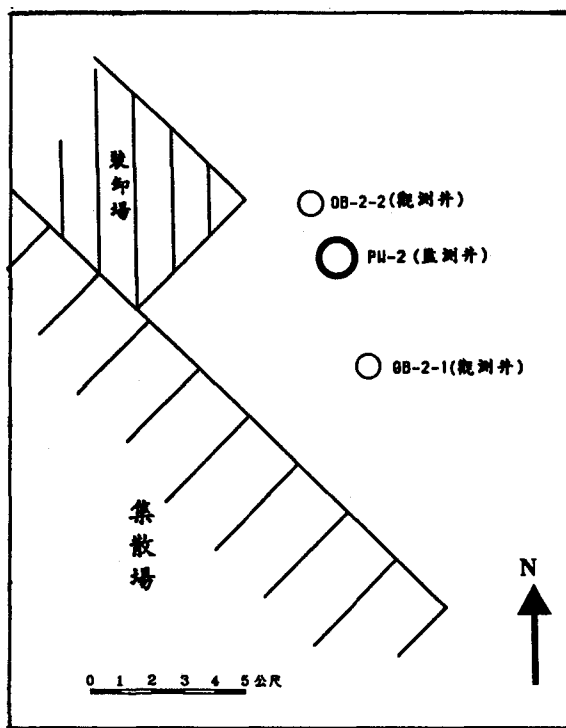


圖 4 第二組抽水試驗之抽水井及觀測井位置

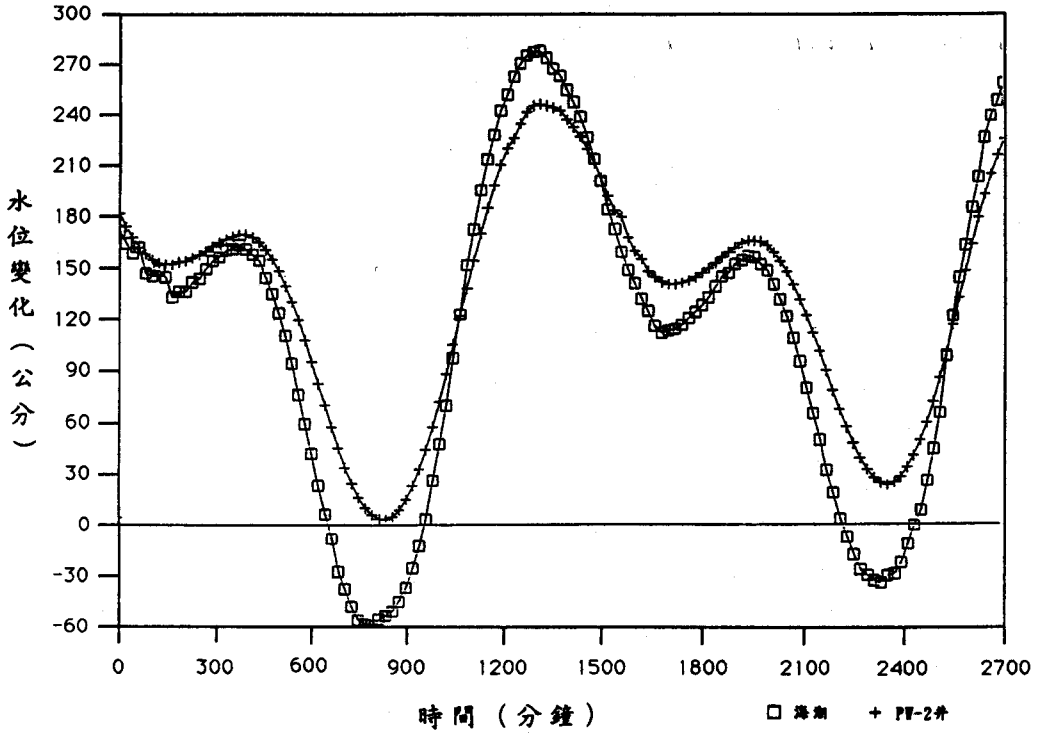


圖 5 抽水試驗前海水潮汐與觀測井水位變化關係

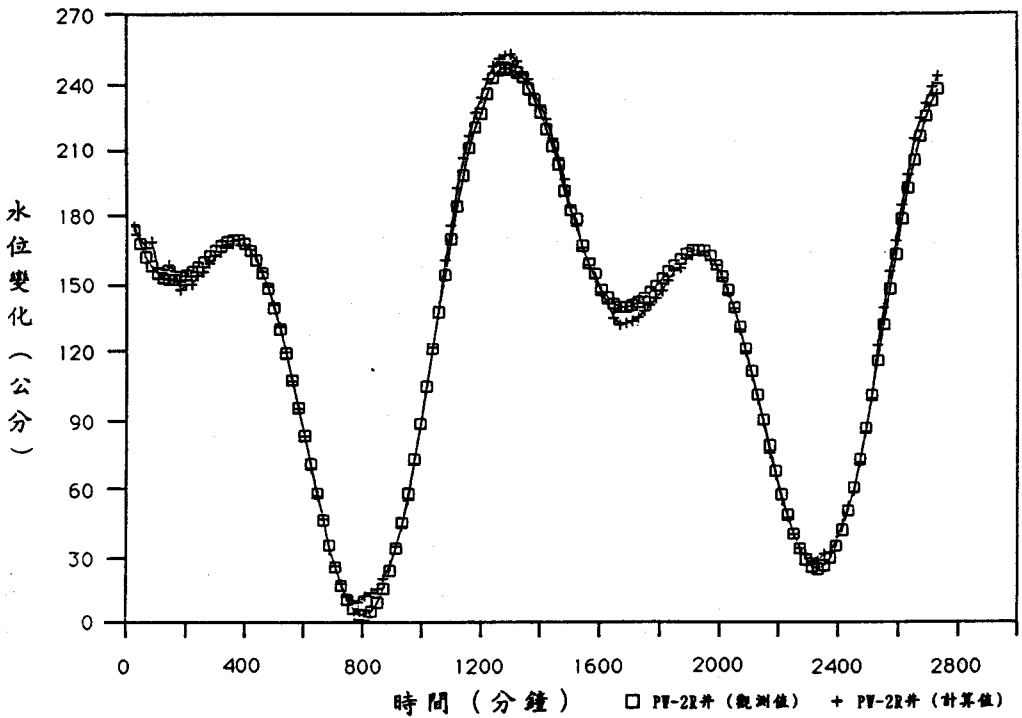


圖 6 觀測井水位受潮汐影響之觀測值與計算值之比較

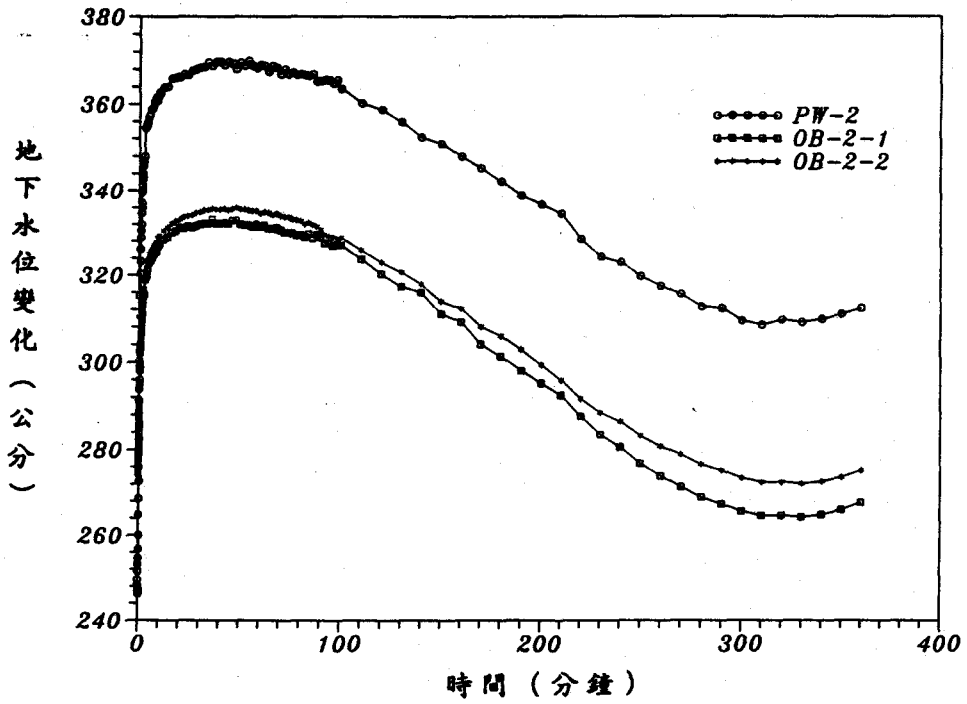


圖7 抽水試驗時未過濾潮汐影響之抽水井與兩口觀測井水位洩降變化

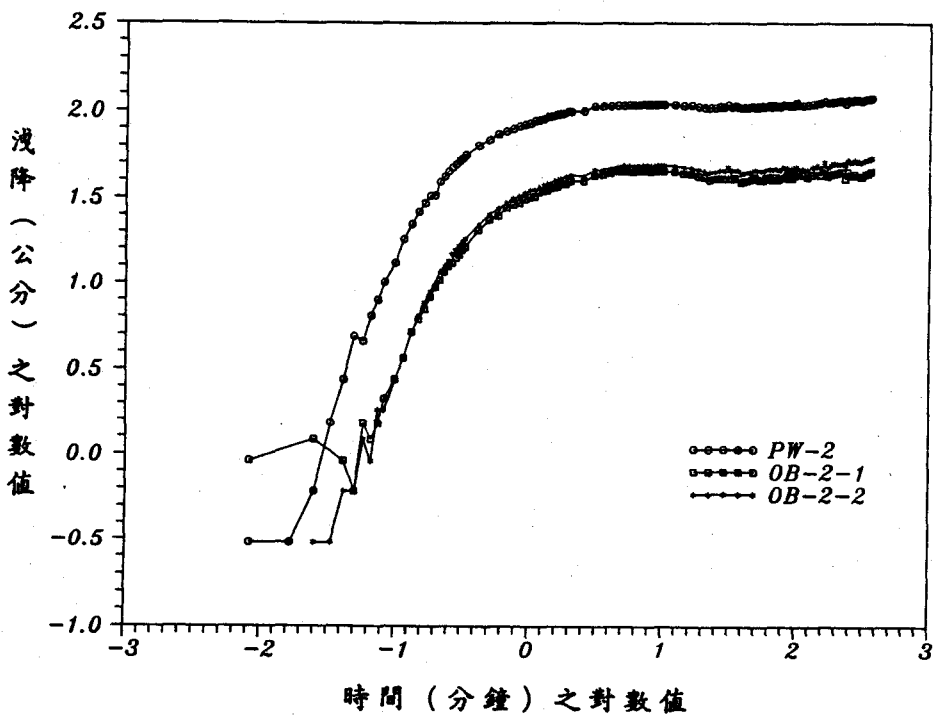


圖8 抽水試驗時過濾潮汐影響之抽水井與兩口觀測井水位洩降變化