

監測資料補遺技術開發與應用

Development and Application of Monitoring Data Addendum Technique

國立臺灣大學
土木工程學系
博士候選人

張承宗

Cherng-Tzong Chang

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
教授

徐年盛

Nien-Sheng Hsu

國立臺灣大學
土木工程學系
碩士

王佑鈞

Yu-Chun Wang

摘 要

本研究提出利用迴歸方程結合統計分析的方式進行監測資料補遺與除錯，針對連續的監測資料進行多元迴歸補遺，可以合理描述不同監測井間的時空關係，同時加入除錯的程序，進行統計值分析，剔除超過 95% 發生機率的離群值資料，讓補遺成果更為正確。

本研究取礁溪溫泉 2012~2017 年的監測資料進行補遺，完整的資料量共計有 683,904 筆小時水位資料，但有 129,490 筆資料缺漏。結果顯示確實可針對缺漏的資料進行合理補遺，不僅符合長時間的趨勢，也呈現了短時間的擾動。

進一步將補遺資料應用在礁溪溫泉區抽水型態的辨識，成功改善了辨識的結果，發現礁溪溫泉水位呈現一天一次的起伏震盪，主要用水行為發生在 5:00~9:00、13:00~22:00。結果也顯示了如果直接使用監測資料，而沒有適當的補遺，分析所得可能失真。

關鍵詞：資料補遺，多元迴歸，礁溪溫泉，抽水型態。

ABSTRACT

This study proposes the use of regression analysis combined with statistical analysis for missing data interpolation and debug of monitoring data. Using continuous monitoring data in multiple regression can reasonably describe the temporal and spatial relationship between different monitoring wells, while applying the debug procedure can eliminate the outlier data with value out off the interval of 95% probability of occurrence. The proposed addendum technique makes the results more correct.

*通訊作者，國立臺灣大學水工試驗所助理研究員，10617 台北市羅斯福路 1 號，f91521308@ntu.edu.tw

In this study, the monitoring data of Jiaoxi Hot Spring from 2012 to 2017 is supplemented. The total amount of data is 683,904 counts of hourly groundwater level data, but there are 129,490 missing data. The addendum results show that it is possible to make reasonable additions to the missing data, which not only meets the long-term trend, but also presents short-term disturbances.

The addendum data is used to the identification of the pumping type in Jiaoxi Hot Spring Area and successfully improve the identification results. It is found that the main hot spring use behavior of Jiaoxi occurs during 5:00~9:00 and 13:00~22:00, thus inducing a once-a-day fluctuation of water level. The results also show that if the monitoring data is used directly without an appropriate supplement, the analysis may be distorted.

Keywords: Missing data interpolation, Multiple regression, Jiaoxi hot spring, Pumping type.

一、緒論

台灣地區因獨特之地質條件及豐沛之雨量，又地熱區加上充足之地下水或地面水源，造就各地眾多溫泉資源，於不同地質條件下形成不同型態之溫泉，目前具開發規模且經縣市政府公告為溫泉區者共計有 25 處，包括新北投溫泉區、行義路溫泉區、中山樓溫泉區、馬槽溫泉區、烏來溫泉區、金山萬里溫泉區、清泉溫泉區、小錦屏溫泉區、泰安溫泉區、谷關溫泉區、東埔溫泉區、中崙溪水溪溫泉區、關子嶺溫泉區、龜丹溫泉區、寶來溫泉區、不老溫泉區、四重溪溫泉區、旭海溫泉區、礁溪溫泉區、員山溫泉區、蘇澳冷泉公園南核心冷泉區、瑞穗溫泉區、安通溫泉區、知本溫泉區、金崙溫泉區，其分布範圍如圖 1 所示。

台灣溫泉開發利用已有相當的歷史，但近十年才開始進行溫泉監測。台灣主要 25 處溫泉區中，以礁溪溫泉區及四重溪溫泉區的監測較早，於 2007 年開始有監測數據，後來陸續於北投、烏來、瑞穗、谷關、關子嶺、寶來等溫泉區建置溫泉監測井，監測水位與水溫。

本研究綜整歷年溫泉監測成果，彙整發現監測資料會產生缺漏或異常之原因包括：1. 天災導致儀器毀壞、2. 儀器使用年限已到、3. 儀器因高溫或酸鹼腐蝕損壞、4. 環境擾動造成水位水溫

急遽變化、5. 蒐集資料時的人為擾動、6. 年度監測計畫無法順利銜接。隨著溫泉監測井網的推展，系統強度及執行人力不斷提升，累積了許多實務經驗，不斷改善強化監測過程，以確保監測資料之連續，正減少資料缺漏及異常。對於上述各種可能造成資料缺漏或異常之原因均已對有對應之初步排除或避免方法，羅列如表 1。

為避免天災導致儀器損毀，於監測井與儀器設置前，會先進行選址，選擇地質相對穩定的地點設置可減少天災的影響；發生災害後，亦應於情況許可下盡速進行儀器檢視，若發現損壞應盡速搶修，以確保監測資料之連續。儀器皆有一定的使用壽命，溫泉監測儀器以設定為每月人工檢核一次，並定期更換儀器，可減少因儀器年限已到所造成資料缺漏或異常。

因為溫泉的背景環境多為高溫，且有較高酸鹼值，可能使儀器腐蝕損壞，可選擇合適台灣環境之監測儀器，並透過定期人工檢核，發現損壞後立即進行儀器調教或備品更換，以減少監測資料的缺漏或異常。

溫泉監測會受到環境擾動的影響，如鄰近大量抽水、地震、大雨補注等等，造成短時間內水位水溫急遽變化，此屬特殊事件，應記錄此事件發生時間，並先將資料予以紀錄保留。蒐集資料時可能因為人員不熟悉或操作錯誤，使得資料缺

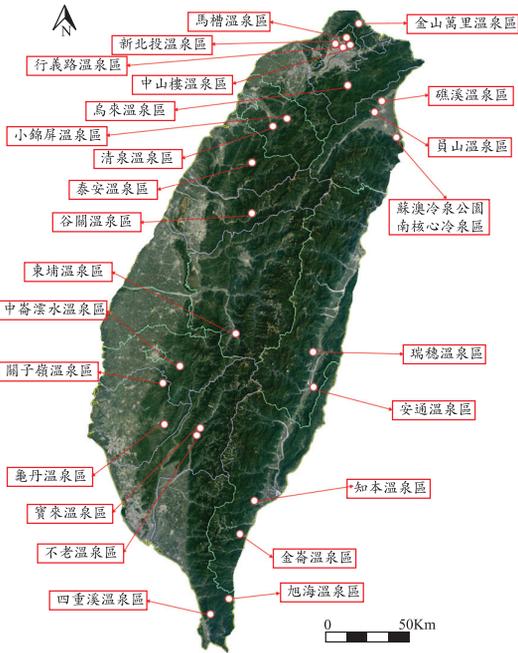


圖 1 台灣公告溫泉區分布位置圖

漏或異常，目前已訂定監測資料蒐集現場標準作業程序(水利署，2017)進行除錯的動作，可排除人為擾動對監測的影響。另一個會造成資料缺漏的原因是前後年度的溫泉監測計畫無法順利銜接，造成資料空窗期，這部分可以透過提前相關行政程序作業的方式，以確保監測計畫穩定執行。透過初步排除或避免的方式，已經可以大幅減少資料的缺漏或異常，增加資料的完整性與正確性，讓資料補遺量降至最低。

監測資料缺漏或異常會造成時空監測的不連續，亦代表了部分時空資訊的缺乏，可能造成資料無法使用、資料分析結果錯誤以及無法預期的問題等等，所以需透過合適的方式進行補遺，讓監測資料變得完整、合理、可分析且具有代表性，本研究目標即在提出一個合理的資料補遺技術，並將其應用於溫泉監測資料的補遺以及抽水型態的評估上，以確認方法的正確性與適用性。

二、資料補遺文獻回顧

資料補遺的方法，歷年來多有研究，茲將

表 1 溫泉監測資料缺漏或異常之原因及初步排除方法

| 缺漏或異常原因 | 初步排除或避免方法 |
|----------------|----------------------------------|
| 天災導致儀器毀壞 | 設置監測井時選擇相對穩定之地點，災害發生後盡速搶修 |
| 儀器使用年限已到 | 定期人工檢核，定期更換儀器 |
| 儀器因高溫或酸鹼腐蝕損壞 | 選用合適之儀器，定期人工檢核，發現損壞立即進行儀器調教或更換備品 |
| 環境擾動造成水位水溫急遽變化 | 紀錄事件發生之時間 |
| 蒐集資料時的人為擾動 | 建立標準作業程序，以進行資料除錯 |
| 年度監測計畫無法順利銜接 | 提前相關行政作業，以確保監測計畫穩定執行 |

其回顧如下：

Coppola 等人(2003)以監測資料、抽水量、氣候條件等訓練類神經網路，使其預測地下水位的變化。經濟部水利署(2006)於分析地震與地下水文異常變化前，先對地下水水位資料進行時間線性內插補遺，再分析地震所造成地下水位之異常下降變化。交通部中央氣象局(2007)研究以地下水位缺漏前的最後一筆實測值、前 12.5 或 25 小時的實測值、缺漏後重新記錄的第一筆實測值、後 12.5 或 25 小時的實測值，透過權重計算缺漏值，此方法試用缺漏少於 24 小時，超過者建議改採多項式迴歸的方式補遺。

經濟部中央地質調查所(2013)研究蘭陽平原地下水補注範圍，先對日地下水監測資料進行補遺，缺漏 10 天內之資料以線性補遺，缺漏超過 10 天者以鄰近相關性最高之測站與缺值站的線性迴歸方程式補遺。補遺後之資料再進行異常值判斷，判斷方式為其是否偏離水位趨勢，偏離者則再次進行補遺修正，補遺結果使水位監測更為合理且連續。康麗惠(2014)利用灰色理論進行溫泉水位之資料補遺，首先取溫泉水位資料完整部分，訓練灰色預測模式，再利用此模式進行水位補遺。補遺結果顯示，溫泉公園站以相異 12 筆與相異間距 7 日為最佳灰預測模式。

Gusyev 等人(2013)應用地下水流模擬模式

模擬地下水位的分布，並訓練類神經網路進行水位的內插，以描述細部的水位變化。Chattopadhyay and Rangarajan (2014)的研究指出地下水位的空間分布受到局部抽水的影響有可能是非線性的，應用類神經網路可以描述季節性的水位變化。

黃俊霖(2014)以倒傳遞類神經網路建構長時距地下水水位推估模式，地下水水位資料使用前先進補遺。若缺漏資料少，以線性內插方式補遺；若缺漏資料多則計算缺漏井與所有井水位之相關係數，取相關性最高者運用線性迴歸進行補遺。對於資料異常升降者，一樣採用線性內插方式將其作平滑化校正，資料補遺及校正完成後才進行地下水特性分析。

經濟部水利署(2015)蒐集高屏溪流域內之水文地文及氣象資料，以類神經網路模式將資料整理補遺完整，共計完成 13 站雨量站、12 站流量站、126 站地下水水位站於 1999 至 2014 年間日資料之整理，並進行統計分析以掌握呈現地下水特性。陳清田等人(2015)結合倒傳遞類神經網路、克利金法之半變異圖，建立地下水水位預測模式，並應用至台南市地下水站的水位補遺，結果顯示先利用半變異圖找出缺值井之影響半徑，取半徑內相關性最高的井建立其與缺值井的類神經網路，可正確補遺月水位資料，均方根誤差約 0.24 公尺。

李躍斌(2016)研究整合線性回歸與短時距傅立葉轉換進行地下水水位資料補遺，首先以相關性最高之鄰近井日水位，線性迴歸補遺缺值井水位。接著將此補遺之日水位以短時距傅立葉轉換成時頻，並加上缺值井之高頻訊號後，逆轉換回時間，變成時水位補遺。此方法應用於嘉南平原，發現可保留水位在時間域及頻率域上的特徵。經濟部水利署於水文年報(2017)中建議地下水水位時資料補遺方式，若資料缺漏少於 10 小時且水位差少於 40 公分，則線性補遺，缺漏超過 10 小時則不補遺。

由前人研究成果可以發現，資料補遺主要採用三種方法：1. 線性內插、2. 迴歸方程、3. 類神經網路。線性內插是最簡易的方法，適用在短時間的資料補遺，長時間的資料缺漏不易滿足線

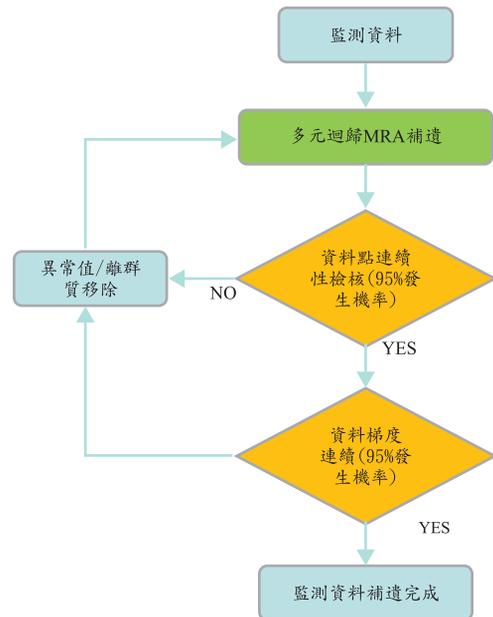


圖 2 監測資料補遺及除錯技術流程圖

性的假設。迴歸方程是利用連續的監測資料進行補遺，可以合理描述不同監測井間的時空關係，是一個更為合適的資料補遺方法。類神經網路與迴歸方程相似，不同在於其透過權重描述輸入與輸出間的關係，需要測試哪些是正確的輸入，才能合理描述監測資料的時空關係。所以依據文獻回顧成果，本研究採用迴歸方程的方法發展資料補遺技術。

三、資料補遺技術

本研究採用迴歸方程方法，透過時空資料間的關係進行資料補遺。同時，利用統計分析方法，確認補遺後資料的正確性，將異常值剔除，並重新補遺，以確保資料的正確。補遺及除錯流程如圖 2 所示。

首先利用多元迴歸分析(或稱複迴歸分析，Multiple Regression Analysis, MRA)，將所有缺漏的資料補齊。多元迴歸是用於探討多個自變數(X)及一個應變數(Y)之間的關聯性，並建立出迴歸模型，藉此估算或預測我們感興趣的應變數(Y)，其迴歸方程式如下：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \dots\dots\dots(1)$$

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}XY$$

其中 Y 為某一特定監測井之監測資料(水位或水溫)

X 為其他監測井的監測資料

$\hat{\beta}$ 為各個監測井的監測資料對於該特定井的監測資料的迴歸係數

在多元迴歸當中，應變數和自變數必須為連續變數，一般的水位或水溫監測資料都是連續變數。而迴歸方程所表達的即是任何一個時間或空間的監測資料，可以用鄰近時間或空間的監測資料以權重的方式組合而成，而這些權重就是迴歸係數，也就是這一特定時空點的資料與周圍時空點的資料的關係，這樣的關係可以透過迴歸的方式找到。

由於有了這樣的關係式，所以當某一個監測井在某一時刻缺少了監測資料時，我們可以在該時刻有監測資料的井，加上描述彼此間時空關係的權重係數，相乘後加總，估算得到該監測井的監測資料，完成監測資料補遺。

將所有缺漏值補遺完成後，本研究將每一個監測井的水位或水溫資料視為一個隨機變數，進一步計算其統計值，包括平均值與標準偏差，平均值代表該監測井水位或水溫之期望值，取 95% 發生機率作為該數值的合理範圍，也就是在平均值加減兩倍標準偏差的範圍內可判定為正常的監測資料，超過此範圍者則判定為離群值，視為異常並將其移除。

同樣地，除了每個站的水位或水溫監測值以外，本研究亦將水位梯度或水溫梯度(即鄰近兩個時間之監測資料差異)視為一個隨機變數，其平均值即為該站水位梯度或水溫梯度之期望值，取 95% 發生機率作為該數值的合理範圍，超過此範圍者則判定為異常，將異常值移除。

經過數值判斷及梯度判斷移除異常值之後，再利用多元迴歸進行資料補遺，再進行異常值移除，如此重複循環至所有資料數值皆在合理範圍內，完成資料補遺。但在實務上，則是取兩次補遺成果之平均值差異小於 0.1m 或 0.1 度

C，作為完成補遺的判斷標準，意即當兩次補遺成果十分接近時，顯示此補遺及除錯程序已趨於穩定，數值變化很小，不需要一直進行計算，可停止程序，以提高資料補遺之效率。上述所有演算流程已經利用 MATLAB 撰寫成自動化程式，可以自動補遺及除錯，得到合理且連續的補遺資料。

本研究於監測資料補遺時採用小時作為補遺之時間尺度，由小時監測資料平均後可以得日監測資料，再將日平均後可以得月監測資料。取最小時間尺度進行補遺的目的在保留最多的監測資訊，以利後續資料的應用或分析。

監測資料補遺及除錯技術開發完成後，首先以一個小算例展示整個補遺的流程及成果。取礁溪溫泉區 13 口溫泉監測井 2015 年之小時監測資料作為算例，該年計有 365 天，所以若有完整監測的話，應該有 113,880 筆監測資料，但實際僅有 102,337 筆監測資料，資料缺漏 11,543 筆，缺漏量約占完整監測數量之 10%，利用本研究所提之資料補遺及除錯方法進行補遺。首先將監測資料依據時間及站次整理成 EXCEL 表格，以縱軸為時間，橫軸為站次的方式，形成一個時空二維資料的制式格式，然後以 MATLAB 程式開始自動化補遺。

以 2015/6/11 下午兩點為例，R003 太子監測井缺少水位監測資料，在這時間點有監測資料的 10 站，所以程式自動將此 10 站挑出，並選擇此太子與此 10 站皆有監測資料的時間點，共計有 1,486 個共同監測時間，利用這些有完整的時間與空間觀測的資料建立太子與其餘 10 站的迴歸方程，如下

$$Y = 2.07 + 0.01X_1 - 0.02X_2 + 0.22X_3 + 0.16X_4 + 1.19X_5 - 0.17X_6 + 0.00X_7 \dots (2)$$

$$- 1.73X_8 - 0.21X_9 + 1.60X_{10}$$

每一個迴歸係數皆取兩位小數有效，以呈現每個站的影響，這 11 個迴歸係數即代表了周圍監測井的水位與太子監測井水位的權重關係，將有監測數據的十個站監測水位帶入該算式，即可補遺得到太子站在 2015/6/11 下午兩點之水位

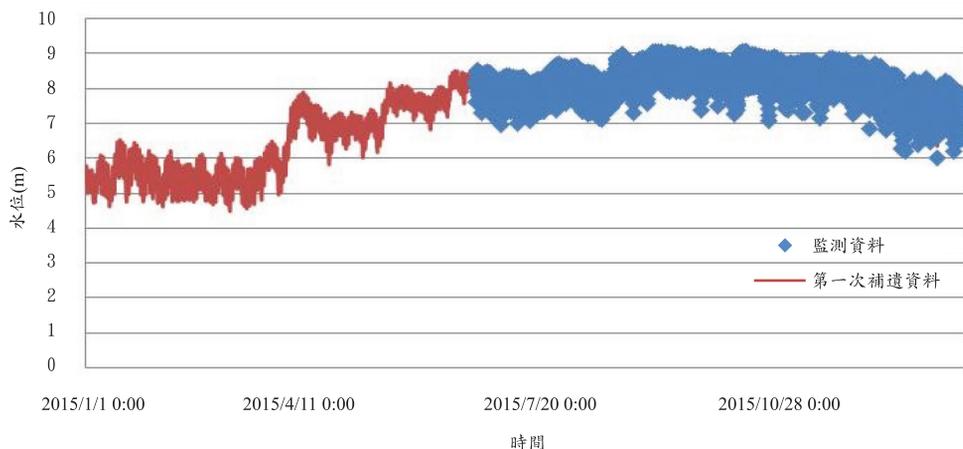


圖 3 太子站 2015 年水位補遺成果

為 7.906 m。所以透過自動化程式，不斷尋找缺漏的時空點位，及該點位與周圍監測井之迴歸方程，即可不斷進行補遺至所有資料皆補遺完成，獲得完整的 113,880 筆資料，將太子站的補遺成果繪製如圖 3。

補遺成果良好，可以發現太子站於 2015 上半年度大部分時間皆無監測資料，透過其他監測站的水位資料迴歸結果，不僅僅在趨勢上符合枯水期水位下降、豐水期水位上升的趨勢，同時在每天的水位變化上，也呈現了上下擾動的情形，顯示本研究提出之方法確實可以合理描述一年內每個小時的水位變化情形。

補遺完成後進行異常值移除的動作，先計算太子站監測資料之統計值，其水位平均值為 7.37，水位標準偏差為 1.19，水位梯度平均值為 0.00，水位梯度標準偏差為 0.16，統計檢核結果，所有水位及水位梯度數值皆在兩倍標準偏差範圍內，顯示數據合理未有異常。同樣地檢視每一監測站的統計值，並移除異常值，總計有 5,393 筆水位或水位梯度超過兩倍標準偏差的異常值被移除，並進行第二次的 MVR 補遺。但比較兩次補遺成果發現，各站水位平均值差異皆小於 0.1m，顯示再次補遺的結果已無明顯差異，故停止補遺及除錯程序，輸出最終成果。

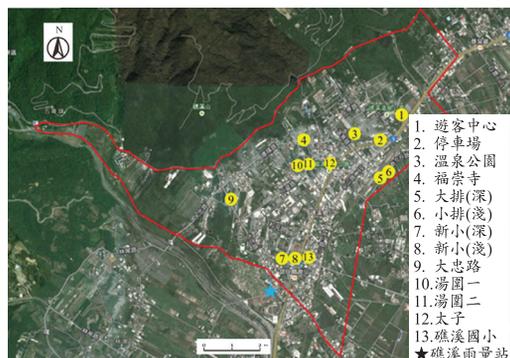


圖 4 礁溪溫泉區監測井位置分佈圖

四、礁溪溫泉區監測資料補遺

本研究以礁溪溫泉區為示範區，礁溪溫泉位於臺灣東北部宜蘭縣，涵蓋湯園溪南北兩側地勢相對低窪的谷地，南北長約 400 公尺，東西寬約 500 公尺，溫泉區劃設範圍約 277 公頃，泉質以碳酸氫鈉泉為主。推測礁溪溫泉的源頭應在春和浴室附近，熱水應由深度超過 500 m 的岩盤裂縫中向上湧出，部份湧出地面、部份進入沖積層，由西北向東南方向流動。

礁溪溫泉區自 2007 年開始就有監測資料，並陸續將監測站井佈滿整個礁溪溫泉區，有最完整的時空資料及監測經驗可供分析及探討。目前

表 2 礁溪溫泉區監測井基本資料

| 編號 | 井號 | 井名 | 座標 X | 座標 Y | 井頂高程 m | 井深 m | 監測型式 | 監測儀器 | 監測深度 m |
|----|---------|--------|--------|---------|--------|------|------|---------|--------|
| 1 | JS002 | 遊客中心 | 327607 | 2747494 | 12.37 | 151 | 生產井 | Troll | 8.0 |
| 2 | JS003 | 停車場(深) | 327589 | 2747218 | 9.30 | 100 | 監測井 | Heron | 8.0 |
| 3 | JS003-1 | 公園 | 327350 | 2747258 | 11.40 | 100 | 監測井 | Troll | 8.0 |
| 4 | JS007 | 福崇寺 | 326960 | 2747268 | 15.76 | 131 | 生產井 | Troll | 0.0 |
| 5 | JS010 | 大排(深) | 327650 | 2746950 | 5.69 | 80 | 監測井 | Solinst | 10.0 |
| 6 | JS010 | 大排(淺) | 327650 | 2746950 | 5.62 | 20 | 監測井 | Diver | 5.0 |
| 7 | JS012 | 新小(深) | 326924 | 2746361 | 12.86 | 80 | 監測井 | Diver | 10.0 |
| 8 | JS012 | 新小(淺) | 326924 | 2746361 | 12.87 | 20 | 監測井 | Diver | 10.0 |
| 9 | JS015 | 大忠路 | 326440 | 2746750 | 24.01 | 60 | 監測井 | Troll | 20.0 |
| 10 | R001 | 湯園 1 | 326999 | 2747184 | 12.84 | 44 | 監測井 | Diver | 10.0 |
| 11 | R002 | 湯園 2 | 326999 | 2747184 | 12.88 | 83 | 監測井 | Solinst | 9.5 |
| 12 | R003 | 太子 | 327171 | 2747099 | 9.18 | 60 | 監測井 | Diver | 10.0 |
| 13 | R004 | 礁溪國小 | 326924 | 2746361 | 12.93 | 44 | 監測井 | Dive | 10.0 |

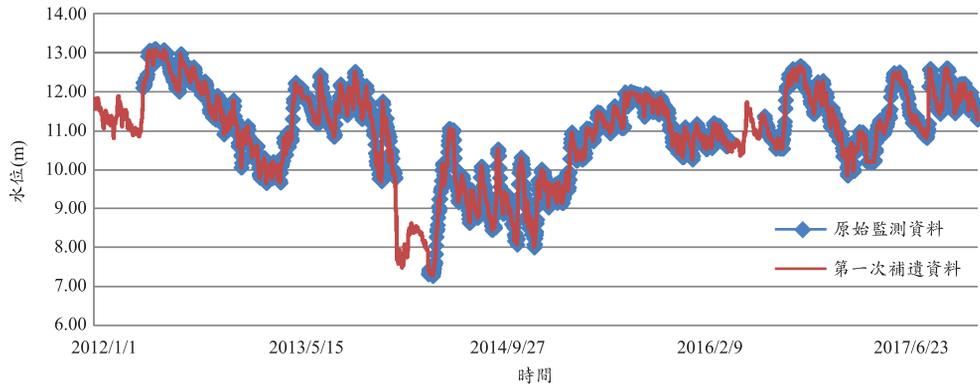


圖 5 湯園二水位原始監測資料及第一次補遺後資料

礁溪溫泉監測井共有 13 口，其中經濟部水利署監測井為 8 口(5、6、7、8、10、11、12、13 號井)，宜蘭縣政府監測井為 5 口(1、2、3、4、9 號井)，圖 4 為礁溪溫泉監測井之位置分佈圖，表 2 為監測井基本資料。

本研究取 2012~2017 年的水位水溫資料進行補遺，其中 R002 湯園二監測井的水位原始監測資料及第一次補遺後資料如圖 5 所示(為利於圖形展示，以日資料進行圖形繪製)。完整的資料量共計有 683,904 筆小時水位資料，但有 129,490 筆資料缺漏，約 19% 的缺漏量，經過第一次補遺後，可以發現本研究提出之補遺方法，確實可針對

缺漏的資料進行合理補遺，所得結果每日皆有起伏變化，而不只是線性的上升或下降，顯示多元迴歸確實更合理的解釋了水位的時空變化特性，更為吻合實際情形。

第一次補遺完成後，緊接著第一次異常值的移除，總計有 39,351 筆資料，約 6% 的資料量數值大小超過 95% 發生機率，被判定為異常值移除後再次進行資料補遺，第二次補遺資料與第一次補遺資料繪製如圖 6 所示，可以看出在資料數值過低的資料被大幅地修正，同時部分梯度變化過大小也被修正的更為合理，兩次修正後，水位歷線依然保持每天上下震盪變化的特性，但異常的

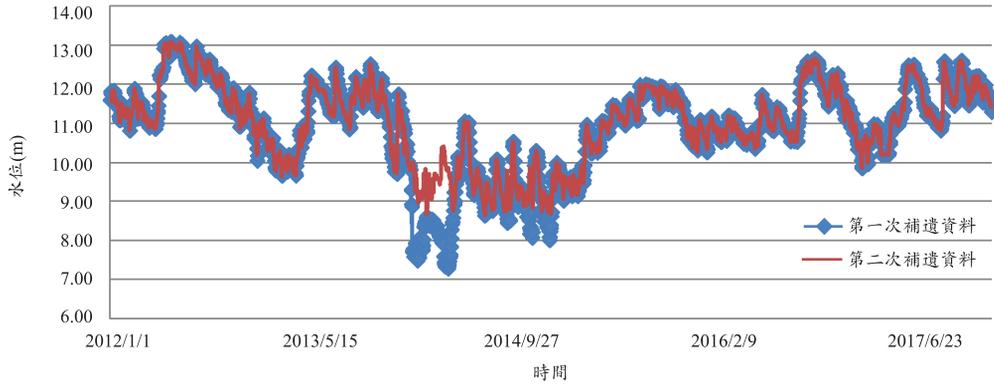


圖 6 湯圍二水位第一次補遺資料及第二次補遺後資料

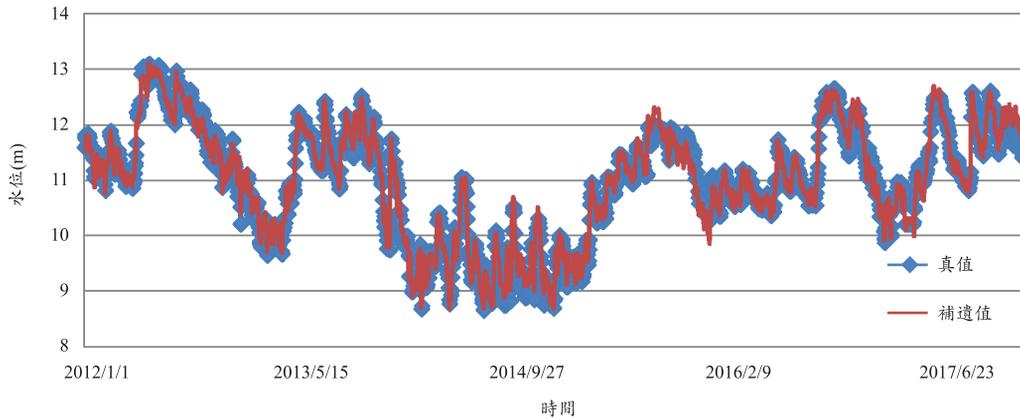


圖 7 湯圍二測站全缺測情境補遺結果正確性檢核

部分已被合理的修正了。經過兩次的補遺後，水位平均值差異已小於 0.1m，監測資料補遺及除錯流程完成，得到完整的連續的水位資料。

本研究進一步檢核補遺結果的正確性，假設上述補遺完成所得之 13 個監測站之水位資料為真值，移除湯圍二之水位監測(即假設湯圍二測站缺測)，其水位必需以其餘 12 站之水位資料進行補遺，利用所提之補遺及除錯方法得到補遺成果如圖 7 所示，可以看出補遺值很接近真值，補遺成果確實可以描述湯圍二之水位歷線變化，無論是長時間的趨勢或者短時間的震盪都可以合理描述。

將真值與補遺值之殘差繪製如圖 8 所示，可

以看出殘差多侷限在正負 0.1m 的範圍內，計算殘差平均值為 0.00，標準偏差為 0.12，顯示本方法之所得之補遺資料與實際監測值很接近，並且是一個線性不偏估的方法，補遺結果正確可信。

利用同樣的補遺方法，對湯圍二之水溫資料進行補遺，其成果如圖 9 所示，同樣地補遺成果在掌握了水溫的每日變化特性外，對於異常值亦作了合理的修正。其中，部分時段水溫有突升的現象，可能是於強降雨期間溫泉水湧甚至自湧而造成，但變化量仍在合理範圍內。水位與水溫補遺成果皆可合理描述礁溪地區之水位與水溫變化，顯示本方法的適用性。

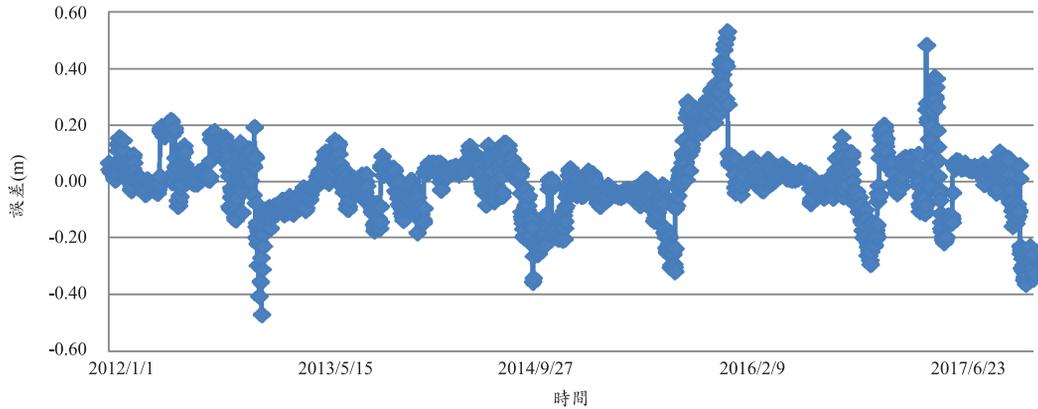


圖 8 補遺殘差圖

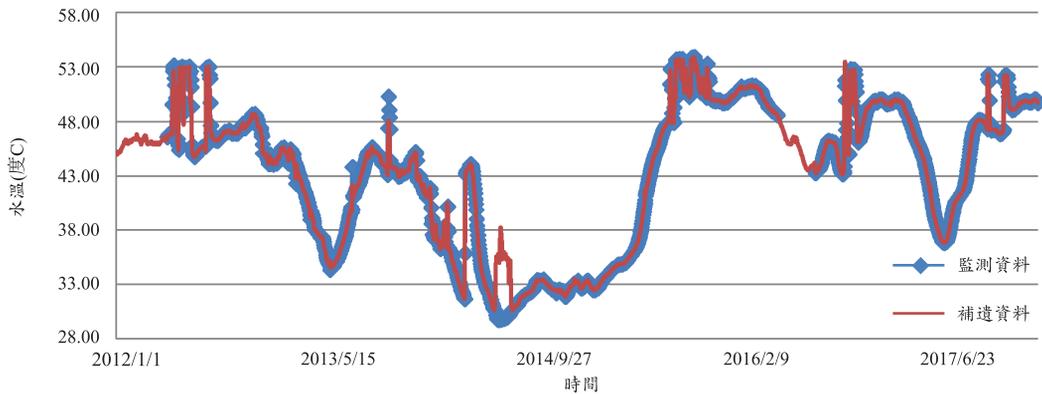


圖 9 湯園二水溫原始監測資料及最終補遺完成資料

五、補遺資料應用

資料補遺的重點除了獲得可信的資料外，更重要的是這些補遺資料可以應用於後續的分析，解決資料不連續造成分析結果錯誤或無法解釋等問題，故本研究將礁溪溫泉區之水位監測資料補遺成果，應用於礁溪溫泉區抽水型態的辨識。抽水型態即為一天 24 小時內的水位變化特性曲線(Liu 等人, 2015)，觀察這樣的曲線變化可以明確的知道該溫泉區(或地下水區)之水資源取用情形，分析方法採用獨立成份分析法，分析模組採用 Visual Signal(AnCAD Inc., 2017)模式之訊號分

析模組進行分析，分析過程分別將原始未補遺的監測資料，以及本研究補遺完成之水位資料輸入模式中進行抽水型態分析，分析資料採用溫泉中心區域之 R001 湯園一、R002 湯園二、R003 太子等三口觀測井 2012~2017 年之水位資料。

由監測資料分析所得之抽水型態繪製如圖 10，辨識所得之抽水型態 CH1 其一天內水位於凌晨 2:00 開始下降，持續穩定的下降至晚上 18:00 才開始回升，這是一個長時間穩定抽用溫泉的抽水行為，但在現地訪查時並無發現這樣的抽水行為。而抽水型態 CH2 則是造成水位於凌晨 5:00 開始下降至早上 9:00，之後即持平，到下

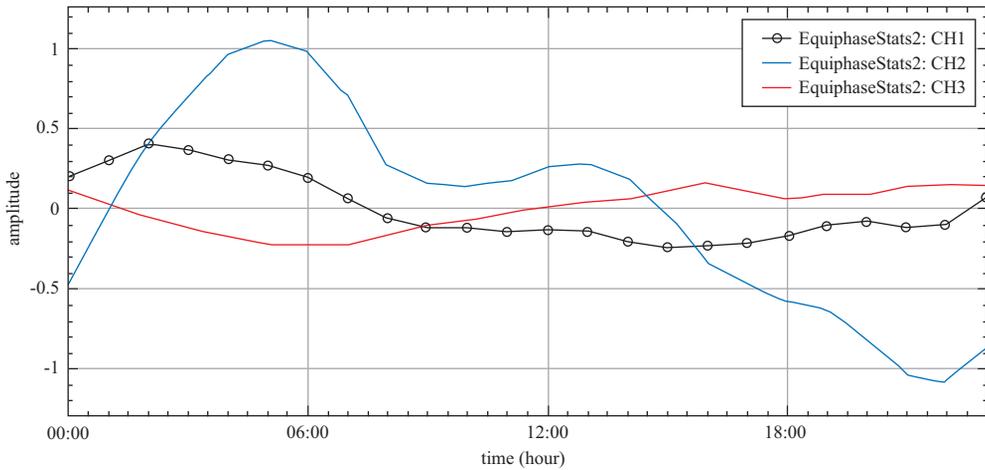


圖 10 以監測資料分析所得之礁溪溫泉抽水型態

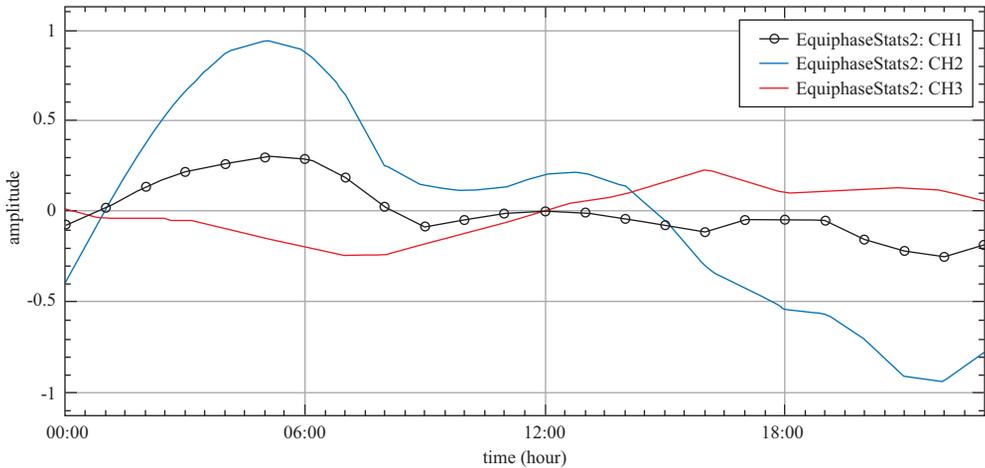


圖 11 以補遺完成資料分析所得之礁溪溫泉抽水型態

午 13:00 才又開始下降至晚上 22:00，其餘深夜時段則是穩定回升，這個抽水型態很明顯的是人為取用溫泉的行為，描述了上班前的用水以及下午開始至晚上的觀光溫泉泡湯、住宿及民眾家庭用水，這樣的抽水型態也符合了現場實際訪查及業者問卷調查的成果。抽水型態 CH3 則顯示用水發生在晚上 22:00 後至早上 7:00 前，是一個夜間的用水，於現地訪查時亦無發現這樣的抽水行為。

而以補遺完成資料分析所得之抽水型態繪製如圖 11，可以發現辨識所得之抽水型態 CH1

與利用原始監測資料分析所得有明顯的不同，其一天內水位於早上 6:00 至 9:00 下降，之後持平，下午 18:00 才又開始下降至晚上 22:00，其餘夜間時段水位則穩定回升，這樣的抽水型態符合了上班前以及下班後的人為用水，與抽水型態 CH2 相似，但時間點略有不同。這樣的結果顯示了資料補遺確實發揮了作用，因為完整的描述了整體礁溪水位的時空分布，所以應用資料分析所得的成果更貼近了真實的用水行為，清楚地描述了實際用水的時間及水位變化，同時也表示了如果直接

使用監測資料，而沒有適當的補遺，那分析所得結果可能失真。

另外要注意的是辨識所得的抽水型態 CH3，用水發生在晚上 22:00 後至早上 7:00 前，無論是以原始監測資料或補遺完成資料進行辨識，都獲得同樣的成果，顯示了一個夜間用水的行為，但從文獻研究、現地訪查、業者問卷等皆未有對於此夜間用水的描述，這一點有待釐清。

六、結論與建議

台灣溫泉監測井網從 2007 年推展至今，以於礁溪、四重溪、北投、烏來、瑞穗、谷關、關子嶺、寶來等溫泉區建置溫泉監測井，穩定監測水位與水溫。本研究綜整歷年溫泉監測成果，彙整監測資料會產生缺漏或異常之原因，以及對應之初步排除或避免方法，可以在監測端就先確保資料的完整與正確，真的缺漏少部分資料才需要以合理的方法進行補遺。

文獻回顧結果發現，資料補遺主要採用三種方法：1. 線性內插、2. 迴歸方程、3. 類神經網路。本研究提出利用迴歸方程結合統計分析的方式進行監測資料補遺與除錯，利用連續的監測資料進行多元迴歸補遺，可以合理描述不同監測井間的時空關係，同時加入除錯的程序，利用統計值的分析，剔除超過 95% 發生機率的資料，讓補遺成果更為正確。所提之演算流程已經利用 MATLAB 撰寫成自動化程式，可以自動補遺及除錯，無論是簡單算例或者是礁溪溫泉區水位水溫監測資料補遺成果，皆得到了合理且連續的補遺資料。

本研究取礁溪溫泉區 2012~2017 年的水位水溫資料進行補遺，完整的資料量共計有 683,904 筆小時水位資料，但有 129,490 筆資料缺漏，約 19% 的缺漏量，經過兩次多元迴歸補遺及一次異常值除錯後，得到完整連續的補遺資料，結果顯示本研究所提出之補遺方法，確實可針對缺漏的資料進行合理補遺，不僅僅在趨勢上符合枯水期水位下降、豐水期水位上升的趨勢，同時在每天的水位變化上，也呈現了上下擾動的情形，更為吻合實際情形。

本研究進一步將補遺資料應用在礁溪溫泉區抽水型態的辨識，發現辨識所得之抽水型態 CH1 與利用原始監測資料分析所得有明顯的不同，其一天內水位於早上 6:00 至 9:00 下降，之後持平，至下午 18:00 才又開始下降至晚上 22:00，其餘夜間時段水位則穩定回升，這樣的抽水型態符合了上班前及下班後的人為用水，因為完整的描述了整體礁溪水位的時空分布，所以應用資料分析所得的成果更貼近了真實的用水行為，清楚地描述了實際用水的時間及水位變化，同時也表示了如果直接使用監測資料，而沒有適當的補遺，那分析所得結果可能失真。

透過本研究的成果，顯示了利用多元迴歸結合統計分析的方法，確實可以合理且正確的補遺監測資料，不僅符合長時間的整體趨勢，也包含了短時間的局部變化，符合實際的水位及水溫時空變化情形，建議可將此方法應用至其他溫泉、地下水、水文氣象等各式監測資料的補遺上，測試補遺方法及成果的好壞，增加其適用性，並且，要將補遺所得資料做進一步的應用或分析，才能真正了解補遺的正確性與重要性。

參考文獻

1. Coppola, E., Szidarovszky, F., Poulton, M., Charles, E., "Artificial neural network approach for predicting transient water levels in a multilayered groundwater system under variable state, pumping, and climate conditions," *Journal of Hydrologic Engineering*, **8**(6), 348-360, 2003.
2. 經濟部水利署，地震與地下水文異常變化分析研究，2006。
3. 交通部中央氣象局，發展除去非構造因子影響水位變化效應的技術，2007。
4. 經濟部中央地質調查所，地下水水文地質與補注模式研究-補注區劃設與資源量評估 (1/4)，2013。
5. Gusyev, M., Haitjema, H., Carlson, C., Gonzalez, M., "Use of Nested Flow Models and Interpolation Techniques for Science-Based Management of the Sheyenne National

- Grassland, North Dakota, USA,” *Ground water*, **51**(3), 414-420, 2013.
6. 康麗惠，利用灰色理論進行礁溪溫泉區溫泉水位資料補遺之研究，嘉南藥理大學觀光事業管理系碩士論文，2014。
 7. Chattopadhyay, P., Rangarajan, R, “Application of ANN in sketching spatial nonlinearity of unconfined aquifer in agricultural basin,” *Agricultural Water Management*, **133**, 81-91, 2014.
 8. 黃俊霖，建置智慧型地下水位推估模式-以濁水溪水系為案例，國立臺灣大學生物環境系統工程學系碩士論文，2014。
 9. 經濟部水利署，建置高屏溪地下水位查詢展示與預測模式(1/2)，2015。
 10. 陳清田、陳儒賢、黃建演、黃上竹，類神經網路結合半變異圖模式於地下水水位預測之研究，*農業工程學報*，第 61 卷第 1 期，第 14-28 頁，2015。
 11. Liu, H.-J., Hsu, N.S., Yeh, W.W-G., “Independent Component Analysis for Characterization and Quantification of Regional Groundwater Pumping,” *Journal of Hydrology*, 527, 505-516, 2015.
 12. 李躍斌，應用短時距傅立葉轉換於地下水位資料補遺，國立交通大學土木工程所碩士論文，2016。
 13. 經濟部水利署，中華民國 105 年台灣水文年報，2017。
 14. 經濟部水利署，中華民國一百零五年臺灣溫泉監測年報，2017。
 15. AnCAD Inc., **Visual Signal**, http://www.ancad.com.tw/pro_visual_signal_01.htm，2017.

收稿日期：民國 107 年 11 月 02 日
修正日期：民國 107 年 11 月 21 日
接受日期：民國 107 年 11 月 27 日