

# 發展除去非構造因子影響水位變化效應的技術

## Develop the techniques of filtering the non-tectonic effects in ground-water level fluctuations

主管單位：交通部中央氣象局 地震測報中心

余貴坤

簡顯光

陳遠斌

Yu, Guey-Kuen

Chien, Hsien-Kuang

Chen, Yuan-Bin

萬能科技大學營建科技系

### 摘要

本研究利用中央氣象局建置的五口地下水觀測井在 2006 年的水位記錄,探討記錄中資料點重疊校正及脫漏補遺方法並發展除去非構造因子影響地下水水位變化效應的技術,期能呈現地殼形變產生的大地應力變動引起的水位變化異常,進而藉此發現大地震發生前之規律性短、臨地震前兆訊息,提供中央氣象局未來推動地震預報計畫時參考。

本計畫的研究成果,在記錄資料點重疊部分作適當校正,在資料脫漏補遺方面,則針對 24 小時內的資料脫漏情況,提出一個相當精確的補遺方法。至於發展除去非構造因素影響地下水水位變化效應的技術方面,也提出一個效果良好且簡單可行的技術。

關鍵辭：非構造因子、大地應力、地下水水位變化。

### Abstract

The ground-water level fluctuation records of five wells observed in 2006 by the Central Weather Bureau are used to propose the methods of correcting the repeat data points and estimating the data points missing in records within 24 hours, and develop the techniques of filtering the effects caused by the non-tectonic factors. The ground-water level fluctuation anomalies produced by the Earth stress changes are expected, and those anomalies can be considered as related to earthquakes. The techniques will provide a data processing method to the Central Weather Bureau as reference in the future.

As a result, a few repeat data points have been corrected in the records and an easy re-build the missing data method is proposed for records missing within 24 hours, and a simple and good technique is also developed to filter the non-tectonic effects, such as Earth tide, atmospheric pressure from the observed ground-water level fluctuations.

Key words : Non-tectonic factors, Earth stress, Ground-water level fluctuations.

### 一、前言

地下水的水位變化分析,除在探討地下水水位面的季節變化及降雨對水位面的升降影響,提供地下水水資源的開發與管理外,深井的水位異常變化亦可提供地殼形變

的重要訊息。但地下水的水位常因人為抽水或注入、降雨等影響造成不規則變化，對封閉型水源的深井而言，除沒有人為抽水或注入的影響外，仍有季節性水位面變化、地球潮汐、大氣壓力、及降雨等非構造因子的影響效應，這些影響效應常混淆來自地殼形變的水位變化異常，以致失去反應地震發生前地殼形變的應力改變偵測能力。本計劃即針對此現象，發展除去這些非構造因子影響地下水水位變化效應的技術，提供進一步探討除去這些影響效應後的水位變化趨勢異常是否與地震有關的基本資料，期能發現大地震發生前之規律性短、臨地震前兆訊息，作為中央氣象局未來推動地震預報計畫之參考。

地下水的水位變化可某種程度反應大地應力變動，已由許多研究證實（如 Bredehoeft, 1967; Bodvarsson, 1970; Robinson and Bell, 1971; Wakita, 1975; Narasimhan et al., 1984; Igarashi and Wakita, 1991），也有一些研究嘗試探討地下水的水位變動與地震活動的關連性或引發機制（如 Kovach et al., 1975; Oki and Hiraga, 1979; Wakita, 1984; Wang et al., 1984; Matsumoto, 1992; King et al., 2000; Matsumoto and Roeloffs, 2003）。然而，影響水位變動的因素很多，有些因素是人為的，如地下水的抽取或注入；有些因素卻是來自自然界的非構造因素，如潮汐、大氣壓力、水溫、降雨量等。但來自自然界的非構造因素影響，則須利用學理探討，尋求適當方法濾除，過去有多位學者曾由不同的角度及方法探討這些非構造因素所造成的影響（鄒泉生等, 1983; 張昭棟等, 1986, 1989, 1991; Yu and Mitchell, 1988; Matsumoto, 1992; Matsumoto et al., 2003; Merritt, 2004），雖各有成果，但也因地區性的差異而無法普及應用。本研究將參考前人之研究（Longman, 1960; Godin, 1972; Hsieh et al., 1987; Serfes, 1991），發展一個簡單且效果良好的濾除技術。

## 二、資料來源

中央氣象局在台灣島內已建置六口地下水觀測井，各觀測井之概略位置分佈見圖一，各觀測井的相關資料也列在表一，這六口井在 2006 年的水位季節變化和降雨記錄分佈見圖二。本研究主要目標在發展除去非構造因子對地下水水位產生的影響效應，因此僅採用在 2006 年的觀測記錄中較完整的部分水位資料進行分析，又由於原始水位記錄的資料點常有重疊或脫漏，為提升分析結果的可信度，資料點的校正及補遺是一項重要工作。但由於各水位記錄的資料點重疊或脫漏情況不盡相同，因而必須逐筆檢查後，才能進行校正或補遺，此項工作相當耗費時間與人力。

## 三、研究方法與進行步驟

本研究的工作分兩方面進行，一方面進行水位資料點的校正或補遺，另一方面則進行發展除去非構造因子影響地下水水位變化效應的技術，採用的研究方法分別簡述如下：

### (1) 在資料點校正及補遺方面

在原始的水位記錄中，有些資料點的時間（每秒取樣）重疊、但有些記錄卻脫漏數秒至數小時不等的資料點，甚至有些記錄還缺漏資料點達數日或數個月之久。若是資料點重疊，只要予以校正即可，若脫漏數秒的資料點，可取用前後點的數據作內插補遺，但如脫漏達數小時的資料點時，則採用需補遺之資料點的前後各 12.5 小時（半日潮時間）或前後各 25 小時（全日潮時間）的觀測值並利用下列公式計算結果補遺之。

設  $x$  為水位記錄在脫漏前的最後一個資料點實測值， $x_1$  為此資料點的前 12.5 或 25 小時的實測值， $x_2$  為此資料點的後 12.5 或 25 小時的實測值，則此資料點的實測值與前後兩點的平均值之差為

$$\Delta x = x - \frac{1}{2}(x_1 + x_2) \quad (1)$$

同理，令  $y$  為水位記錄在脫漏後重新記錄的第一個資料點實測值， $y_1$  為此資料點的前 12.5 或 25 小時的實測值， $y_2$  為此資料點的後 12.5 或 25 小時的實測值，則此資料點的實測值與前後兩點的平均值之差為

$$\Delta y = y - \frac{1}{2}(y_1 + y_2) \quad (2)$$

再應用下列公式計算  $t$  時間的水位變化資料點補遺值  $w_t$

$$w_t = \frac{1}{2}(w_{t_1} + w_{t_2}) + \frac{1}{t_2 - t_1} [\Delta x(t_2 - t) + \Delta y(t - t_1)] \quad (3)$$

其中  $w_{t_1}$  為  $t$  時間前 12.5 或 25 小時的水位變化實測值， $w_{t_2}$  為  $t$  時間後 12.5 或 25 小時的水位變化實測值， $t_1$  為資料脫漏前的最後一個資料點時間， $t_2$  為資料脫漏後重新記錄的第一個資料點時間。

## (2) 除去潮汐與大氣壓力效應方面

地下水水位受太陽與月球引力產生的潮汐作用十分明顯，此潮汐作用主要有全日潮與半日潮。Longman (1960) 曾提出一個地球潮汐偏移量修正公式：

$$m(t) = [w(t) + w(t-4) + w(t+4) + w(t-6) + w(t+6) + w(t-10) + w(t+10) + w(t-16) + w(t+16) + w(t-20) + w(t+20) + w(t-26) + w(t+26) + w(t-36) + w(t+36)]/15 \quad (4)$$

其中  $w(t)$  為觀測的水位記錄， $t$  取 30 分鐘為一單位。

Godin (1972) 提出二次 25 點移動平均法  $\left(\frac{1}{25^2} A_{25}^2\right)$  計算水位的變化趨勢線，取樣點以 1 小時為一單位。Hsieh et al. (1987) 也提出二次 24 點移動平均及一次 25 點移動平均法  $\left(\frac{1}{24^2} A_{24}^2 \frac{1}{25} A_{25}\right)$  進行變化趨勢線的三次運算。Serfes (1991) 認為

25 點移動平均雖可有效除去潮汐效應中的月球分量，但不能濾除所有的太陽變動影響；而 24 點移動平均則正好相反，可有效除去潮汐效應中的太陽分量，但不能濾除所有的月球變動影響。於是，本研究嘗試採用一次 25 點移動平均及一次 24 點移動平均  $\left(\frac{1}{25} A_{25} \frac{1}{24} A_{24}\right)$  的計算方式推估變化的趨勢線。

#### 四、結果與討論

- (1) 為驗證上述資料點脫漏補遺方法的可行性，本研究選取花蓮井在 2006 年 11 月 11 至 13 日的水位記錄（圖三）作測試。假設記錄在 12 日分別脫漏（以脫漏三小時為例）在水位下降、波谷、上升、及波峰等不同時段，依上述方法利用記錄脫漏時段的前後 12.5 或 25 小時（即 11 日與 13 日）的實測值分別推估補遺（見圖四）。結果顯示，利用記錄脫漏時段的前後 12.5 或 25 小時的實測值分別推估補遺結果相近且效果相當良好，其中又以利用脫漏時段的前後 25 小時之實測值進行推估補遺結果最佳。但若前後時段的記錄有雜訊干擾（如豪雨、震動）時，則推估補遺結果誤差較大（如圖四（c）右側時段）。

若資料脫漏達數日時，則無法逐筆補遺，只能應用多項式函數由資料脫漏前後之水位變化趨勢予以概估每分鐘或每小時的水位變化趨勢。大氣壓力的變化對水位變化的影響在台灣地區似乎不明顯（見圖五），因此不考慮大氣壓力記錄的校正或補遺工作。雨量記錄則無法分辨是否缺漏或是未降雨？故將沒有記錄的部份全部設定為零。

- (2) 在除去非構造因子影響水位變化的效應方面，本研究先選取乾季時段的水位記錄，依上述四種方法分別計算水位變化趨勢，結果如圖六所示。取其中一段放大

比較後（見圖七），發現  $\left(\frac{1}{24^2} A_{24}^2 \frac{1}{25} A_{25}\right)$  移動平均法的偏差較大、Longman 修正

法、 $\left(\frac{1}{25^2} A_{25}^2\right)$  移動平均法與  $\left(\frac{1}{25} A_{25} \frac{1}{24} A_{24}\right)$  移動平均法的結果則非常相近。然

而，Longman 修正法是一個經驗法則，採用的資料點較凌亂且長達前後 18 小時，在學理上不易解釋，又依據 Serfes (1991) 的看法，二次 25 點移動平均雖可有效除去潮汐效應中的月球分量，但不能濾除所有的太陽變動影響；而二次 24 點移動平均則正好相反，可有效除去潮汐效應中的太陽分量，但不能濾除所有的月球

變動影響。因此本研究認為  $\left(\frac{1}{25} A_{25} \frac{1}{24} A_{24}\right)$  移動平均法是除去潮汐效應的最佳方

法，應可有效濾除大部分的月球與太陽變動影響，而且只需作二次平均運算。為

確認 $\left(\frac{1}{25}A_{25} \frac{1}{24}A_{24}\right)$ 移動平均法的濾除效果，本研究也分析一段降雨較多的水位記錄，與乾季的結果比較，經頻譜分析後（見圖八及圖九）顯示效果甚佳，惟降雨量大時會減弱全日潮的振幅。

Merritt (2004) 指出太陽日晒的關係，大氣壓力對水位也會顯現半日潮與全日潮的效應。另外，降雨時地表荷載也可能對水位產生短期（一至二日）的影響效應，不過這些影響都可在計算水位變化趨勢時一併除去。至於降雨對水位變化的長期影響效應，則須進一步深入研究。

## 五、結論

由前述分析及討論結果，可歸納下列幾點結論：

- (1) 若觀測記錄脫漏在 24 小時之內，可利用脫漏時段前後 12.5 或 25 小時之實測資料點進行補遺，其中又以利用 25 小時之資料點補遺結果較佳。至於超過 24 小時之脫漏資料，則無法進行每秒的資料點補遺，只能採用多項式回歸的方式作每分鐘或每小時之資料點補遺。
- (2) 在除去非構造因子影響水位變化的效應方面，本研究提出的一次 25 點移動平均及一次 24 點移動平均 $\left(\frac{1}{25}A_{25} \frac{1}{24}A_{24}\right)$ 的計算方式推估變化趨勢線的方法，不僅濾除效果良好且計算簡單。
- (3) 降雨對地下水水位變化的影響不僅明顯且非常不規則，受觀測井的井下地質狀況影響甚大，須進一步深入研究。

## 六、誌謝

作者要特別感謝交通部中央氣象局提供相關地下水水位資料及研究經費，計畫編號：MOTC-CWB-96-E-13，地震測報中心配合人員盡心協助之辛勞也一併致謝。

## 七、參考文獻

1. 鄒泉生，陳正品，靖繼才（1983）降雨對水井水位的“效應”，地震研究，第 6 卷第 1 期 65-69 頁。
2. 張昭棟，鄭金涵，馮初剛（1986）氣壓對水井水位觀測的影響，地震，第 1 期 42-46 頁。
3. 張昭棟，鄭金涵，馮初剛（1989）水井水位的氣壓效率和降水荷載效率之間的定量關係，地震，第 6 期 38-42 頁。
4. 張昭棟，鄭金涵，馮初剛（1991）深井水位的固體潮效應，地震學報，第 13 卷第

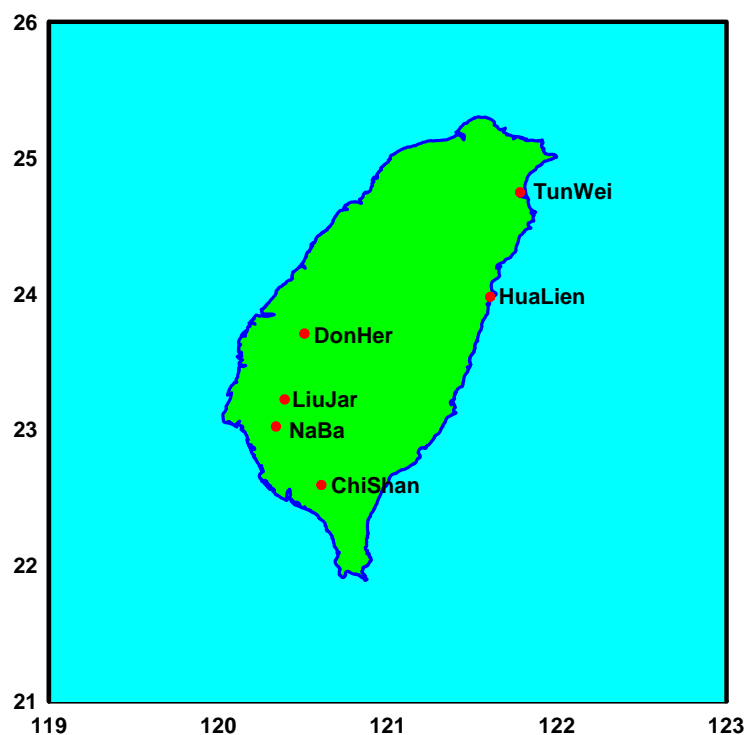
1 期 66-75 頁。

5. Bodvarsson, G. (1970) Confined fluids as strain meter, *J. Geophys. Res.*, 75, 2711-2718.
6. Bredehoeft, J. D. (1967) Response of well-aquifer system to earth tides, *J. Geophys. Res.*, 72, 3075-3087.
7. Godin, G. (1972) The analysis of tides: Toronto, University of Toronto Press, 264p.
8. Hsieh, P. A., Bredehoeft, J. D. and Farr, J. M. (1987) Determination of aquifer transmissivity from earth tide analysis, *Water Resources Research*, 24, 468-472.
9. Igarashi, G. and Wakita, H. (1991) Tidal responses and earthquake-related changes in the water level of deep wells, *J. Geophys. Res.*, 96, 4269-4278.
10. Kovach, R. L., Nur, A., Wessen, R. L. and Robinson, R. (1975) Water level fluctuations and earthquakes on the San Andreas fault zone, *Geology*, 3, 437-440.
11. King, C.-Y., Azuma, S., Ohno, M., Asai, Y., He, P., Kitagawa, Y., Igarashi, G. and Wakita, H. (2000) In search of earthquake precursors in the water-level data of 16 closely clustered wells at Tono, Japan, *Geophys. J. Inst.*, 143, 469-477.
12. Longman, I. M. (1960) The interpolation of earth-tide records, *J. Geophys. Res.*, 65, 3801-3803.
13. Matsumoto, N. (1992) Regression analysis for anomalous changes of ground water level due to earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 19, 1193-1196.
14. Matsumoto, N., Kitagawa, G. and Roeloffs, E. A. (2003) Hydrological response to earthquakes in the Haibara well, central Japan-I. Groundwater level changes revealed using state space decomposition of atmospheric pressure, rainfall and tidal responses, *Geophys. J. Inst.*, 155, 885-898.
15. Matsumoto, N. and Roeloffs, E. A. (2003) Hydrological response to earthquakes in the Haibara well, central Japan-II. Possible mechanism inferred from time-varying hydraulic properties, *Geophys. J. Inst.*, 155, 899-913.
16. Merritt, M. L. (2004) Estimating hydraulic properties of the Floridan aquifer system by analysis of Earth-tide, ocean-tide, and barometric effects, Collier and Hendry counties, Florida, U. S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 03-4267, 70p.
17. Narasimhan, T. N., Kanehiro, B. Y. and Witherspoon, P. A. (1984) Interpretation of earth tide response of three deep, confined aquifers, *J. Geophys. Res.*, 89, 1913-1924.
18. Oki, Y. and Hiraga, S. (1979) Water level anomalies prior to the Izu-Oshima earthquake, January 14, 1978, *Bull. Hot Springs Res. Inst.*, 9, 2-49.
19. Robinson, E. S. and Bell, R. T. (1971) Tides in confined well-aquifer system, *J. Geophys. Res.*, 76, 1857-1869.
20. Serfes, M. E. (1991) Determining the mean hydraulic gradient of ground water affected by tidal fluctuations, *Ground Water*, 29, 549-555.
21. Wakita, H. (1975) Water wells as possible indicators of tectonic strain, *Science*, 189, 553-555.

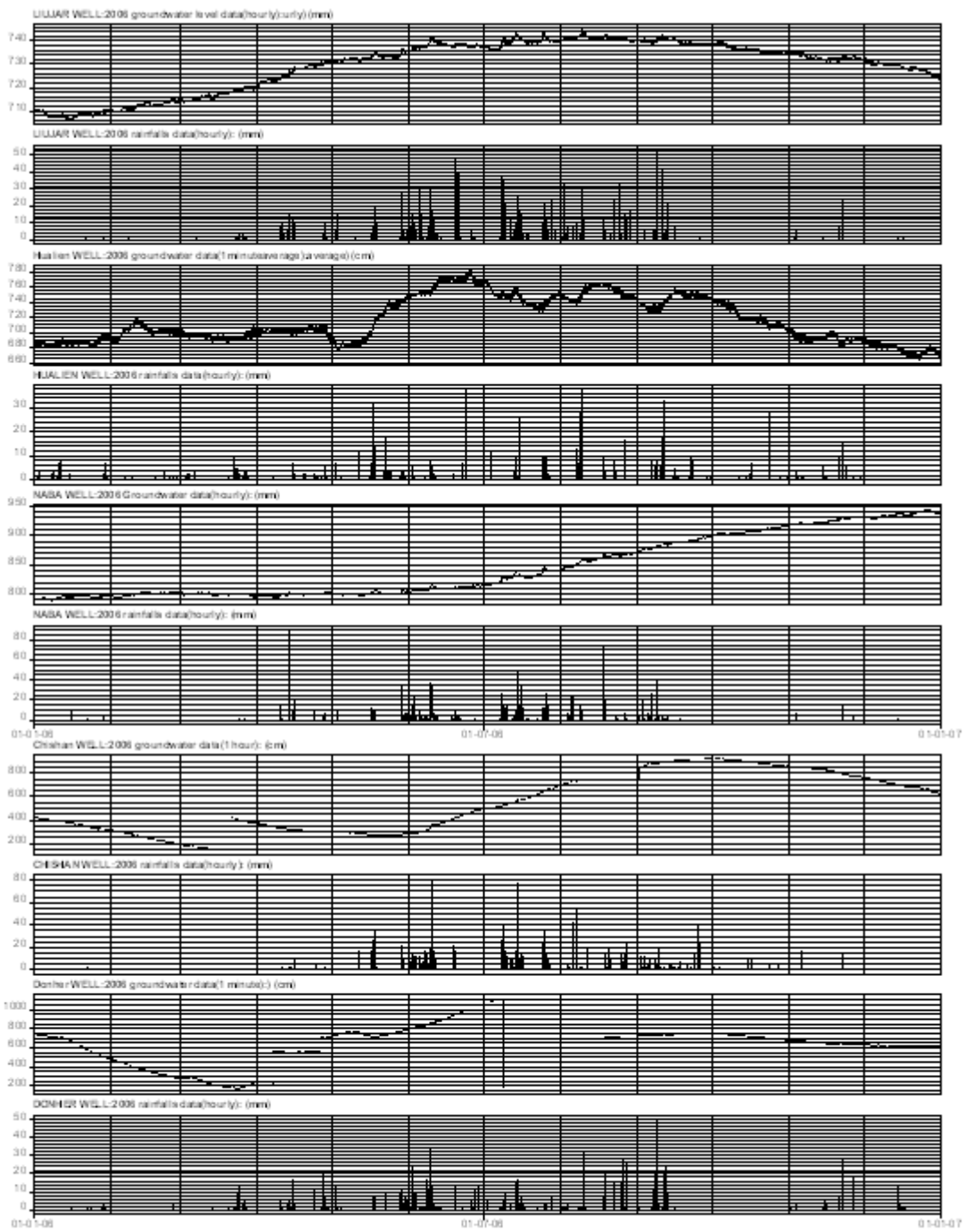
22. Wakita, H. (1984) Ground water observations for earthquake prediction, *Conf. Earthq. Pred.*, 494-500.
23. Wang, C., Wang, Y. and Guo, Y. (1984) Some results of groundwater level observation in earthquake areas in China during the past 15 years, *Conf. Earthq. Pred.*, 501-513.
24. Yu, G. K. and Mitchell, B. J. (1988) A study of the non-tectonic influences on groundwater level fluctuations, *Proc. Geol. Soc. China*, 31, 111-124.

表一、中央氣象局提供之水位觀測井名稱、位置、及相關資料

測井名稱	位置 (經、緯度)	含水層深度 (公尺)	所採用水位紀錄時間	說明
六甲 (LiuJar)	120.342、23.227	204-222	2006/01-2006/12	台南縣 六甲國小
那菝(NaBa)	120.340、23.071	135-147	2006/01-2006/12	台南縣 那菝國小
東和 (DonHer)	120.561、23.668	222-252	2006/01-2006/12	雲林縣 東和國小
赤山 (ChiShan)	120.608、22.593	158-170 182-197	2006/01-2006/12	屏東縣 赤山國小
花蓮 (HuaLien)	121.605、23.977	140-160	2006/01-2006/12	中央氣象局 花蓮氣象站
壯圍 (TunWei)	121.781、24.746	130-150	2006/01-2006/12	宜蘭縣 壯圍國小

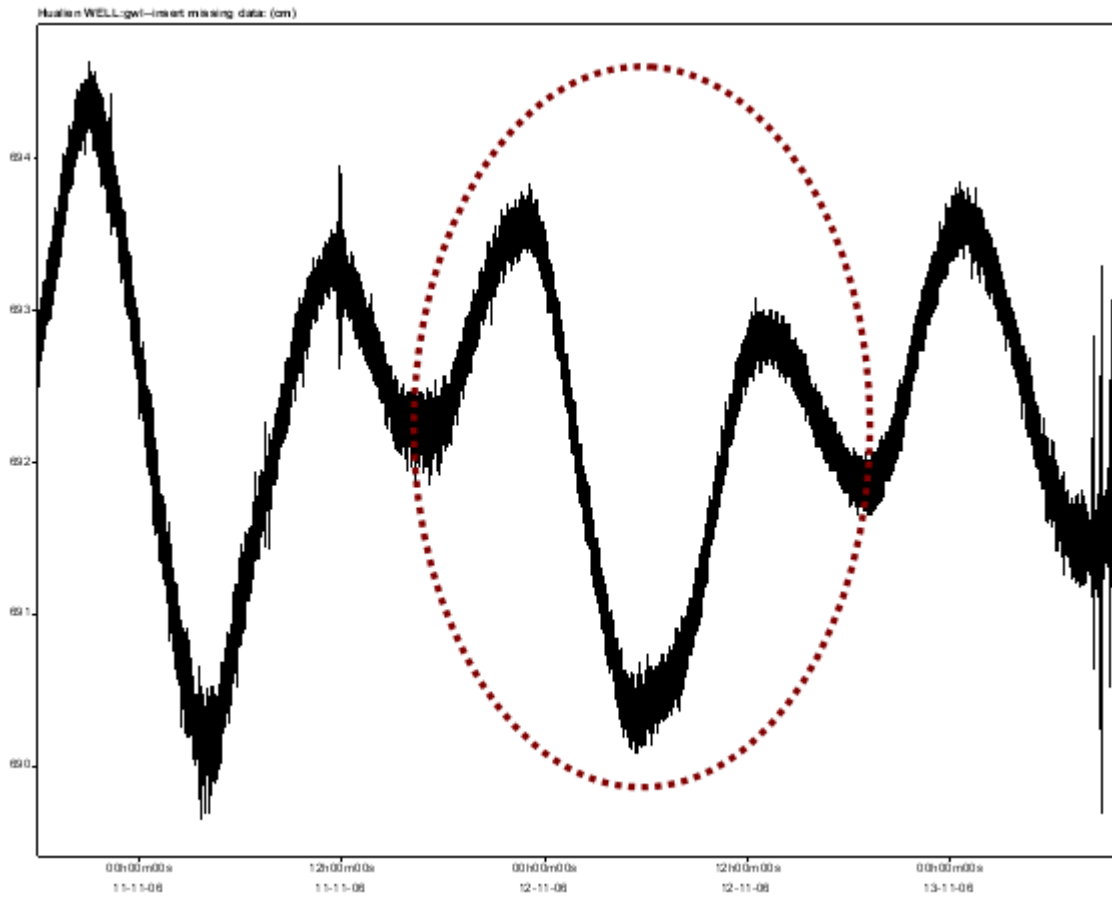


圖一、中央氣象局建置之地下水觀測井位置分布圖。

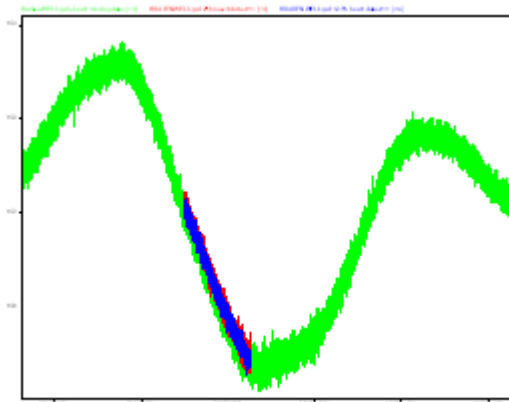


圖二、中央氣象局建置之5口井在2006年的水位季節性變化與雨量分佈圖。  
 (由上而下分別為六甲、花蓮、那菝、赤山與東和井全年的小時地下水位和雨量)

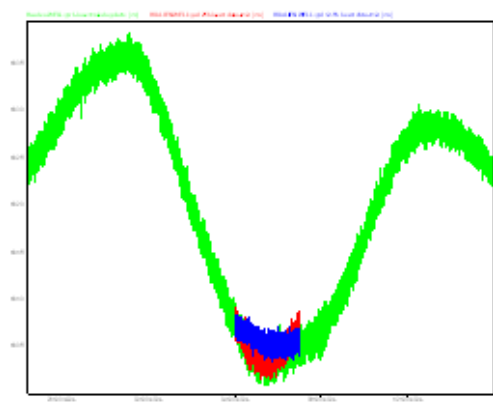




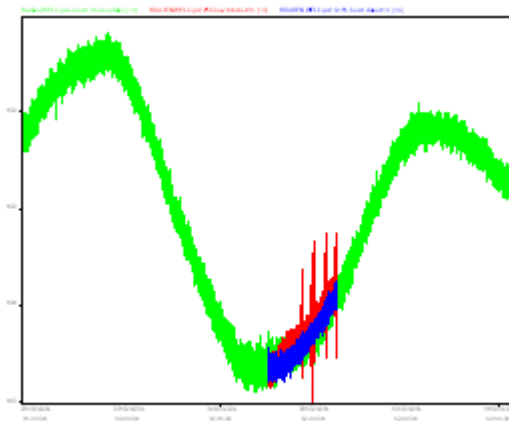
圖三、水位紀錄脫落補遺方法測試資料。



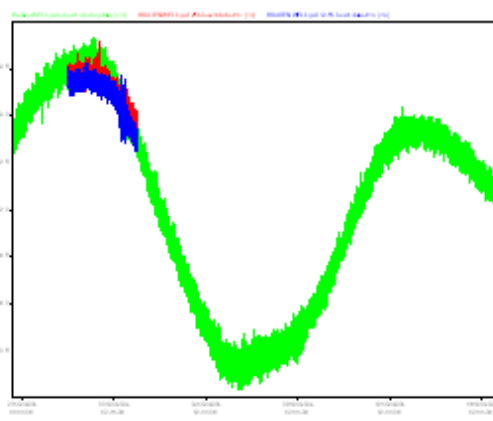
圖四(a) 水位下降段補遺結果



圖四(b) 通過波谷段補遺結果

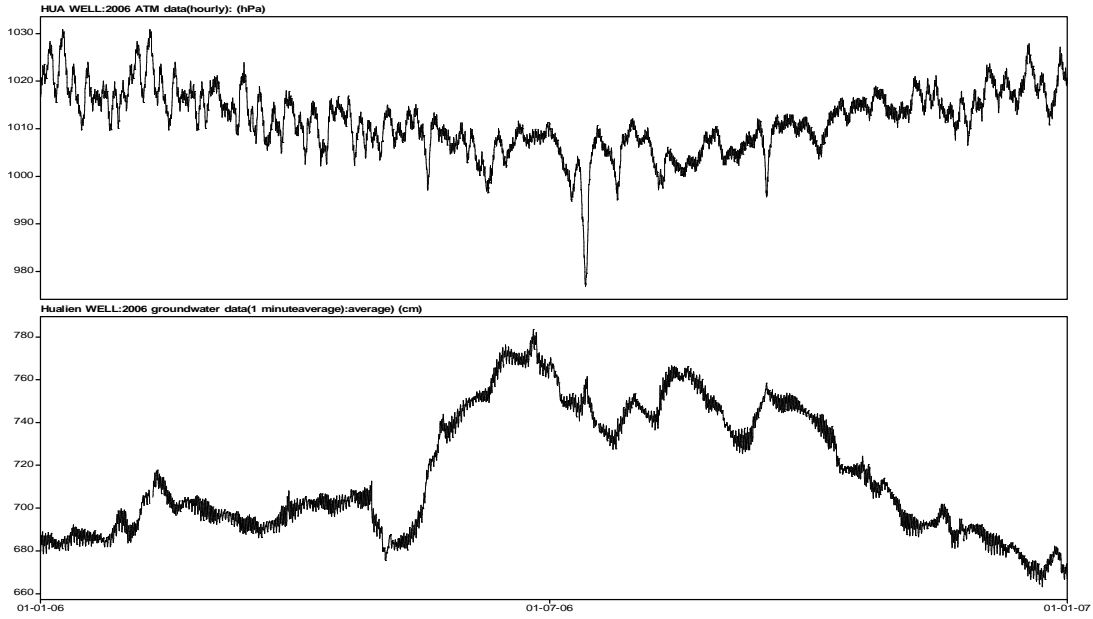


圖四(c) 水位上升段補遺結果

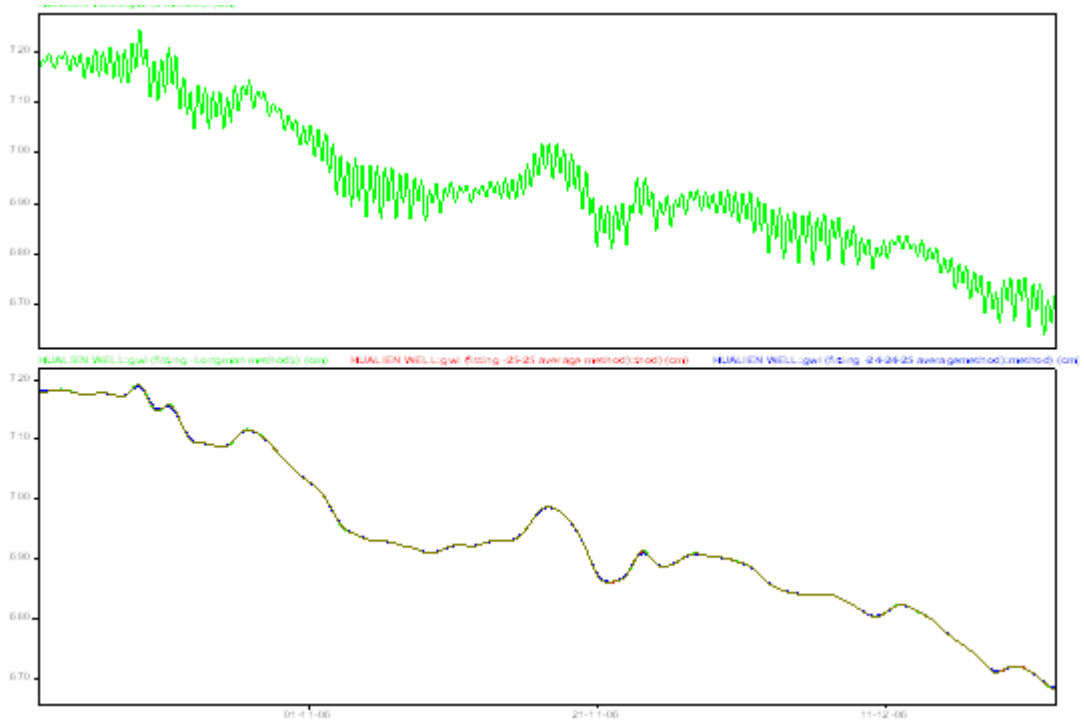


圖四(d) 通過波峰段補遺結果

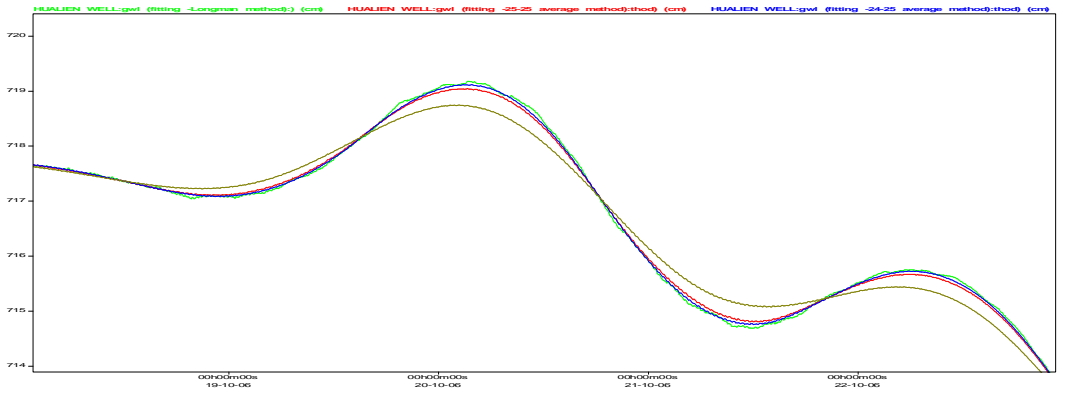
註：紅-使用前後 25 小時參考資料補遺結果。  
 藍-使用前後 12.5 小時參考資料補遺結果。



圖五、花蓮井地下水水位變化與大氣壓力對照圖

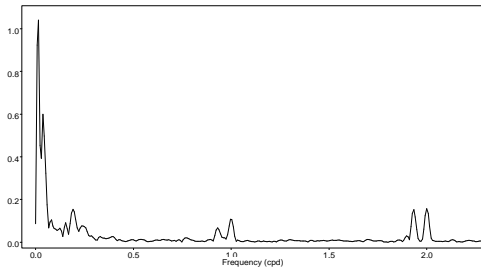


圖六、除去潮汐效應方法比較(上：水位原始記錄，下：四種方法所得結果)

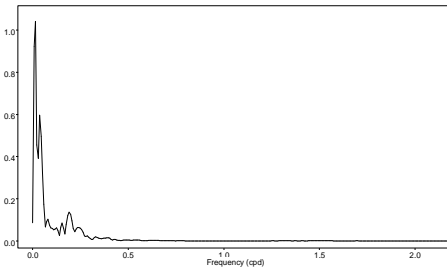


圖七、水位趨勢計算方法局部放大比較

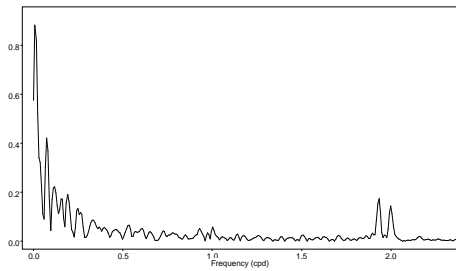
(綠-Longman、紅- $\left(\frac{1}{25^2} A_{25}^2\right)$ 、黃- $\left(\frac{1}{24^2} A_{24}^2 \frac{1}{25} A_{25}\right)$ 、藍- $\left(\frac{1}{25} A_{25} \frac{1}{24} A_{24}\right)$ )



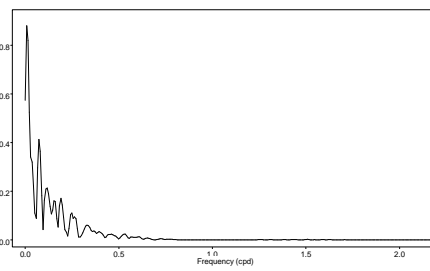
圖八(a) 乾季時原始水位記錄頻譜  
(六甲)。



圖八(b) 採取 $\left(\frac{1}{25} A_{25} \frac{1}{24} A_{24}\right)$ 法除去潮汐  
效應後之頻譜。



圖九(a) 雨季時原始水位記錄頻譜  
(六甲)。



圖九(b) 採取 $\left(\frac{1}{25} A_{25} \frac{1}{24} A_{24}\right)$ 法除去潮汐  
效應後之頻譜。