



國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

結合 K-means 法與類神經網路建立用電量推估抽水量模式

-以濁水溪沖積扇為例

Application of K-means and Artificial Neural Network to Develop
a Model for Groundwater Pumpage Estimation Using Electricity
Records - A Case Study of Chou-Shui River Alluvial Fan

陳子裕

Tzu-Yu Chen

指導教授：徐年盛博士

Advisor: Prof. Nien-Sheng Hsu, Ph.D.

中華民國 106 年 7 月

July, 2017

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

結合 K-means 法與類神經網路建立用電量推估抽水量模式
-以濁水溪沖積扇為例

Application of K-means and Artificial Neural Network to Develop a Model for
Groundwater Pumpage Estimation Using Electricity Records -
A Case Study of Chou-Shui River Alluvial Fan

本論文係陳子裕君（學號 R01521302）在國立臺灣大學土木工程學系碩士班所完成之碩士學位論文，於民國 106 年 7 月 24 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

徐年盛

（指導教授）

王如意

江崇榮

王逸民

劉宏仁

謝尚賢

徐年盛

王如意

江崇榮

王逸民

劉宏仁

謝尚賢

系主任

（簽名）

誌謝

本篇論文得以順利完成，首先要感謝指導教授徐年盛老師，對於學生在學術邏輯、論文寫作及待人處事方面的細心指導，都令學生受益良多，即使學生人在花蓮工作，老師也非常有耐心的時時叮嚀、督促學生儘速完成學業，對於研究資源與研究環境都為學生設想的面面俱到，在讀碩士班期間能跟隨徐老師學習，我真的感到萬分幸運。此外，口試期間也承蒙王如意教授、江崇榮所長、王逸民博士及劉宏仁博士於百忙之中撥冗審閱並蒞臨指導，給予許多專業意見，致本篇論文能夠更加地完備周詳，學生永遠感恩於心。

研究過程中，難免遭遇許多困難、撞牆期，因學生需兼顧學術研究與工作，時間的調配成為重要的課題，特別感謝建霖學長及宏仁學長，不厭其煩地協助學生解決問題並傾囊相授，且激發學生的潛能及靈感，甚至常常需要犧牲學長的假日時間，為學生解決程式上、資料取得及處理上的問題。謝謝富建學弟在程式撰寫及用電量推估法的協助及經驗的傳承，還常常需要在假日或下班時間細心的解答我的疑問，如果沒有學弟的幫助，我不可能順利地完成這本論文。另外，感謝旻希、為翔、哲廷、晨堃以及水利組的同學及學弟妹們，給予課業上的協助及互相激勵，並再次感謝富建學弟及旻希給予論文上的經驗傳承。

特別感謝秀雯，讓我北上與老師及學長討論時能有個棲身之所，還常常不辭辛勞地到火車站接送；感謝宜螢學妹在上班之餘，犧牲了好幾個週末的時間，撥空幫我潤飾英文摘要，並且補充用字和文法上之不足；也感謝凱暉在我剛開始就讀碩士班時，給予我工作上以及作業上相當多的諮詢及幫助，讓我能夠更快地跟上同學們的腳步；謝謝宋教練讓我在上班及寫論文之餘不忘保持運動的習慣，儲備我與論文長期抗戰的體力。

也謝謝陳分局長、王課長、林處長、梁專委、方科長、邱正工、玉梅姐，除了在工作上給予指導之外，也會不時地提醒我還有碩士班的學業要完成，也給了我這個機會，能夠順利修畢學分，並且督促我完成這篇論文。

最後，由衷的感謝我的父母的支持與鼓勵，做我最強力的後盾，讓我無後顧之憂的克服種種挑戰。

摘要

本研究之目的為建立單口井之抽水量推估方法，空間上可細緻地推估每一口井之抽水量，並可加總評估任一區域內的總抽水量，該模式主要採用抽水馬達用電量推估法結合 K-means 聚類法與類神經網路方法，作為模式架構來推估單口井之抽水量，並將其抽水量推估結果與水平衡分析法所推估之抽水量結果進行分析比較。

本研究之單口井抽水量推估方法考量到不同抽水井的特性不同，應先針對不同抽水效率($\frac{\text{抽水量}}{\text{用電量}}$)的水井進行特性分類，再分別建立各分類水井的抽水量推估模式進行抽水量估算應較為合理，然而抽水效率計算公式中的抽水量即為本研究模式所要推估的未知數，因此本研究將先建立以類神經網路方法為基礎的抽水特性分類模式，以得到抽水井的水井特性分類，再以各分類的非線性抽水量推估模式進行抽水量的計算，此為本研究用電量推估法的完整流程。

於抽水量推估模式的部分，本研究先以 K-means 聚類法針對濁水溪沖積扇 2012 及 2014 年有用電量與抽水量資料的試驗水井先進行抽水效率的分類，一共分為四類，並針對此四種分類的抽水井資料分別進行抽水量推估模式的參數檢定，本研究所用參數檢定之優選模式為一非線性規劃(Non-Linear Programing, NLP)模式，乃採用 Lingo11 套裝軟體進行參數求解，以得到分類之非線性抽水量推估模式參數，此外本研究亦推求不分類的抽水量推估模式參數，並以此兩種抽水量推估模式進行試驗水井的抽水量推估，比較其抽水量推估結果與實測值的差異，結果顯示先經過分類的抽水量推估模式較為準確。

於類神經分類模式部份，本研究以倒傳遞類神經網路方法(BPNN)、即時回饋學習演算法(RTRL)及調適性網路模糊推論系統(ANFIS)等三種方法，將馬達馬力(P)、出水管徑(D)、抽水揚程(L)當作模式輸入項，以分類類別作為輸出項，並以 K-means 聚類法之分類結果作為類神經網路模式輸出項的目標值，分別建立三種抽水特性分類模式，並以相關係數(Correlation Coefficient, CC)、效率係數(Coefficient of Efficiency, CE)以及均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)等三項評比指標來比較此三個模式的分類結果準確度，結果顯示 BPNN 結果最佳，RTRL 次之，ANFIS 較差。此外本研究也將此三種模式之分類結果帶入分類非線性推估模式進

行試驗水井之抽水量計算，並與不分類抽水量推估模式所推估之抽水量結果進行比較，結果顯示藉由此三種類神經分類模式所分類之結果計算出來的抽水量皆較不分類抽水量推估模式之抽水量推估結果好。

本研究將所建立之類神經分類法及分類之非線性抽水量推估模式應用在濁水溪沖積扇，其應用結果發現以用電量推估法及水平衡分析法所求得之灌溉抽水量相近，因此本研究之推估結果應屬合理範圍。推估結果可得知芳苑鄉及二林鎮在枯水期之灌溉用水抽水量較高，且在每年 2~4 月之灌溉用水之抽水量更大，地下水管理上應特別注意 2~4 月有無密集抽水之情形並加強監控是否有超抽之情形。

本研究所建立之用電量推估法特別適用在臺灣的農業用水井管理，本分法之優點為可細緻地推求單口井之抽水量，再加總推估各空間尺度下之抽水量，可估算單口井、一村里、一鄉鎮或一縣，在抽水量管理方面可以更加精準，且僅需各抽水井之月用電量、馬達馬力(P)、出水管徑(D)、抽水揚程(L)，便可有效率地推求各水井之抽水量，惟本方法尚仍有時間尺度上的限制，因用電量資料每月僅有一筆，故目前僅推求月抽水量，未來建議可以在時間尺度上細化(月、旬、週、日、小時)。

關鍵字：濁水溪沖積扇、K-means 聚類法、倒傳遞類神經網路、即時回饋學習演算法、調適性網路模糊推論系統、用電量推估

ABSTRACT

This study is to establish a method to estimate the single-well pumpage. This method can estimate the pumpage of every well accurately and the total pumpage in arbitrary region. The model adopts pumping motor electricity record Estimation, K-means clustering, and Artificial Neural Network to be the architecture of model and then compare and discuss the results with groundwater hydrograph analysis.

Single-well Pumpage Estimation considers the characteristics of different pumping wells. As a result, this study should classify the wells according to pumping efficiency ($\frac{\text{Pumping capacity}}{\text{Electricity consumption}}$) firstly, and then establish the pumpage-estimation models of every classified well. However, the pumpage of pumping efficiency formula is unknown, therefore this study adopts Artificial Neural Network as foundation to establish pumping character-classified model firstly to get the well characteristics of pumping wells. Then, this study calculates the pumpage by the classified Non-linear Pumpage-estimated model. This is the whole process of the estimation using Electricity Records.

In the part of pumpage-estimation models, this study utilizes the testing-well data of electricity consumption and pumpage in Chou-Shui River alluvial fan (from 2012 to 2014) to classify the pumping efficiency by K-means clustering into four categories, and conduct the parameter test of pumpage-estimation model by the data of these four classified pumping wells. This study applies parameter verification optimization model that is a Non-Linear Programming model and adopts a package software -Lingo11 to get the answer and classify Non-Linear Estimated model. In addition, this study also derives the model parameter of non-classified Pumpage Estimation, and utilizes the two models to evaluate the pumpage and compare the results. The results show that the classified pumpage-estimation model is more accurate.

In the part of Artificial Neural Network, this study adopts Back Propagation Neural Network, Real-Time Recurrent Learning and Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System. Then let motor horsepower, diameter of pipe and pumping head as input item and classified categories as output item. In addition, this study uses the result of K-means clustering as the output value of Artificial Neural Network model to establish three classified models of pumping character. Then, compare the results with non-classified model by Correlation Coefficient, Coefficient of Efficiency, and Root Mean Square Error. And also uses the results of these three models to calculate the

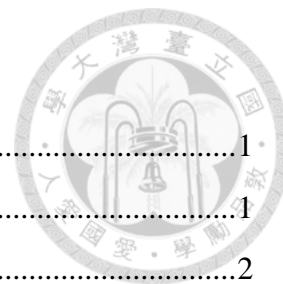
pumpage of testing well. Then compare the results with the non-classified pumpage estimation model. The results show that the pumpage estimated by the three Artificial Neural Network methods are better than non-classified pumpage–estimation model.

This study applies Artificial Neural Network and classified Non-Linear pumpage Estimated models to Chou-Shui River alluvial fan and finds that the results estimated by electricity records is similar to groundwater hydrograph analysis. It means that the estimated results of this study are in reasonable range. According to the results, the pumpage in Fangyuan Township and Erlin Township during dry season is higher, especially from February to April. As a result, it is important to monitor the over-pumping condition from February to April.

The method estimated by the electricity records is especially suitable to management of agricultural wells in Taiwan. The advantages of the method are that it can estimate the pumpage of single-well accurately and sum the total pumpage in different spaces. In other words, it can estimate the pumpage of single-well, a village, a township, and town and more accurate in pumping management. Besides, it can evaluate the pumpage of the well efficiently, and only need the pumpage every month, motor horsepower, diameter of pipe and pumping head of the pumping well. However, this method still have limit in time scale, because the datas of electricity consumption only have one record every month. As a result, this study only evaluates the pumpage monthly. In the future studys, it can refine the time scale to get more accurate results.

Keywords:Chou-Shui River alluvial fan, K-means clustering, Back Propagation Neural Network, Real-Time Recurrent Learning, Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System, Electricity Record Estimation.

目錄



| | |
|---------------------------------|------------|
| 口試委員會審定書 | 1 |
| 誌謝 | 1 |
| 摘要 | 2 |
| ABSTRACT | 4 |
| 第一章 緒論 | 10 |
| 1.1 研究緣起 | 10 |
| 1.2 研究目的 | 11 |
| 1.3 研究流程 | 11 |
| 第二章 文獻回顧 | 14 |
| 2.1 地下水抽水量方法 | 14 |
| 2.2 類神經網路方法 | 18 |
| 2.3 k-means 聚類法 | 19 |
| 第三章 方法建立 | 22 |
| 3.1 用電量推估模式建立 | 24 |
| 3.2 水平衡分析法建立 | 31 |
| 第四章 方法應用 | 37 |
| 4.1 研究區域概述 | 37 |
| 4.2 含水層概念分層與邊界辨識 | 41 |
| 4.3 濁水溪沖積扇範圍內之抽水井資料分析 | 45 |
| 4.4 用電量推估模式應用 | 53 |
| 4.5 水平衡分析法應用 | 88 |
| 4.6 濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量推估結果比較 | 97 |
| 4.7 濁水溪沖積扇範圍內非灌溉抽水量推估結果比較 | 99 |
| 第五章 結論與建議 | 100 |
| 5.1 結論 | 100 |
| 5.2 建議 | 102 |
| 參考文獻 | 103 |
| 附錄一三種不同之類神經網路方法估算之灌溉抽水量 | 107 |
| 附錄二-各標的月平均抽水量(各鄉鎮) | 112 |

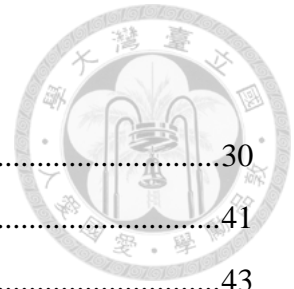
圖目錄



| | |
|---|----|
| 圖 1-1 研究流程..... | 13 |
| 圖 2-1 K-means 聚類法示意圖 | 20 |
| 圖 3-1 用電量推估濁水溪沖積扇範圍內抽水量方法流程圖 | 23 |
| 圖 3-2 非大馬力水井之用電量推估抽水量流程圖 | 25 |
| 圖 3-3 抽水井與鄰近觀測井之相對位置示意圖 | 26 |
| 圖 3-4 抽水洩降示意圖 | 26 |
| 圖 3-5 利用三種不同類神經網路之抽水特性分類模式架構圖 | 29 |
| 圖 4-36 水平衡分析法流程圖 | 31 |
| 圖 4-37 濁水溪沖積扇範圍圖 | 32 |
| 圖 4-38 地下水蓄水量計算示意圖 | 33 |
| 圖 4-39 非灌溉抽水率與灌溉抽水率估計示意圖 | 34 |
| 圖 4-1 濁水溪沖積扇範圍圖 | 38 |
| 圖 4-2 濁水溪沖積扇扇頂、扇央與扇尾分區 | 39 |
| 圖 4-13 灌溉水井位置分布 | 47 |
| 圖 4-14 工業用水井位置分布 | 48 |
| 圖 4-15 民生水井位置分布 | 49 |
| 圖 4-16 養殖水井位置分布 | 50 |
| 圖 4-17 畜牧水井位置分布 | 51 |
| 圖 4-18 其他水井位置分布 | 52 |
| 圖 4-3 用電量推估模式應用流程圖 | 53 |
| 圖 4-4 2012 年及 2014 年試驗井抽水量與用電量分布圖(k=3 時)..... | 55 |
| 圖 4-5 2012 年及 2014 年試驗井抽水量與用電量分布圖(k=4 時)..... | 56 |
| 圖 4-6 2012 年及 2014 年試驗井抽水量與用電量分布圖(k=5 時)..... | 57 |
| 圖 4-7 不分類與分 3 類模式估計抽水量結果與實測抽水量比較圖 | 60 |
| 圖 4-8 分 4 類與分 5 類模式估計抽水量結果與實測抽水量比較圖 | 60 |
| 圖 4-9 不分類模式之驗證結果 | 62 |
| 圖 4-10 倒傳遞類神經(BPNN)抽水特性分類模式之驗證結果 | 62 |
| 圖 4-11 即時回饋學習演算法(RTRL)抽水特性分類模式之驗證結果 | 63 |

| | |
|--|----|
| 圖 4-12 調適性網路模糊推論系統(ANFIS)抽水特性分類模式之驗證結果..... | 63 |
| 圖 4-19 101 年度各標的水井抽水量..... | 71 |
| 圖 4-20 102 年度各標的水井抽水量..... | 71 |
| 圖 4-21 103 年度各標的水井抽水量..... | 72 |
| 圖 4-22 104 年度各標的水井抽水量..... | 72 |
| 圖 4-23 105 年度各標的水井抽水量..... | 73 |
| 圖 4-24 灌溉水井 1 月~6 月平均抽水量..... | 76 |
| 圖 4-25 灌溉水井 7 月~12 月平均抽水量..... | 77 |
| 圖 4-26 工業水井 1 月~6 月平均抽水量..... | 78 |
| 圖 4-27 工業水井 7 月~12 月平均抽水量..... | 79 |
| 圖 4-28 民生水井 1 月~6 月平均抽水量..... | 80 |
| 圖 4-29 民生水井 7 月~12 月平均抽水量..... | 81 |
| 圖 4-30 養殖水井 1 月~6 月平均抽水量..... | 82 |
| 圖 4-31 養殖水井 7 月~12 月平均抽水量..... | 83 |
| 圖 4-32 畜牧水井 1 月~6 月平均抽水量..... | 84 |
| 圖 4-33 畜牧水井 7 月~12 月平均抽水量..... | 85 |
| 圖 4-34 其他水井 1 月~6 月平均抽水量..... | 86 |
| 圖 4-35 其他水井 7 月~12 月平均抽水量..... | 87 |
| 圖 4-40 濁水溪沖積扇含水層一、二之 Vonoroi Diagram 分區..... | 88 |
| 圖 4-41 濁水溪沖積扇含水層三、四之 Vonoroi Diagram 分區..... | 89 |
| 圖 4-42 濁水溪沖積扇 2012~2014 年地下水蓄水量歷線..... | 91 |

表目錄



| | |
|--|----|
| 表 3-1 大馬力抽水機流量及電能消耗量 | 30 |
| 表 4-1 濁水溪沖積扇各類水體之氧同位素 | 41 |
| 表 4-2 濁水溪沖積扇概念性分層之各觀測井高程資料 | 43 |
| 表 3-2 濁水溪沖積扇範圍內之水井口數分析結果 | 46 |
| 表 4-3 2012 年及 2014 年試驗水井之月抽水效率分類結果(k=3 時) | 55 |
| 表 4-4 2012 年及 2014 年試驗水井之月抽水效率分類結果(k=4 時) | 56 |
| 表 4-5 2012 年及 2014 年試驗水井之月抽水效率分類結果(k=5 時) | 57 |
| 表 4-6 非線性推估模式之參數檢定結果(k=3 時) | 58 |
| 表 4-7 非線性推估模式之參數檢定結果(k=4 時) | 58 |
| 表 4-8 非線性推估模式之參數檢定結果(k=5 時) | 59 |
| 表 4-9 不分類與分類之推估模式評比結果 | 61 |
| 表 4-10 分類與不分類月抽水量推估模式驗證之評比結果 | 64 |
| 表 4-11 倒傳遞類神經(BPNN)分類模式訓練與驗證之分類結果正確性 | 65 |
| 表 4-12 即時回饋學習演算法(RTRL)分類模式訓練與驗證之分類結果正確性 | 65 |
| 表 4-13 調適性網路模糊推論系統(ANFIS)分類模式訓練與驗證之分類結果正確性 | 65 |
| 表 4-14 濁水溪沖積扇範圍內 2012 年~2016 年 4 月以三種類神經方法分類模式之灌溉抽水量推估結果 | 66 |
| 表 4-16 各標的用水年度抽水量 | 68 |
| 表 4-17 2012 年~2016 年 4 月各標的用水每月抽水量 | 68 |
| 表 4-18 濁水溪沖積扇地下水位觀測井分層辨識與比出水量或儲水係數 | 89 |
| 表 4-19 濁水溪沖積扇 2012~2014 年地下水抽水量估計結果 | 92 |
| 表 4-20 濁水溪沖積扇地下水系統流入量估計結果 | 94 |
| 表 4-21 濁水溪沖積扇地下水平衡分析結果 | 94 |
| 表 4-22 非灌溉與各期作灌溉抽水斜率 | 94 |
| 表 4-23 水平衡分析法所之估算濁水溪沖積扇範圍內抽水量 | 96 |
| 表 4-24 濁水溪沖積扇抽水量估算相關研究結果 | 96 |
| 表 4-25 本研究所推估之濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量結果比較 | 98 |
| 表 4-26 本研究所推估之濁水溪沖積扇範圍內非灌溉抽水量結果比較 | 99 |

第一章 緒論



本研究之緒論分為研究緣起、研究目的以及研究流程等三部分分述如下。

1.1 研究緣起

台灣位於東亞沿岸亞洲大陸與太平洋的交界處，全年皆受到季風效應的影響，加上每年平均有 3 至 4 個颱風侵襲台灣，因此降雨量十分豐沛；然而因為台灣地勢陡峭與山脈阻隔之因素，降雨之時間與空間分布不平均，地面水資源攔蓄不易，因此可供使用之水資源有限，再加上台灣人口稠密與經濟發展快速，用水需求大增，地面水資源無法滿足全部用水需求，地下水便成為另一個相當重要的水資源來源，且因地下水源具有穩定、乾淨以及便利等特性，民眾與政府鑿井取用地下水之情形相當普遍。然而長年來因為地下水資源缺乏適當的管理，許多區域逐漸出現地下水超抽之情形，導致地下水位大幅下降而引發地層下陷、海水入侵等災害，對於環境、經濟以及民生安全皆造成相當大的影響。

濁水溪沖積扇係為中台灣農業發展的重要區域，隨著工業的迅速發展以及人口的增長，工業以及民生的用水需求也大量增加，濁水溪沖積扇之地面水源無法滿足用水需求，因此各標的用水皆以抽取地下水來滿足需求。在長時間大用抽取地下水而補注量又無增加之情況下，濁水溪沖積扇在扇央與扇尾部分區域出現地層下陷的情況，嚴重影響到高鐵的行車安全，使得濁水溪沖積扇地下水超抽之情形備受重視。為改善濁水溪沖積扇地層下陷問題，政府積極採取封井以及減抽之措施，並輔導農民轉作需水量較少之高經濟作物，以減少濁水溪沖積扇地下水的抽水量；此外政府也積極尋找替代水源來滿足各標的之用水需求，如規劃中的鳥嘴潭人工湖以及剛完工的湖山水庫。

依據經濟部水利署中華民國 104 年水利統計報告，近十年(2005~2014 年)臺灣每年水資源需求量平均約為 176.685 億噸，其中農業用水約為 127.276 億噸，生活用水約為 33.384 億噸，生活用水約為 16.022 億噸；由地下水系統所提供之水資源約有 56.789 億噸，由於地下水資源開發成本較低且取用便利，各標的用水競相開發，造成地下水大量抽取，已超過地下水年平均入滲量(經濟部水利署，2015)。

台灣的降雨特性時空分布不均，且過去缺乏地面蓄水設施，在用水需求日增且供給不足的情況下，各標的用水抽取地下水使用情形極為普遍。由於過度抽取

及缺乏完善管理制度衍生許多問題，其中彰雲地區地層下陷問題漸趨嚴重。

近年來因為全球暖化的影響，台灣的氣候發生劇烈變遷，極端水文事件的發生愈趨頻繁，濁水溪沖積扇不論是在地面還是地下水資源管理變得更加困難，考量到地下水資源之永續發展，針對濁水溪沖積扇地下水超抽之改善與地下水源開發評估愈趨重要，為了評估各種地下水減抽策略之效果以及地下水源開發之影響，率定正確且良好之地下水抽水量方法是不可或缺的，然而地下水系統之不確定因素相當大，因此具系統性且可以準確並快速估算地下水抽水量的方法是需要的。

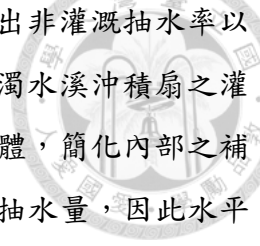
1.2 研究目的

本研究目的為建立單口井之抽水量推估方法，空間上可細緻地推估每一口井之抽水量，並可加總評估一區域性抽水量，分別採用不分類水井及先將水井分類之用電量推估法，以統計之觀點，先將抽水井資料以不同之抽水效率分類後，各組之抽水效率會越接近，其迴歸出之結果會較準確，故本研究先以抽水效率先將抽水井分類後個別進行統計迴歸，得到各組之不同參數，並將先將抽水井分類所估算之抽水量與不分類之結果進行比較，得到一正確且具有代表性之地下水抽水量推估方法，並可推估每一口水井之抽水量，故本研究可細緻地探討各空間尺度下之抽水量，包含單口水井，亦可加總推估一村里、一鄉鎮或一縣之抽水量，將該方法應用於濁水溪沖積扇，其結果以供相關單位作為水資源管理及地層下陷防治決策的參考。

1.3 研究流程

本研究採用電量推估及水平衡分析兩種方法作為模式之架構，並針對用電量推估法部分進行模式修正，依據水井抽水特性將水井分類，及三種不同類神經模式等，建立不同水井類別之分類抽水量推估模式，以提升抽水量推估結果之準確性及合理性，並應用此完成修正之灌溉抽水量評估模式，推算濁水溪沖積扇範圍內 2012 年至 2016 年 4 月之灌溉抽水量變化情形。其抽水量評估方法與主要流程與架構如圖 2-1 所示，以下將分別針對用電量推估法及水平衡分析法進行說明。

1. **用電量推估模式：**本研究建立之用電量推估模式將抽水井分為「非大馬力水井」、「大馬力水井」以及「缺漏資料水井」三大類，分別採用不同之抽水量推估方法推算三類水井之抽水量。由於濁水溪沖積扇範圍內之大部分水井屬「非大馬力水井」類別，因此本研究著重於非大馬力水井推估模式。

- 
2. **水平衡分析法：**水平衡分析法為分析地下水蓄水量歷線，找出非灌溉抽水率以及各期作之灌溉抽水率，各自乘上抽水天數後加總，即可得濁水溪沖積扇之灌溉抽水總量。由於水平衡分析法將濁水溪沖積扇視為一個個體，簡化內部之補注量、損失量等交互作用，以計算出濁水溪沖積扇整體之總抽水量，因此水平衡分析法無法估算單一含水層或是小區域之抽水量，僅能推估濁水溪沖積扇範圍內之抽水總量。

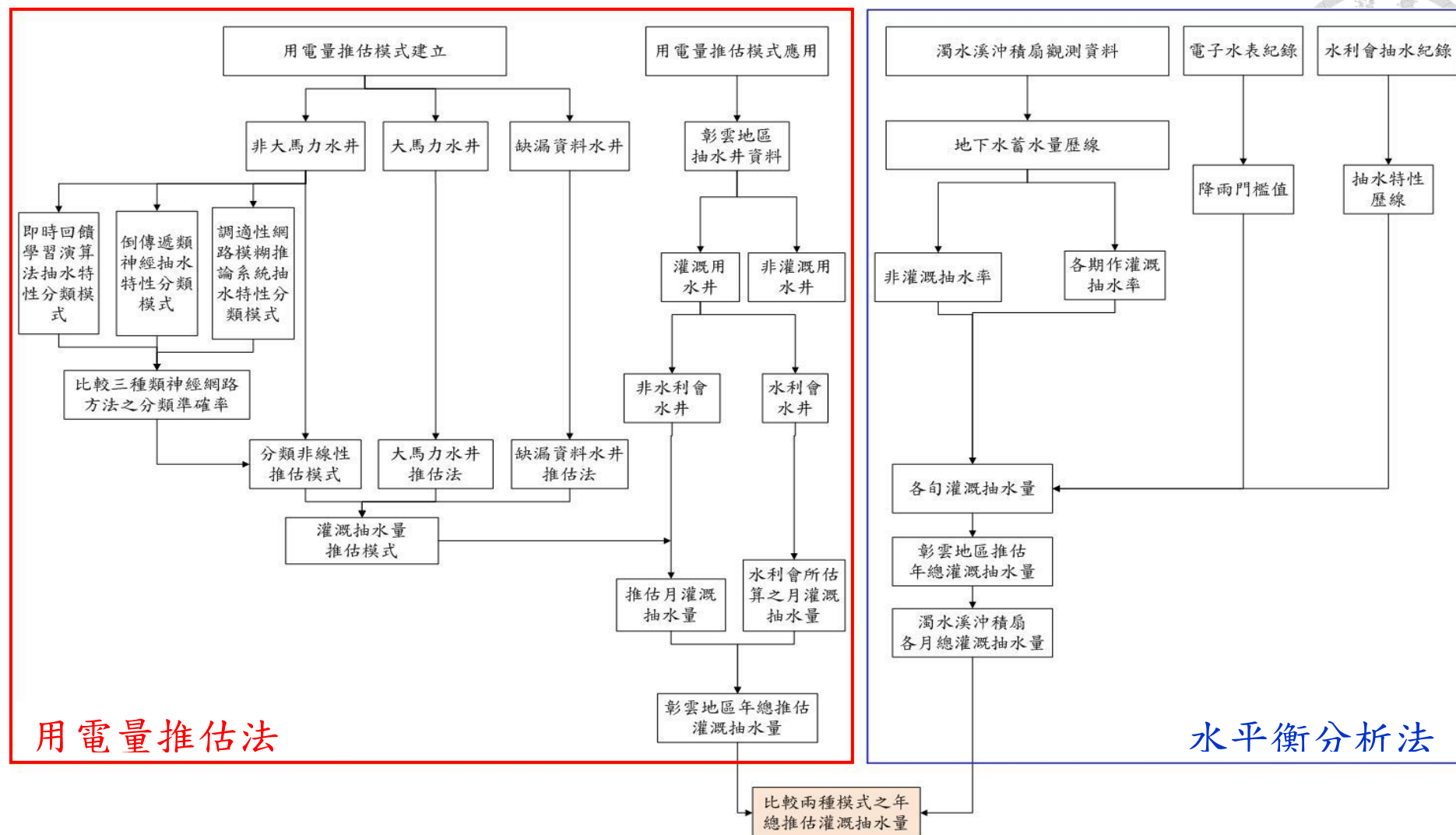


圖 2-1 研究流程

第二章 文獻回顧

本研究為建立區域性地下水抽水量估算之方法，並應用於實際之研究區域以進行方法驗證。過去有不少關於地下水抽水量估算之研究及文獻可供參考，回顧以往的地下水抽水量及類神經網路方法與 k-means 聚類法等文獻回顧分述如下。

2.1 地下水抽水量方法

回顧以往的地下水抽水量之估算包括抽水馬達用電量推估法、地下水歷線分析法及模擬推估抽水量等文獻回顧分述如下。

2.1.1 抽水馬達用電量分析法

以不同馬力之抽水馬達，配合不同的抽水管徑，進行水井流量率定試驗，得到馬達用電量與抽水量之關係後，只要進行水井清查以確定抽水馬達馬力及出水管徑，再依其電錶號碼向電力公司申調馬達用電量資料，透過率定所得之關係式即可推估抽水量。率定所得之用電量與抽水量之關係式是可信的，所以評估所得之抽水量準確性取決於水井清查結果是否徹底，越詳實的清查可以得到越正確的抽水量估計。

馮寶蓮(2006)使用用電量分析法推估台南縣後壁鄉、安定鄉及高雄縣大樹鄉、林園鄉之地下水抽水量，以了解產業形態不同的四鄉鎮其各別地下水抽水量及用水特色，做為未來在針對此區域範圍進行進一步地下水研究時的提供有利數據及方法，其年抽水量推結果為台南縣後壁鄉 424.06 萬噸、安定鄉 110.08 萬噸、高雄縣大樹鄉為 395.17 萬噸、林園鄉為 433.88 萬噸。溫志超等人(2008)歷時五年的時間完成彰化縣及雲林縣各鄉鎮全面性之水井清查工作，並利用用電量分析法推估年抽水量，結果顯示彰化縣年抽地下水 6.98 億噸，雲林縣年抽地下水 13.92 億噸，兩者年總抽水量為 20.90 億噸。此外亦針對用電量推估地下水井抽水量進行驗證，確認其可信度，發現以用電量分析進行地下水抽取推估應獲致不錯結果，於增加水井數量情況下，估算誤差約為 4% 至 6%。水井清查需投入大量的人力、物力、經費與時間，但一般地層之所以下陷即是因為該地區有大量的抽水井不斷的大量抽取地下水，以濁水溪沖積扇地下水區為例，其抽水井初步估計超過 18 萬口！如此龐大的水井數量實難以全面性的清查，所以此方法適用於小區域(如地層下陷嚴重區域)的局部性調查；故本研究以抽水馬達用電量分析法結合 k-means 聚類法，

先將不同抽水效率之抽水井分類，再個別推算各分類水井之抽水量，期能獲得較準確之抽水量。

2.1.2 地下水歷線分析法

由地下水觀測井量測所得之地下水位高低起伏變化量，乘上現場抽水試驗所得之蓄水係數或比出水量，再乘上含水層的面積即得到抽水量。此方法的正確性受到觀測站網設置的密度以及抽水試驗的多寡所影響，觀測站網越密集可以掌握地下水的時間與空間變化情形，空間上越多井位的抽水試驗可以得到越正確的水文地質參數分佈，如此可以得到越正確的抽水量評估。

江崇榮等(2006)與徐年盛等(2009)分別利用濁水溪沖積扇全區與分區第一含水層之地下水歷線進行分析，其研究將抽水率分為全年穩定抽水率以及穩定加上水稻灌溉抽水率，由兩種抽水率可估算出全年之穩定抽水量和一、二期稻作之抽水量，接著利用全年穩定抽水率估算全年降雨時期之補注量，流失量則由地下水平衡方程式來反推。

江崇榮等(2005)及徐年盛等(2009)利用地下水流線及氧同位素之組成分布來估算濁水溪沖積扇地下水各補注源之比例；江崇榮等(2005)估算得知扇頂之補注量約佔全區之 56.9%，其中河床滲漏補注約佔總量之 34.0%，降雨入滲補注約佔總量之 22.9%；徐年盛等(2009)研究結果則顯示區內補注佔總量之 60.2%，而區外補注則佔總量之 39.79%。

王韋勳(2012)以地下水歷線法估算名竹盆地地下水系統之補注量與出流量，並利用 MODFLOW 以及河流路徑演算套件(Stream-Flow Routing Package, SFR)，以 1 日為時間間距(Time Step)進行 14 個月的暫態模擬，透過 K 值、SFR 河床垂向水力傳導係數及河床底泥厚度與抽水量空間分布之校正，建置該區地下水流數值模式。

徐年盛等(2012)應用地下水歷線及同位素分析法，配合降雨歷線與歷史灌溉抽水變化，估算濁水溪沖積扇多類灌溉型式下地下水系統多類抽水量與補注量隨時間之分佈，結果顯示濁水溪沖積扇地下水系統從 2004 至 2009 年全區年平均蓄水變化量為 0.84 億噸，年平均抽水量為 22.28 億噸，年平均淨補注量為 23.11 億噸。

林聖婷(2012)以 MODFLOW 建置濁水溪沖積扇水流數值模式，並將補注量分別以河床入滲、降雨入滲與灌溉用水補注三部分模擬。其中，河床入滲量需透過

河床質調查，進行合適的空間分布；降雨入滲主要考量土壤質地的差異，給定不同的雨水補注權重；灌溉用水補注，則須考慮土壤質地及區域內不同作物的耕作制度。而流失量則以農田水利會與自來水公司抽水資料模擬公井抽水，並透過水井清查資料模擬民井抽水。該研究校正 K、S 以及民井抽水量空間分布以率定數值模式，使模式計算水位與觀測水位相符。

Dahan et al. (2004) 考量農業灌溉會造成地下水系統的重大改變，利用混合網格模式(Mixing Cell Model, MCM)配合 MODFLOW，建置內華達州菲恩萊盆地(Fernley Basin)內已有百年大面積灌溉區域的地下水流數值模式，以反應盆地內的化學和物理機制。該研究透過同位素組成來辨識補注源，並以內插方式校正 K 值，配合 MCM 的結果藉以率定 MODFLOW。

Kim et al. (2008) 考量地下水補注率與降雨、蒸發散及地表逕流直接相關，因此結合 MODFLOW 與 SWAT，建立韓國 Musimcheon 地區 2000~2002 年地面及地下水之日模式。該研究利用試誤法優選 K、S 和 Criv，為了確保逕流和補注率誤差不大，MODFLOW 的率定過程也會涉及 SWAT 的參數校正，率定直到模擬流量與觀測流量誤差收斂至 10% 以內即終止。

Sheffer et al. (2010) 結合日補注評估模式(Daily Recharge Assessment Model, DREAM)與有限元素水流模式(Finite Element Modeling of Flow, FEFLOW)評估以色列之西山含水層(Western Mountain Aquifer)之地下水流況。結果顯示，同時考量雨季長度、降雨延時、日降雨量、旱季長度與降雨場數等相關因子，並配合補注率進行線性回歸分析，能提升對地下水系統補注率之時空分布變化的解釋。

2.1.3 數值模式模擬推估法

近年來結合了電腦計算能力的提升與數值模擬模式的開發，抽水量之評估已由早期的靜態水位差異評估抽水量進化為利用地下水流模擬模式直接動態演算每一個時刻區域內地下水位的分佈情形，可以評估抽水量的時間與空間變化情形。

林再興等人(2001)使用美國地質調查所(USGS)所發展的三維地下水流數值模式 MODFLOW 來模擬濁水溪沖積扇，將濁水溪沖積扇由上而下分成 7 層概念化分層，其中包括 4 個含水層及 3 個阻水層，研究範圍以濁水溪流域為主，東起八卦山台地及斗六丘陵，西至台灣海峽，北起烏溪，南至朴子溪，而模擬結果顯示濁

水溪沖積扇年總抽水量約為 15.3 億噸。

利用具有代表性的地下水流模式，模擬在不同的抽水量下觀測井處的水位變化，若模擬之水位變化符合實際水位變化則可初步評估該區域之抽水量多寡。唯此評估所得結果多為某區域的年抽水量或月抽水量，是多個抽水源的抽水量歷線平均後的結果，且無法得知是哪些抽水源過量抽水，仍難以針對過量抽水行為進行管控，所以目前的研究趨勢即為抽水源追蹤。

林郁仲(2006)藉由模擬退火演算法結合美國地質調查所所研發之三維地下水流模擬模式 MODFLOW，做為抽水源鑑定的工具，針對在監測井所量測得的地下水水位，推求地下水抽水源的位置、抽水量、及抽取時間。

謝堽煌等人(2007)運用 MODFLOW 配合河川套件，並結合現地與室內試驗資料，以推估雲林新虎尾溪之河道滲漏量以及河道水位上升後增加的滲漏量。綜合評估結果顯示，河道水位上升 2.5m 後，河道滲漏量增加效益約 10.0%~18.5%。

許昊(2010)採用 MODFLOW 配合水土評估工具(Soil And Water Assessment Tool, SWAT)，推估濁水溪地區 1999~2002 年每月的地下水淨補注量、地面補注量與側流補注量。該研究使用 UCODE 優選模式之修正型高斯-牛頓法(Modified Gauss-Newton Method)配合試誤法檢定淨補注量、河川交換量、側流量及抽水量，藉以率定模式。

李冠緯(2013)利用 MODFLOW 建立 2010 年屏東平原月模式，配合經驗正交函數法(Empirical Orthogonal Function, EOF)的數理特性，找出造成蓄水量變化之影響因子，並利用其權重進行抽補量空間分布。研究結果顯示，EOF 可準確抓到蓄水量變化之趨勢，於水文量淨值的空間分布也能得到較好的分配方式。

陳希軍(2013)以 MODFLOW 模擬臺中盆地地下水流況，並配合地下水平衡分析，估算地下水系統水平衡情形。該研究考量土地利用、土壤特性、雨量、灌溉等因子，利用美國農業部水土保持局(Soil Conservation Service, SCS)之逕流曲線係數(Curve Number, CN)，以反映不同土地利用型態及土壤特性所產生的有效降雨，並進一步評估雨水補注量之空間分布；透過檢視模式輸出水量與水平衡分析水量是否一致，以及模式計算水位是否能在調整 K 值的過程中與觀測水位擬合，藉以校正雨水補注量。研究結果顯示，CN 值可有效量化降雨補注潛勢。

臺中市政府水利局(2014)委託國立臺灣大學以 MODHMS 建置臺中盆地地面地

下水聯合模擬數值模式。該研究假設雨水加上灌溉補注量對於河水的比例須大於雨水與河水的比例，透過調整河床垂向透水係數以擬合觀測水位，並檢視模式計算補注量及出流量是否能滿足水平衡之淨補注量。



2.2 類神經網路方法

目前國內外在類神經網路上已有相當多的研究成果應用於河川流量之預測，亦將許多類型的類神經網路應用在不同的水資源系統上，並陸續有流量預測及水庫操作之方法及理論發表於國內外期刊，其文獻回顧如下。

陳昶憲、楊朝仲、王益文(1996)以倒傳遞類神經網路對烏溪流域之洪流預報做研究，研究已當下時間及過去 2 小時之資料預測未來 1 小時之流量，結果尚佳；陳昶憲等(2001)以倒傳遞與反傳遞類神經網路分別預測烏溪流域未來之流量，最後，比對 BPN 與 CPN 所預測之結果；陳昶憲等(2001)將反傳遞類神經網路搭配自組織映射網路，以較快速且直覺的分類方式預測烏溪流域之出流量，並且配合模糊控制理論，比對 FSOM、FCPN 及 FICN 等三模式對洪水預報之能力；Parlos(2000)利用回饋式類神經網路預測多階段之水位。

近年來，類神經網路都被用來預測特定場址之地下水位，ASCE Task Committee (2000)綜合整理 ANN 在水資源問題的運用，其中應於地下水問題之分類共分為地下水之反向求解問題(Inverse problems)、地下水參數歸類問題、地下水位預測問題與以物理機制模式訓練類神經網路問題。

許多研究都成功預測多層地下水系統之水位長達數個月 (Ioannis et al., 2005; Coppola et al., 2003)。Rao et al. (2004)使用模擬退火法(SA)求解非線性之目標函數，以最佳管理沿岸區域與三角洲地下水資源，將水資源分配到每個需水節點，且將花費最小化與地下水資源蓄水量最大化，該研究訓練類神經網路以取代 SHARP 地下水模擬模式。

Karamouz et al. (2007)利用遺傳演算法(GA)尋找地下水之最佳抽水量，並以類神經網路模擬地下水位震盪，作為非線性地面地下水聯合運用優選模式之限制式，該研究是以 MODFLOW 訓練類神經網路，目標函數則為農業缺水量最小化、井群抽水花費最小化及維持地下水位。

Coppola et al. (2007)從地下水數值模式中產生資料訓練類神經網路，該類神經網路並以 MODFLOW 訓練與驗證，並內嵌至多目標之優選模式，結果可將供水量

與井群脆弱度繪製一妥協曲線(Pareto frontier)。

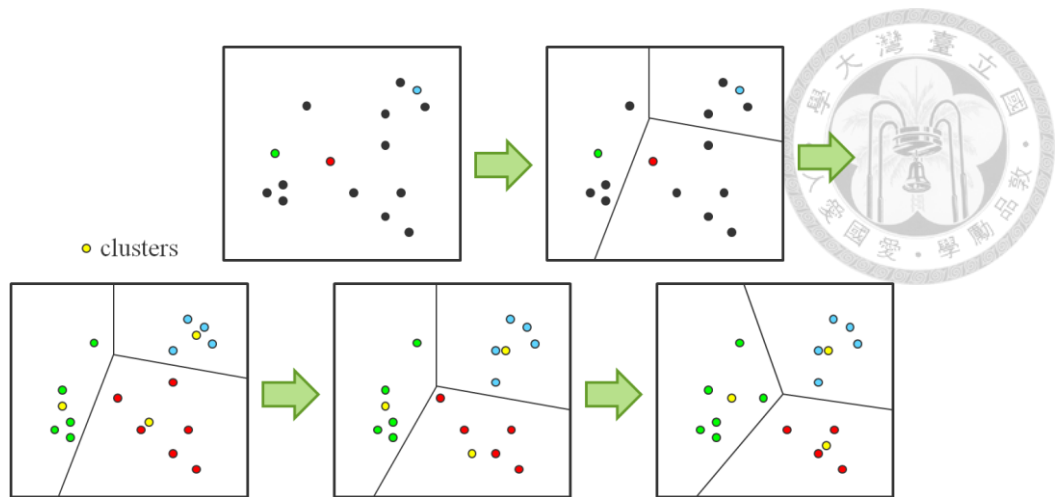
Nikolos et al. (2008)建構一類神經網路與演化運算方法以取代傳統的有限差分法模式，優選目標為找群希臘羅德島井群之最佳操作策略，結果顯示以類神經網路作為約略之估計模式，可以(a)避免模擬複雜之物理系統所衍生的運算，和(b)提供井群近似最佳操作的優選結果。

Safavi et al. (2009)建立一個模擬伊朗西部的 Najafabad 平原之地面地下水聯合優選模式，為滿足農業用水需求，目標函數為供水短缺最小化，ANN 模式被用來模擬優選模式與地下水之互動，並以遺傳演算法求解最佳化之問題。

Chen et al. (2014)建立一地面水與地下水聯合優選模式，該研究考慮地下水位洩降限制條件下最佳分配地面水與地下水供給量，並以 ANN 取代 MODFLOW 模式與優選模式結合作為限制式，模式之目標函數為供水量最大化，決策變數則為地面水與地下水在各需水點各時刻之供給量，過去還有許多文獻討論 ANN 取代地下水模擬模式之研究(Dhar and Datta (2009)、Chu and Chang (2009)和 Kourakous and Mantoglou (2009)。

2.3 k-means 聚類法

「K-means」是一種聚類 (Cluster) 的方式，歐靚芸(2012)結合聚類法與新型類神經網路—支援向量機(support vector machine, SVM)發展一套區域淹水預警系統，使用 k-means 聚類法根據淹水歷線進行分類，所分出的每個類別即為一種淹水型態，每個類別中可對應出各控制點位置。進而在各個控制點建構預報模式，利用降雨量和淹水深度兩個因子作為 SVM 預報模式的輸入項，預報控制點未來 1 至 3 小時的淹水深度。接著將各控制點預報的淹水深度，以及與控制點分至相同類別網格點的二度分帶座標(X、Y)、高程和雨量這 5 個因子，利用 SVM 空間推估模式，即可推估未來 1 至 3 小時，所有網格點的淹水深度。並以雲林縣西螺鎮來驗證所提出的方法。結果顯示，利用區域淹水預警系統能夠準確的預報未來 1 至 3 小時的淹水深度，K-means 聚類法示意圖如圖 2-1 所示。



資料來源：歐靚芸(2012)。結合聚類法與類神經網路發展颱風淹水預警系統。國立臺灣大學工學院土木工程學系碩士論文，頁 7。

圖 2-1 K-means 聚類法示意圖

目前地下水位觀測結合地下水模式推估抽水量的方法，多用虛擬案例或簡單的小區域現場，少有針對大尺度的區域水資源進行評估，其原因在於大區域內的抽水井過多、抽水行為過於複雜，難以釐清。固本研究期可以引入新的方法，初步解決單一抽水井等小尺度抽水量之問題，進而將各別井加總評估大尺度之區域性地下水資源。

由於抽水井數量眾多，要確實知道每幾口井之各別抽水量大量抽水是很困難的，所以本研究另闢蹊徑，先針對不同抽水效率 $\left(\frac{\text{抽水量}}{\text{用電量}}\right)$ 運用 k-means 聚類法進行試驗水井分類，其抽水行為造成之地下水水位變化有明顯不同的特徵，透過類神經網路方法以試驗井之分類結果訓練，可將抽水井進行分類，再以 Lingo11 套裝軟體進行求解，得到各分類之非線性推估模式參數數值，建立不同抽水量評估模式後，可推估求得每口井之抽水量，再加總得到一區域性之抽水量，最後將該方法應用於濁水溪沖積扇，並且比較不同類神經網路方法之準確度。進一步可分析是何種分類之抽水過量，將疑似抽水過量之水井大幅縮減到特定鄉鎮上，後續即可針對此鄉鎮進行進一步的調查或加強管制，以保護區域水資源的穩定。

抽水效率之分類方法採用 MacQueen(1967)提出之 K-means 聚類法進行分類，K-means 聚類法之目的為將n個資料點劃分至k個聚類中，使得每個資料點都屬於離他最近之均值(即聚類中心)對應的聚類，以此作為聚類的標準，其目標函數為使各分類中之資料點與該聚類中心距離平方和為最小，即式 2-1 所示：

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad (2-1)$$

其中， k 為群集個數， S_i 為第 i 個聚類， x_j 為第 j 筆輸入向量， μ_i 為第 i 個群集中心(向量)等於聚類 S_i 中所有點的均值。

在進行聚類分析之前須先給定分類數目 k ，聚類過程中模式會依據分類數目來搜尋使目標函數值為最小值之 k 個決策變數 μ_i ，隨著分類數目 k 的增加，其分類結果之目標函數值也會隨之降低，相對的各分類資料數也會減少，由於在完成抽水效率分類後尚須進行分類非線性推估模式之參數檢定，為使參數檢定之結果具有代表性，因此本研究以各分類資料數皆大於 30 筆，做為決定分類數目 k 之依據。本研究利用 Matlab(2013a)程式之內建函式進行彰雲地區 40 口試驗水井月抽水效率之 K-means 聚類分析，期能獲得較準確之抽水量推估結果。

綜整以上文獻回顧內容，利用聚類法將待推估資料先進行分組再分析，在統計觀念上將可提供更可靠之結果，且用電量推估法對於對於抽水量之空間分布也可提供更細緻之尺度，且目前尚未有文獻針對各抽水井依抽水效率進行分組之考慮，如能進行抽水井分組，則能更有效率地在地下水位限制條件下優選出較準確之抽水量。

第三章 方法建立



本研究欲建立單口井之抽水量推估方法，並可加總評估一區域性抽水量，主要為採用電量推估及水平衡分析兩種方法作為模式之架構，並針對用電量推估法部分進行加強，依據水井抽水特性以三種不同之類神經方法將水井分類，建立不同水井類別之分類抽水量推估模式，以提升抽水量推估結果之準確性及合理性，並應用此完成修正之抽水量評估模式推估濁水溪沖積扇範圍內之抽水量，研究流程可繪如圖 3-1 所示，流程中共分二部分，為用電量推估法及為水平衡分析方法；其中，用電量推估模式建立共分為六項主要工作，包括：(1)將水井依不同馬達馬力分為三類抽水井(大馬力水井、非大馬力水井及缺漏水井)；(2)類神經網路模擬聚類法模式之建立；(3)Lingo 非線性推估模式建立；(4)利用 Lingo 非線性推估模式所優選之參數推估非大馬力水井抽水量；(5)利用大馬力抽水機電能消耗資料求得大馬力水井抽水量；(6)利用井口數比例分配推估缺漏水井抽水量。

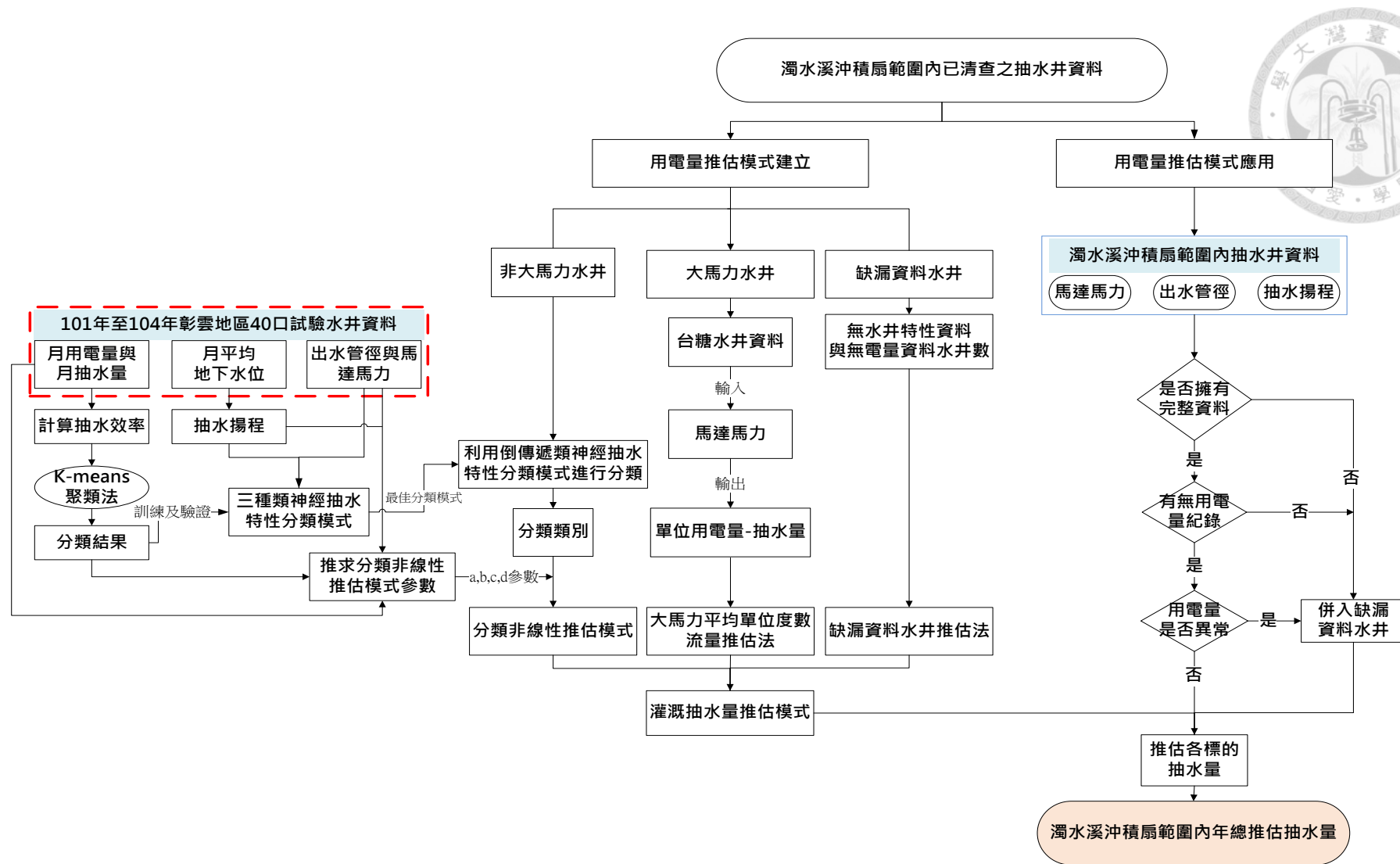


圖 3-1 用電量推估濁水溪沖積扇範圍內抽水量方法流程圖



3.1 用電量推估模式建立

本研究建立之用電量推估模式將成大地層下陷防治服務團所調查之濁水溪沖積扇範圍抽水井分為「非大馬力水井」、「大馬力水井」以及「缺漏資料水井」三大類，分別採用不同之抽水量推估方法推算三類灌溉水井之抽水量。由於濁水溪沖積扇範圍內之大部分水井屬「非大馬力水井」類別，非大馬力水井之灌溉抽水量占濁水溪沖積扇範圍總灌溉抽水量之比例約為 86%(行政院農業委員會，2014，提升灌溉用水效率策略規劃與優化灌溉管理決策輔助機制)，因此本研究著重於非大馬力水井推估模式；以下茲針對三種水井類別，就其抽水量推估方法模式及應用結果分別說明。

3.1.1 非大馬力水井

本研究所定義之非大馬力水井為馬達馬力小於 7.5HP 之抽水井，參考文獻中之抽水馬達用電量推估法為採用同一非線性模式推估抽水量，惟為考量在不同時間下，抽水井的地下水水位與抽水馬達之不穩定性可能會導致抽水效率的差異，因此本研究利用抽水效率先進行抽水特性資料之分類，再依照不同類別分別代入該分類之非線性用電量推估抽水量模式，以提升抽水量推估之準確性，詳細流程如圖 3-2 所示。

本研究所建立之非大馬力水井推估模式為利用 2012 年及 2014 年於彰化與雲林地區 40 口灌溉水井(試驗期間分別為 2012 年 7 月~2013 年 12 月及 2014 年 7 月~2015 年 6 月)裝設電子水表與電表之紀錄資料，計算其抽水效率並利用 k-means 聚類法進行分類，再分別利用 lingo 軟體優選建立各分類之非線性用電量推估模式，接下來應用三種不同之類神經抽水特性分類模式(包含 BPNN、RTRL 及 ANFIS)，模擬 k-means 聚類法之分類結果(因實際上抽水量為待推估值，無法以 k-means 聚類法直接分類)，比較三種類神經網路方法，將模擬結果最佳之類神經網路方法運用於濁水溪沖積扇範圍內近 18 萬口非大馬力水井，將前述之非大馬力水井以類神經抽水特性分類模式進行分類，依據分類結果分別應用於該類別之非線性用電量推估模式(前以 lingo 軟體優選所得之參數)，以估算非大馬力水井之灌溉抽水量，過程中也包含抽水井地下水位之內插估計以及抽水揚程之估算。

非大馬力水井之用電量推估模式建立工作，主要可分為抽水揚程之估算與修正、抽水效率之分類、分類之非線性用電量推估模式、三種不同之類神經抽水特

性分類模式之四個部分，茲針對此四部分詳述如下。

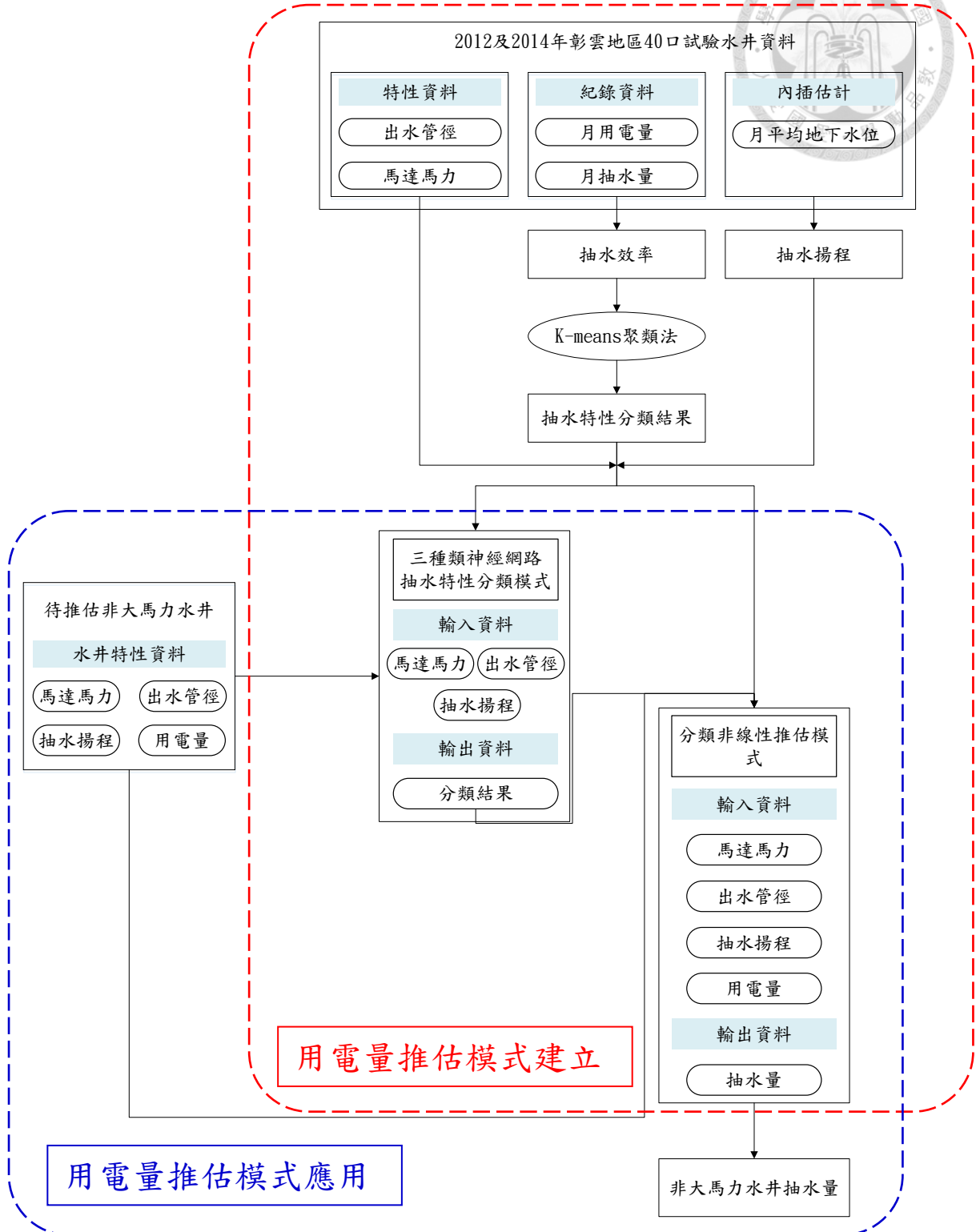


圖 3-2 非大馬力水井之用電量推估抽水量流程圖

1. 抽水揚程之估算與修正

抽水揚程之定義為抽水機將水體由地下水面抽至地表之高程差，此假設抽水過程中能量損失為 20%(川源股份有限公司泵浦技術文件-泵浦揚程計算-5.總揚程

之簡易算法)。由於計算抽水揚程前須先取得地下水位高程，然而抽水井之地點並無觀測井，無法直接取得地下水位高程，因此本研究採用抽水井附近距離最近之三個觀測井地下水位觀測值，以距離平方的反比為權重，內插抽水井之地下水位高程。圖 3-3 為抽水井與三口鄰近地下水位觀測井之相對位置示意圖，而根據圖 3-3 所得抽水井位置之地下水位高程可表示如下式 3-1：

$$H_{well} = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{1/d_i^2}{1/d_1^2 + 1/d_2^2 + 1/d_3^2} * H_i \right) \quad (3-1)$$

上式中， H_{well} 為內插之抽水井地下水位， d_i 為第 i 個觀測井與抽水井之距離， H_i 為第 i 個觀測井之地下水位高程。

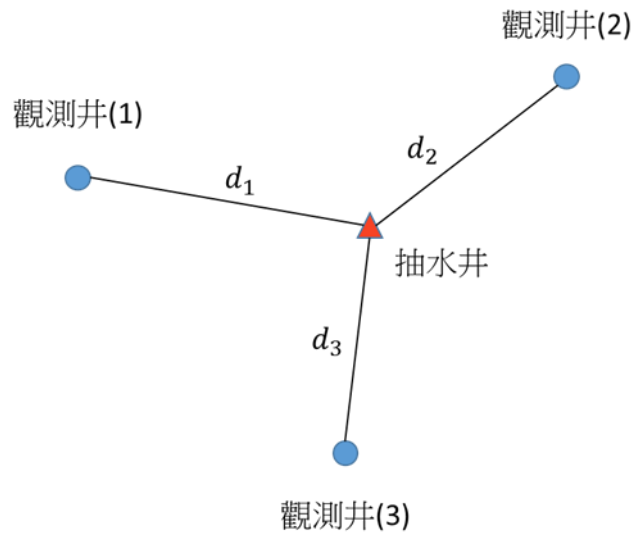


圖 3-3 抽水井與鄰近觀測井之相對位置示意圖

另考量抽水井實際抽水時會造成地下水位的洩降，如圖 3-4 所示，本研究修正直接以地表高程減去地下水位高程計算抽水揚程之方式，增加考量抽水造成之地下水位洩降差，以貼近現實情況。

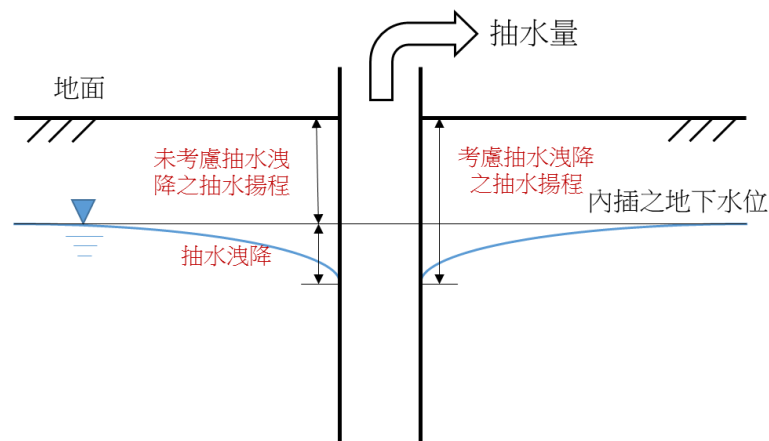


圖 3-4 抽水洩降示意圖

Bear(1979)指出拘限含水層的抽水洩降公式可表示如下式：

$$s = \frac{Q_w}{4\pi T} W\left(\frac{r^2 S}{4Tt}\right) \quad (3-2)$$

上式中， s 為抽水洩降； Q_w 為抽水量； $T = KB$ 為導水係數； r 為抽水井半徑； S 為儲水係數； K 為水力傳導係數； B 為拘限含水層厚度； $W(\cdot)$ 為井函數； t 為抽水時間。

Bear(1979)另提出非拘限含水層的修正抽水洩降公式可表如下式：

$$s' = \frac{Q_w}{4\pi T'} W\left(\frac{r^2 S'}{4T't}\right) \quad (3-3)$$

上式中， $s' = s - \frac{s^2}{2H_0}$ 為修正抽水洩降； $S' = \frac{SH_0}{(H_0-s)}$ 為修正儲水係數； $T' = KH_0$ 為導水係數； H_0 為飽和含水層厚度。

改寫式(3-3)可得非拘限含水層之洩降公式如下式：

$$s = \frac{s^2}{2H_0} + s' \quad (3-4)$$

假設 $\frac{r^2 S}{4Tt} < 0.01$ ，則式(3-2)可簡化為下式：

$$s = \frac{Q_w}{4\pi T} \cdot \left[-0.5772 - \ln\left(\frac{r^2 S}{4Tt}\right) \right] \quad (3-5)$$

假設非拘限含水層抽水時所造成之抽水洩降遠小於飽和含水層厚度 ($s \ll 0.02H_0$)，則式 3-4 結合式 3-3 可改寫為下式：

$$s = \frac{s^2}{2H_0} + \frac{Q_w}{4\pi T'} \cdot \left[-0.5772 - \ln\left(\frac{r^2 S'}{4T't}\right) \right] \quad (3-6)$$

將試驗抽水井地表高程減掉內插地下水位高程，再加上計算所得之抽水洩降，便可得到考慮抽水洩降之抽水揚程。然而在計算抽水洩降時需要抽水量資料，但待推估水井之抽水量為待推估數值，因此本研究採用先以未考慮抽水洩降之揚程來推估抽水量，再以推估所得之抽水量重新計算考慮抽水洩降之抽水揚程，並重新推估抽水量，其流程如下：

- (1) 判斷各抽水井位於為拘限含水層或非拘限含水層。
- (2) 如位於拘限含水層則帶入 3-5 計算，採用先以未考慮抽水洩降之揚程來推估抽水量，再以推估所得之抽水量重新計算考慮抽水洩降之抽水揚程，並重新推估抽水量。
- (3) 如位於非拘限含水層則帶入 3-6 計算，採用先以未考慮抽水洩降之揚程來推估抽水量，再以推估所得之抽水量重新計算考慮抽水洩降之抽水揚程，並重新推



估抽水量。

2. 抽水效率之分類

本研究將 2012 年及 2014 年彰化與雲林地區 40 口試驗水井之每月抽水效率 (Pumping Efficiency, PE) 進行分類。抽水效率之定義如下式 3-7：

$$PE = \frac{Q}{\Delta W} \quad (3-7)$$

上式中，Q 為抽水量； ΔW 為用電量。

用電量(ΔW)、抽水馬達馬力(P)、出水管徑(D)、抽水揚程(L)與估計抽水量(\hat{Q})之非線性關係式如下式 3-8：

$$\hat{Q} = a \cdot \frac{P^b \cdot D^c}{L^d} \cdot \Delta W \quad (3-8)$$

其中，a, b, c, d 為待定之參數。

在推求模式之參數時，以實測抽水量(Q)與估計抽水量(\hat{Q})相減之最小平方和訂為目標函數，並以式 3-10 作為限制式，此外為符合物理機制，限制參數b, c, d之值須大於等於 0.01，即可建立非線性模式參數檢定之優選模式，其目標函數與限制式如下所示：

$$\text{目標函數：} \min_{a,b,c,d} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2 \quad (3-9)$$

$$\text{限制式：} \hat{Q}_i = a \cdot \frac{P_i^b \cdot D_i^c}{L_i^d} \cdot \Delta W_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3-10)$$

$$b, c, d \geq 0.01 \quad (3-11)$$

上列各式中， Q_i 為第i筆資料之水井月抽水量實測值(噸)； \hat{Q}_i 為第i筆資料之水井月抽水量估計值(噸)； L_i 為第i筆資料之水井月平均抽水揚程(公尺)； ΔW_i 為第i筆資料之水井月用電量(度)；n 為資料筆數。

抽水效率之分類方法採用 MacQueen(1967)提出之 K-means 聚類法進行分類，K-means 聚類法之目的為將n個資料點劃分至k個聚類中，使得每個資料點都屬於離他最近之均值(即聚類中心)對應的聚類，以此作為聚類的標準，其目標函數為使各分類中之資料點與該聚類中心距離平方和為最小，即式 3-12 所示：

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad (3-12)$$

其中，k 為群集個數， S_i 為第 i 個聚類， x_j 為第 j 筆輸入向量， μ_i 為第 i 個群集中心(向量)等於聚類 S_i 中所有點的均值。

在進行聚類分析之前須先給定分類數目k，聚類過程中模式會依據分類數目來

搜尋使目標函數值為最小值之 k 個決策變數 μ_i ，隨著分類數目 k 的增加，其分類結果之目標函數值也會隨之降低，相對的各分類資料數也會減少，由於在完成抽水效率分類後尚須進行分類非線性推估模式之參數檢定，為使參數檢定之結果具有代表性，因此本研究以各分類資料數大於 30 筆，做為決定分類數目 k 之依據。

由前述所得之抽水效率分類結果，利用 2012 及 2014 年試驗水井資料，針對各分類之抽水量推估模式分別進行參數檢定，本研究用以參數檢定之優選模式為一非線性規劃(Non-Linear Programing, NLP)模式，乃採用 Lingo11 套裝軟體進行求解。

3. 三種不同之類神經抽水特性分類模式

本研究所發展的分類抽水量推估模式，須先取得抽水量與用電量資料計算出抽水效率才能加以分類，然而濁水溪沖積扇範圍內一般抽水井僅有台電公司因收費需要而記錄之月用電量資料，抽水量屬待推估資料，故無法直接以 K-means 聚類法對濁水溪沖積扇範圍內近 18 萬口非大馬力水井之抽水效率進行分類。

由式 3-7 及 3-8 可知抽水效率(PE)為馬達馬力(P)、出水管徑(D)、抽水揚程(L)之函數，即：

$$PE = \frac{\bar{Q}}{\Delta W} = a \cdot \frac{P^{b_1} D^{b_2}}{L^{b_3}} = f(P, D, L) \quad (3-13)$$

本研究乃利用三種不同之類神經網路方法，包含倒傳遞類神經網路方法(BPNN)、即時回饋學習演算法(RTRL)及調適性網路模糊推論系統(ANFIS)，將馬達馬力(P)、出水管徑(D)、抽水揚程(L)當作模式輸入項，以分類類別作為輸出項，並以 K-means 聚類法之分類結果作為類神經網路模式訓練之基礎，建立三種不同之類神經網路之抽水特性分類模式，其模式架構如圖 3-5 所示，其中因為尚未估算抽水量，因此輸入項之抽水揚程為未考慮抽水洩降之抽水揚程。

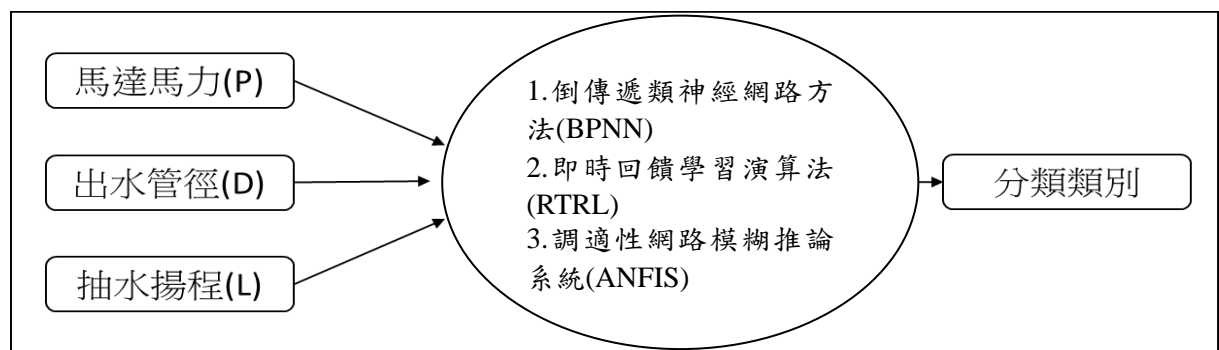


圖 3-5 利用三種不同類神經網路之抽水特性分類模式架構圖

本研究利用 2012 年及 2014 年彰化與雲林地區之 40 口試驗水井資料進行三種不同之類神經網路抽水特性分類模式之建立，以試驗水井資料中的 2/3 資料筆數 (171 筆) 用作模式之訓練，剩餘之 1/3 (85 筆) 則作為模式之驗證使用，以檢驗各種類神經分類模式分類出的類別與 K-means 聚類法分類結果之符合程度。

3.1.2 大馬力水井

本研究所建置之分類非線性推估模式適用範圍取決於建構模式所使用之資料，並參考水利署現地率定試驗水井資料(經濟部水利署，2006，雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心九十五年度工作推動計畫)，其模式適用範圍為馬達馬力 7.5HP 以內，若輸入之水井馬力資料超過或低於建構資料範圍，雖仍可推估但可能造成較大之誤差值。因此本研究將馬達馬力大於 7.5HP 之抽水井歸類為大馬力水井，並採用台糖公司提供之水井定量(分級)資料，與製造銷售大馬力抽水機之泰盛公司網站公告之大馬力抽水機電能消耗資料，統計求得大馬力水井之單位度數流量，如表 3-1 所示，故濁水溪沖積扇範圍內大馬力水井之抽水量估算，將以表 3-1 中馬達馬力所對應之平均單位耗電流量乘上用電量作估算。

表 3-1 大馬力抽水機流量及電能消耗量

| 馬達馬力 (HP) | 試驗流量 (cmh) | 電能消耗 (KW) | 平均單位度數流量 (m ³ /度) |
|--------------------|---------------|--------------|---------------------------------|
| $7.5 < HP \leq 10$ | 82 | 8.76 | 9.36 |
| $10 < HP \leq 15$ | 45 | 11.05 | 4.07 |
| $15 < HP \leq 20$ | 71 | 16.76 | 4.24 |
| $20 < HP \leq 30$ | 224 | 21.56 | 10.39 |
| $30 < HP$ | 252 | 31.63 | 7.97 |

(資料來源：台糖公司及泰盛公司網站)

3.1.3 缺漏資料水井

本研究將無完整水井特性資料與無電量資料之水井，併入缺漏資料水井推估法進行水井抽水量推估，以濁水溪沖積扇範圍內各鄉鎮為區分，將同一鄉鎮內缺漏資料水井數與有完整資料水井數之比例，乘上推估模式估算所得之抽水量，即為無完整資料水井之推估抽水量。

3.2 水平衡分析法建立

水平衡分析法為分析地下水蓄水量歷線，找出非灌溉抽水率以及各期作之灌溉抽水率，各自乘上抽水天數後加總，即可得濁水溪沖積扇之灌溉抽水總量，再經由面積比例換算為濁水溪沖積扇內之灌溉抽水總量。由於水平衡分析法將濁水溪沖積扇視為一個個體，簡化內部之補注量、損失量等交互作用，以計算出濁水溪沖積扇整體之總抽水量，因此水平衡分析法無法估算單一含水層或是小區域之灌溉抽水量，僅能推估濁水溪沖積扇範圍內之灌溉抽水總量。以水平衡分析法推估灌溉抽水量之流程如圖 3-6 所示

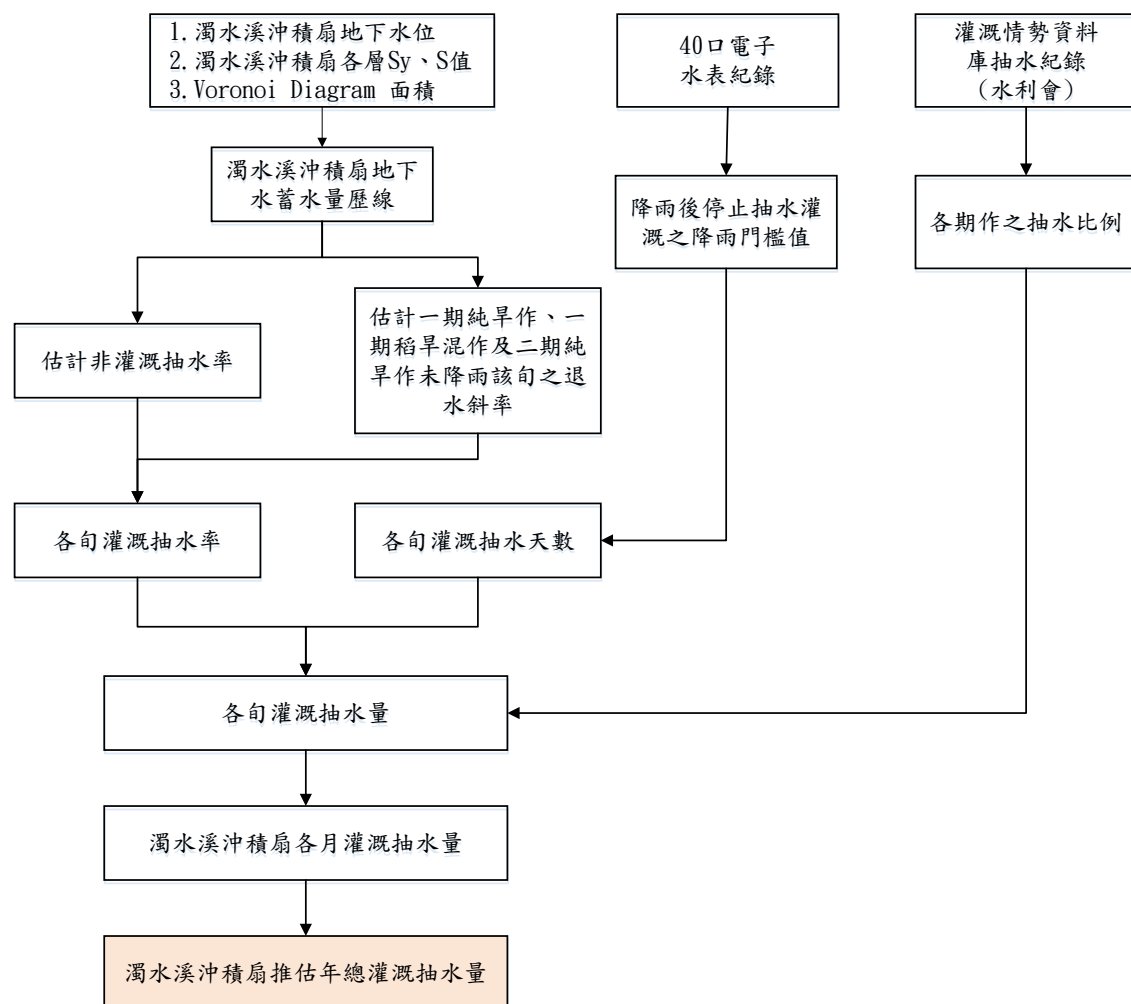


圖 3-6 水平衡分析法流程圖

本研究利用地下水平衡分析法分析濁水溪沖積扇範圍之抽水量，因八卦山台地以及斗六丘陵地區屬於分水嶺，不應納入水平衡計算的範圍中，因此所劃分之濁水溪沖積扇面積範圍將八卦山台地以及斗六丘陵去除，其範圍如圖 3-7 中紅色實線所示。



圖 3-7 濁水溪沖積扇範圍圖

茲將水平衡分析法分為地下水蓄水量歷線計算、地下水系統抽水量估算以及水平衡分析法應用結果等三部份分述如下。

1. 地下水蓄水量歷線計算

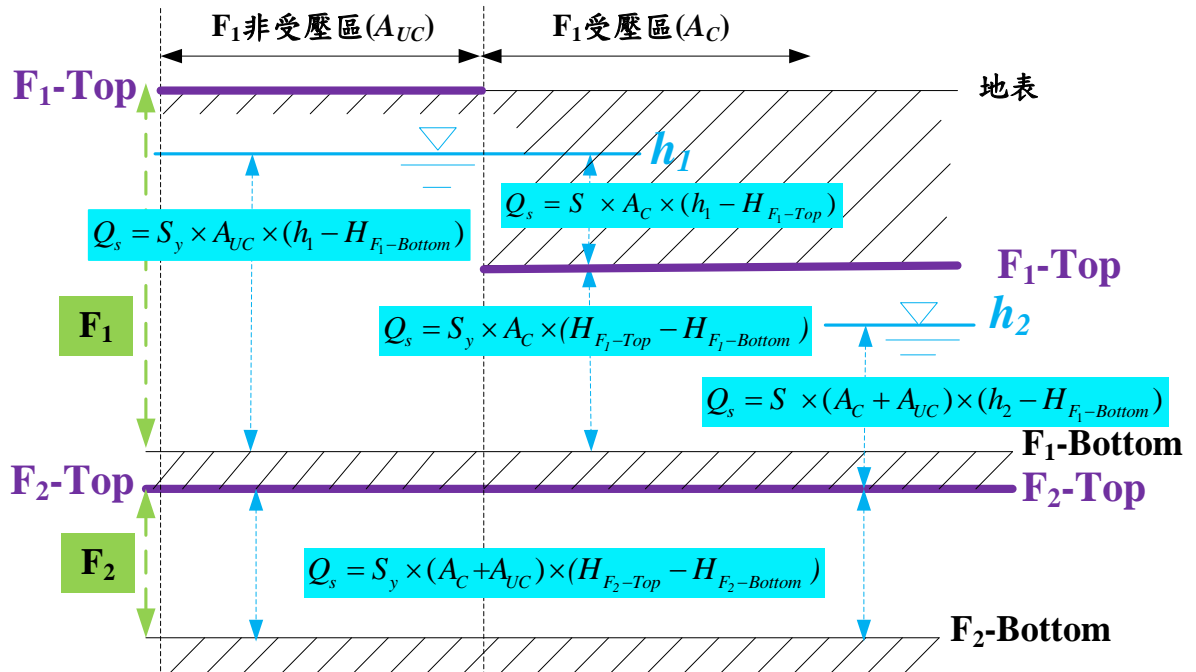
地下水蓄水量為地下水系統中各含水層實際之總含水量，集合各日所計算出之地下水蓄水量即可得到研究年限內之地下水蓄水量歷線。在日地下水蓄水量計

算方面，以兩層含水層所組成之地下水系統為範例，如圖 3-8 所示，第一含水層之蓄水量計算分為兩種情況，一為該地下水位站所控制之範圍為非受壓含水層，另一為該地下水位站所控制之範圍為受壓含水層。當該地下水位站所控制之範圍為非受壓含水層，其實際蓄水量係比出水量(S_y)、水深($h_1 - H_{F_1-Bottom}$)和 Voronoi Diagram 控制面積(A_{UC})之乘積。當該地下水位站所控制之範圍為受壓含水層，其蓄水量之計算須視水位位於含水層頂(H_{F_1-Top})之阻水層上方或下方而異，若水位位於阻水層上方($h_1 > H_{F_1-Top}$)，則其上方之蓄水量為受到壓力擠出所引致，計算方式為蓄水係數(S)、水深($h_1 - H_{F_1-Top}$)和 Voronoi Diagram 控制面積(A_C)之乘積；若水位位於阻水層下方($h_1 < H_{F_1-Top}$)，則其儲蓄水量之物理機制為重力，計算方式為比出水量(S_y)、水深($h_1 - H_{F_1-Bottom}$)和 Voronoi Diagram 控制面積(A_C)之乘積。第二含水層以下，蓄水量之計算方式與第一受壓含水層相同。

Voronoi Diagram 是由蘇俄數學家 Voronoi(1907)提出，其方法廣泛應用於地球科學領域，可通用於分析多維之空間資料分布以供進行特性分區，各分區中任一點之特性以距離最近之資料點來代表，可表示如式 3-12 所示：

$$V(p_i) = \{p | d(p, p_i) \leq d(p, p_j), j \neq i\} \quad (3-12)$$

上式中， $V(p_i)$ 為 p_i 資料點所控制之空間； d 為距離； p 為空間中任一點。



資料來源：Hsuet al. (2013). "Estimation of pumpage and recharge in alluvial fan topography under multiple irrigation practices" *Journal of Hydrology*, 479, 40

圖 3-8 地下水蓄水量計算示意圖

2. 地下水系統抽水量估算

濁水溪沖積扇地下水系統之抽水源大致可分為非灌溉與灌溉抽水源，非灌溉抽水源為民生、工業、養殖與畜牧用水，其全年抽水率較為穩定、較不隨時間而變；而灌溉抽水率則會依灌溉面積、耕種階段與降雨分布而異。月總抽水量等於月非灌溉抽水量加上月灌溉抽水量，可表示如式 3-13 所示：

$$Q_p(i) = Q_{p,L}(i) + Q_{p,A}(i) \quad (3-13)$$

其中， $Q_p(i)$ 為第 i 月總抽水量(L^3)； $Q_{p,L}(i)$ 為第 i 月非灌溉抽水量(L^3)； $Q_{p,A}(i)$ 為第 i 月灌溉抽水量(L^3)。

在月非灌溉抽水量方面，本研究將抽水紀錄中抽水量最少該旬之地下水退水線斜率視為非灌溉抽水率(S_L)(L^3 /日)，如圖 3-9 所示，而由於非灌溉之抽水行為較不隨時間而變化，無論天氣如何皆大致呈現穩定抽水，因此月非灌溉抽水量為非灌溉抽水率與月天數之乘積，可表示如式(3-14)所示：

$$Q_{p,L}(i) = S_L \times D(i) \quad (3-14)$$

上式中， $D(i)$ 為第 i 月天數(日)。

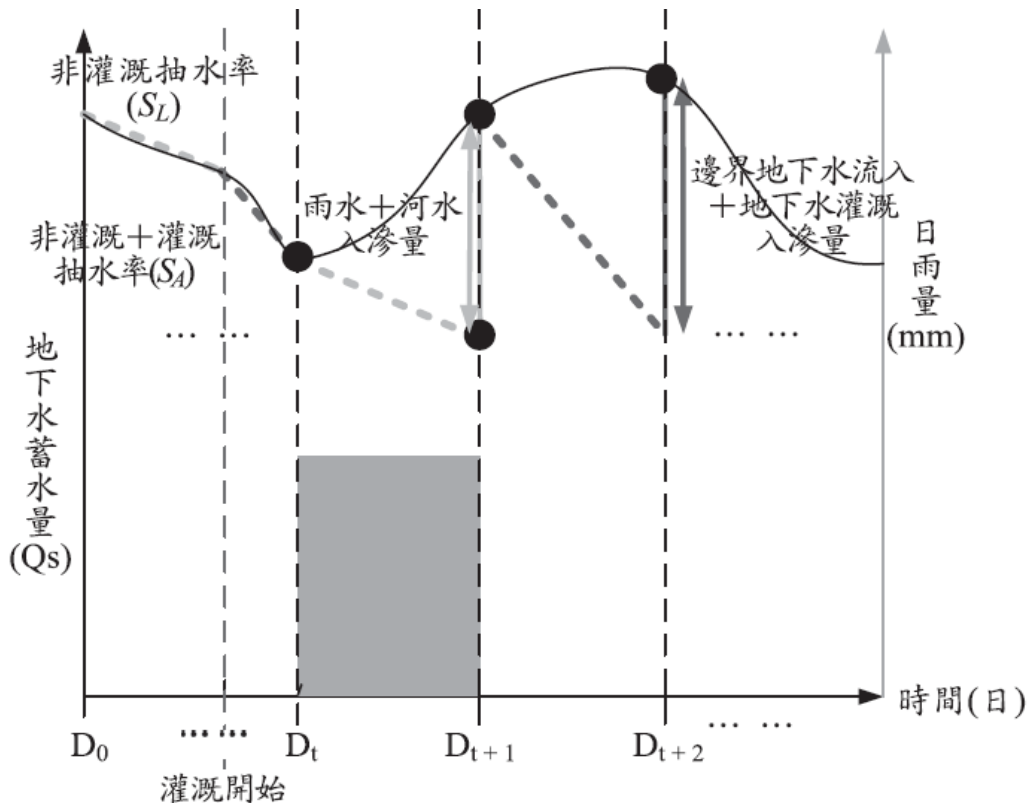


圖 3-9 非灌溉抽水率與灌溉抽水率估計示意圖

而在月灌溉抽水量方面，由於同一地下水系統中非農田水利會與農田水利會之抽水井位於同一集水區，本研究假設受到相同降雨歷線影響下，農民私井之各

旬抽水量變化趨勢、各期作面積增減趨勢、純旱作和稻旱混作時間與農田水利會水井相似，故採彰化、雲林農田水利會各旬之灌溉抽水情況，依耕種時間與作物類型將期作分為一期純旱作、一期稻旱混作、二期稻旱混作與二期純旱作；由於稻作與旱作單位種植面積灌溉所需之抽水量不同，而且期作中各時段之灌溉抽水量會受到降雨之時間與空間分布及種植面積所影響，因此需將四者抽水量分開估算，可表示如式(3-15)所示：

$$Q_{p,A}(i) = Q_{WDA1}(i) + Q_{WDA2}(i) + Q_{DA1}(i) + Q_{DA2}(i) \quad (3-15)$$

上式中， $Q_{WDA1}(i)$ 為第*i*月一期稻旱混作抽水量(L^3)； $Q_{WDA2}(i)$ 為第*i*月二期稻旱混作抽水量(L^3)； $Q_{DA1}(i)$ 為第*i*月一期純旱作抽水量(L^3)； $Q_{DA2}(i)$ 為第*i*月二期純旱作抽水量(L^3)。

一期純旱作、一期稻旱混作及二期純旱作主要位於枯水期，因此可由完全未降雨該旬之退水線斜率和抽水天數來估算該旬之灌溉抽水量，接著以該旬之灌溉抽水量和農田水利會抽水紀錄來反推該期作各月之灌溉抽水量，可表示如式 3-16 至式 3-18 所示：

$$Q_{WDA1}(i) = \sum_{j=3(i-1)+1}^{j=3(i-1)+3} |S_{WDA1,n} - S_L| \times D_{WDA1,n} \times \frac{1}{I_{WDA1,n}} \times I_{WDA1}(j) \quad (3-16)$$

$$Q_{DA1}(i) = \sum_{j=3(i-1)+1}^{j=3(i-1)+3} |S_{DA1,n} - S_L| \times D_{DA1,n} \times \frac{1}{I_{DA1,n}} \times I_{DA1}(j) \quad (3-17)$$

$$Q_{DA2}(i) = \sum_{j=3(i-1)+1}^{j=3(i-1)+3} |S_{DA2,n} - S_L| \times D_{DA2,n} \times \frac{1}{I_{DA2,n}} \times I_{DA2}(j) \quad (3-18)$$

上列各式中， $S_{WDA1,n}$ 、 $S_{DA1,n}$ 與 $S_{DA2,n}$ 分別為一期稻旱混作、一期純旱作與二期純旱作未降雨該旬之抽水率(L^3 /日)； $D_{WDA1,n}$ 、 $D_{DA1,n}$ 與 $D_{DA2,n}$ 分別為一期稻旱混作、一期純旱作與二期純旱作未降雨該旬之抽水天數(日)； $I_{WDA1,n}$ 、 $I_{DA1,n}$ 與 $I_{DA2,n}$ 分別為一期稻旱混作、一期純旱作與二期純旱作未降雨該旬抽水量占全期之比例； $I_{WDA1}(j)$ 、 $I_{DA1}(j)$ 與 $I_{DA2}(j)$ 分別為第*j*旬一期稻旱混作、一期純旱作與二期純旱作抽水量占全期之比例； $I_{WDA1,n}$ 、 $I_{DA1,n}$ 、 $I_{DA2,n}$ 、 $I_{WDA1}(j)$ 、 $I_{DA1}(j)$ 與 $I_{DA2}(j)$ 皆由農田水利會抽水紀錄估算求得。

二期稻旱混作由於位於豐水期，難有整旬未降雨之情形，而且地下水歷線於豐水期幾乎皆持續上升，因此難以利用地下水歷線直接來估算灌溉抽水率；為解決此問題，本研究假設一期作(枯水期)與二期作(豐水期)之灌溉期間，稻作與旱作

分別之單位面積、單位抽水日之抽水量相似，而且旱作單位面積、單位抽水日之抽水量約為稻作的二分之一，並利用一期稻旱混作單位面積、單位抽水日之抽水量配合二期稻旱混作之面積、抽水天數，以及農田水利會抽水紀錄所估算出之抽水比例來反推二期稻旱混作各月之抽水量，可表示如式 3-19 所示。

$$Q_{WDA2}(i) = \sum_{j=3(i-1)+1}^{j=3(i-1)+3} \left(\sum_{i=1}^{12} Q_{WDA1}(i) \right) \times \frac{D_{WDA2}}{D_{WDA1}} \times \frac{A_{WA2} + A_{DA2} / 2}{A_{WA1} + A_{DA1} / 2} \times I_{WDA2}(j) \quad (3-19)$$

上式中， D_{WDA2} 為二期稻旱混作抽水天數(日)； D_{WDA1} 為一期稻旱混作抽水天數(日)； A_{WA1} 為一期灌溉期間之稻作面積(L^2)； A_{DA1} 為一期灌溉期間之旱作面積(L^2)； $I_{WDA2}(j)$ 為農田水利會抽水紀錄中，第 j 旬二期稻旱混作抽水量占全期之比例。

經由以上計算便可獲得濁水溪沖積扇之月灌溉抽水量，累加得年灌溉抽水量。

第四章 方法應用



本研究將所建立之模式應用於濁水溪沖積扇灌溉抽水量評估，採用抽水馬達用電量推估法結合 K-means 聚類法與類神經網路方法，作為模式架構，並與水平衡分析法所推估之灌溉抽水量結果進行分析比較。茲將方法應用分為研究區域概述、用電量推估模式應用、水平衡分析法、濁水溪沖積扇範圍內抽水量推估結果比較等四個部份分述如下。

4.1 研究區域概述

本研究所定義之濁水溪沖積扇位於台灣西岸之中部平原，北起烏溪，南至北港溪，東以八卦山台地及斗六丘陵與平原交界處為界，西止於台灣海峽。濁水溪沖積扇主要為濁水溪經年累月以來沖積而成，涵蓋彰化縣與雲林縣，此兩縣市以濁水溪為交界，濁水溪沖積扇之面積約為 2,079 平方公里，其範圍如圖 4-1 所示。

濁水溪沖積扇區域概述依照水文特性、地文特性、以及穩定氧同位素資料列述如下：

4.1.1 水文特性

濁水溪沖積扇之降雨量空間分布呈現由沿海至內陸逐漸增加，山區降雨量多於平地之趨勢；降雨量時間分布上，每年 5 月至 10 月為豐水期，梅雨與颱風接替帶來大量降雨，約佔年降雨量之 85%，而 11 月至隔年 4 月為枯水期降雨量較少，約佔年降雨量之 15%(經濟部水利署，2011)。統計濁水溪沖積扇 2000 年至 2014 年之降雨量資料得年平均降雨量約為 1543.61 mm。

濁水溪沖積扇內主要有三個地面水系，分別為北側之烏溪、南側之北港溪，以及中間之濁水溪，如圖 4-2 所示。茲將三個主要地面水系概述如下：

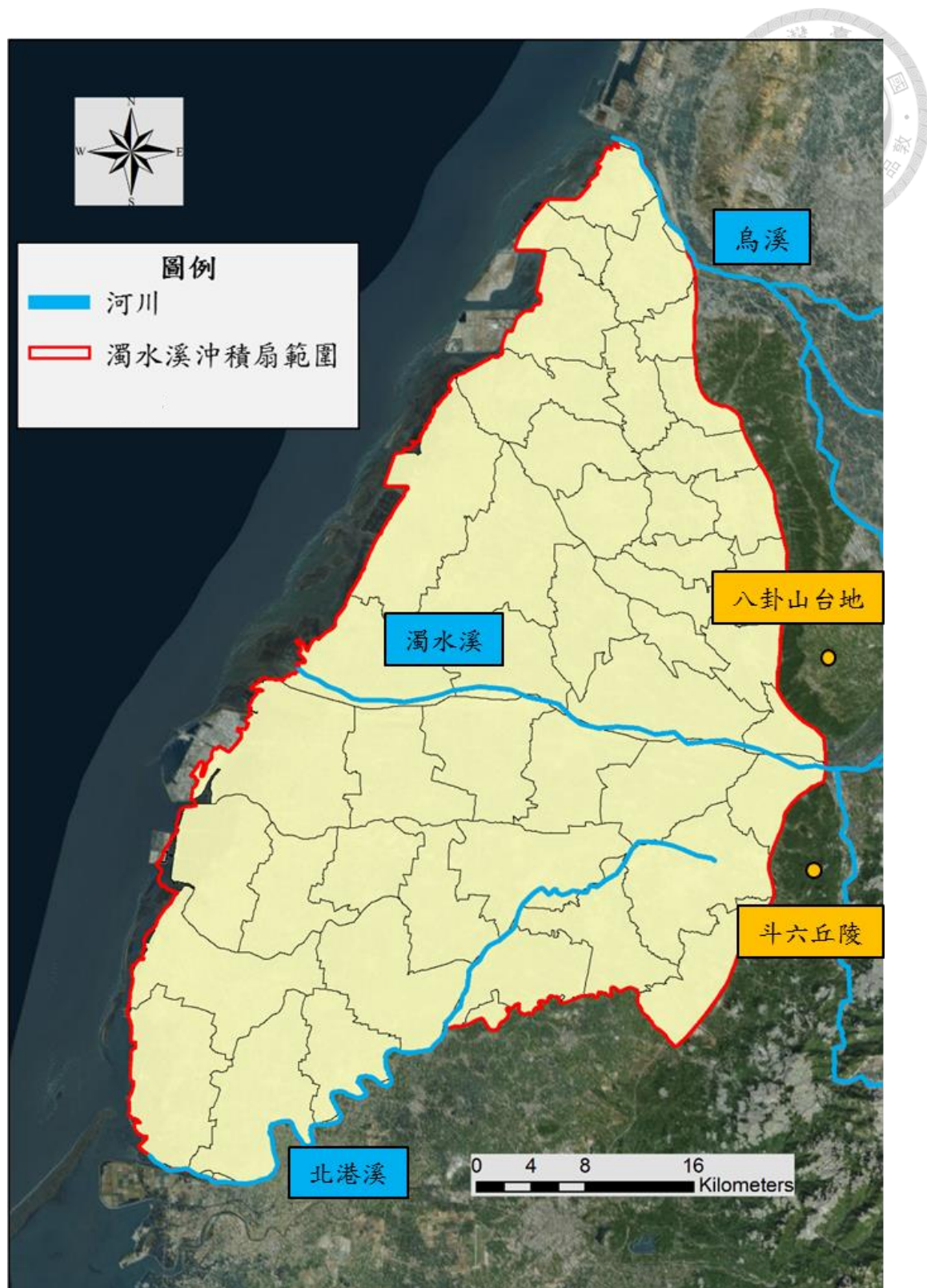


圖 4-1 濁水溪沖積扇範圍圖



1. 烏溪流域

烏溪源於中央山脈合歡山西麓，下游河段因流經臺中市大肚區，舊稱大肚溪。烏溪為臺中市與彰化縣之界河，烏溪主流和支流交匯處，形成多個沖積扇，流域面積 2,025 平方公里，年逕流量 37.27 億立方公尺。河床為礫石與砂，且在中游大肚鄉之地表岩性為礫石，透水性佳。

2. 濁水溪流域

濁水溪源於合歡山主峰與東峰間，由於其溪水夾帶大量之泥沙，以致其溪水長年渾濁而得名，主要支流有萬大溪、丹大溪、陳有蘭溪、清水溪。濁水溪主流在神龍橋附近與陳有蘭溪匯流，經集集攔河堰與名竹盆地，在二水鼻仔頭隘口處流出名竹盆地，經濁水溪沖積平原，在雲林縣麥寮鄉墘厝流入台灣海峽。流域面積 3,156 平方公里，年逕流量 60.95 億立方公尺，河床為礫石與砂，下游河床多粉土及黏土，為雲林縣重要農業灌溉水源之一。

3. 北港溪

北港溪為台灣西部平主要河川之一，發源阿里山西麓丘陵地帶林內鄉七星嶺，其上游是虎尾溪，從虎尾平和厝以下稱為北港溪，流域面積 645 平方公里，年逕流量 6.62 億立方公尺，北港溪為蜿蜒型河川，河床質屬於砂質、礫石質河床。

4.1.2 地文特性

濁水溪沖積扇之沉積物主要來自上游濁水溪集水區，於地層沉積的過程中歷經四次海進與四次海退，因此呈現海相與陸相犬牙交錯沉積之地層構造。陸相沉積環境包括礫石質瓣狀河、砂質瓣狀河及區流等環境，沉積物通常屬於礫石、粗中砂或細砂，大致歸類為含水層；海相沉積環境則包括沿岸沼澤、濱岸至淺海等環境，沉積物通常屬於細顆粒的粘土、泥或粉沙，大致可歸類為阻水層。因此，濁水溪沖積扇於海進海退循環的過程中，形成阻水層與含水層交互產生之機制，為濁水溪沖積扇含水層的主要結構基礎。

中央地質調查所(1999)依據濁水溪沖積扇地形、地質及地層材料狀況，將其分為扇頂、扇央以及扇尾三區，員林、溪州、西螺、虎溪、溫厝聯線以東為扇頂區，以西至好修、趙甲、潭墘、田洋、北港聯線為扇央區，扇尾區為扇央區以西至沿海處，如示，圖中紅色虛線為三區之分隔線。扇頂區各含水層間無明顯之阻水層

存在，為濁水溪沖積扇主要之地下水補注區，河水、降雨及灌溉水等地面水源可直接入滲補注至深層地下水，並流入下游之含水層；扇央區各含水層間有明顯之阻水層存在，地面水源僅能入滲補注第一含水層，無法直接補注更深層之含水層，地層材料以砂礫材料所佔之比例較大；扇尾區存在明顯的阻水層，地層材料以粉砂、泥、及粘土所佔之比例較大，而砂礫材料所佔之比例較小。

4.1.3 穩定氧同位素資料

濁水溪沖積扇區域內地下水之氧同位素差異比由區內地下水位觀測井所採集之資料為代表，其氧同位素組成不隨時間而改變，平均值為-7.76‰，總樣本數有 368 筆；區外地下水之氧同位素差異比由區外地下水位觀測井所採集之資料為代表，其氧同位素組成亦不隨時間而改變，平均值為-7.52‰，總樣本數有 88 筆；雨水之氧同位素隨時間其變異性較大，因此分為豐水期與枯水期各別估算，其值分別為-6.32‰與-3.79‰，其樣本數分別為 36 和 41 筆；河水之氧同位素也分為豐水期與枯水期各別估算，其值分別為-9.13‰與-9.62‰，其樣本數分別為 40 和 43 筆。茲將各類水體之氧同位素整理如表 4-1。

表 4-1 濁水溪沖積扇各類水體之氧同位素

| | 區內地下水 | | 區外地下水 | | 雨水 | | 河水 | |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| | $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ | 樣本數 | $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ | 樣本數 | $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ | 樣本數 | $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ | 樣本數 |
| 豐水期 | -7.76 | 368 | -7.52 | 88 | -6.32 | 36 | -9.13 | 40 |
| 枯水期 | | | | | -3.79 | 41 | -9.62 | 43 |

4.2 含水層概念分層與邊界辨識

經濟部地調所(1999)依濁水溪沖積扇岩性進行地層比對，將濁水溪沖積扇水文地質架構分為四層含水層與三層阻水層，茲將各含水層及阻水層之岩性變化敘述如下：

4.2.1 含水層(一)

含水層(一)位於濁水溪沖積扇地區水文地質系統之最表層，分布範圍涵蓋全區，平均厚度約 42 公尺。本層於沖積扇扇頂附近以礫石層和粗砂層為主，厚度較大；扇央及扇尾之岩性漸次相變為細砂層和泥層；表面及內部常有延展性良好之厚泥

層分布，造成地下水層中局部產生受壓或分段之現象。儲水係數 S 或比出水率 S_y 在扇頂非拘限含水層部分約為 0.137 至 0.237 之間，其他拘限含水層區則在 10^{-4} 至 10^{-3} 之間；水力傳導係數 K (Hydraulic conductivity)，在非拘限含水層約為 1.51 至 151.98m/day 之間，在拘限含水層則為 0.08 至 70.27m/day 之間。

4.2.2 阻水層(一)

阻水層一位於含水層一之下，廣泛分布於沖積扇扇央及扇尾地區，西側延伸入海，東側於離彰雲大橋十數公里處漸減；最大厚度約 39 公尺，平均厚度為 14 公尺。本層主要由黏土、泥或粉砂層組成之泥層，局部夾細砂層及少數粗砂層。

4.2.3 含水層(二)

含水層二分布範圍遍布全區，深度約介於地表下 35 至 217 公尺之間，平均厚度約為 95 公尺，為各含水層中厚度最大者。本層在濁水溪沖積扇扇頂附近以礫石和粗砂層為主，與含水層(一)之間並無明顯之阻水層分隔；扇央及扇尾地區土壤粒徑變細，但仍有粗砂或礫石層存在，顯示本層在蓄水及供水上之重要性。此外，部分地區夾有二至三層延展範圍大之泥層，此類泥層對含水層有局部分割作用。 S 約為 10^{-5} 至 10^{-3} 之間， K 則約為 0.53 至 106.94m/day 之間。

4.2.4 阻水層(二)

阻水層(二)位於含水層(二)之下，廣泛分布於沖積扇扇央及扇尾地區，西側延伸入海，主要為泥層夾細砂層，局部則夾有粗砂層，最大厚度約為 46 公尺，平均厚度則約為 23 公尺。

4.2.5 含水層(三)

含水層(三)分布範圍涵蓋全區，規模略小於含水層(二)，深度約在 140 至 275 公尺之間，厚度變異頗大，係因為濁水溪以北地區之含水層三遠比南側發達所致，全區平均厚度約 86 公尺。 S 約為 5.56×10^{-5} 至 1.07×10^{-3} 之間， K 則約為 0.64 至 75.52m/day 之間。

4.2.6 阻水層(三)

阻水層(三)在濁水溪以北的區域，厚度與分布範圍皆小；在濁水溪以南的地區較發達且完整，對含水層形成有效的分隔作用。阻水層(三)多由泥層夾細砂層所組成，平均厚度則約為 11 公尺；深度介於 238 至 293 公尺不等。

4.2.7 含水層(四)

含水層(四)位於阻水層(三)以下，其平均深度大於 271 公尺，全區只有 14 口井。超過此一深度，其中 9 口貫穿本層，5 口則未達本層底部，因而難以此少量資料對含水層四及其下之阻水層四做明確之描述。基本上扇頂附近仍以礫石層及粗砂層為主，往扇央及扇尾則漸次以細砂為主。分布深度約介於 238 至 313 公尺間，平均厚度約 24 公尺，為各含水層中厚度最小者。 S 約為 5.50×10^{-5} 至 3.40×10^{-3} 之間， K 約為 0.59 至 46.79m/day 之間。

根據上述概念分層以及鑽探井資料，將濁水溪沖積扇概念性分層之分層高程、鑽探井名稱與座標整理為表 4-2 所示。

表 4-2 濁水溪沖積扇概念性分層之各觀測井高程資料

| 井名 | TMX | TMY | F1 頂 | F1 底 | F2 頂 | F2 底 | F3 頂 | F3 底 | F4 頂 | F4 底 |
|----|--------|---------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 國聖 | 205365 | 2665558 | 20.8 | -9.3 | -21.3 | -111.3 | -139.3 | -230.3 | -244.3 | |
| 全興 | 199630 | 2674365 | 5.8 | -13.2 | -36.2 | -126.2 | -143.2 | -265.2 | -275.2 | - |
| 線西 | 195062 | 2669966 | -4.5 | -23.5 | -33.5 | -117.5 | -138.5 | -259.5 | -268.5 | - |
| 頂番 | 196281 | 2665147 | 7.8 | -27.2 | -34.2 | -120.2 | -144.2 | -254.2 | -261.2 | - |
| 東芳 | 199950 | 2662265 | 10.1 | -22.9 | -32.9 | -124.9 | -148.9 | -240.9 | -249.9 | - |
| 花壇 | 202725 | 2658257 | 9.5 | -15.0 | -27.0 | -117.0 | -145.0 | -236.0 | -250.0 | -280.0 |
| 員林 | 205885 | 2649930 | 26.5 | 5.5 | -12.5 | -127.5 | -139.5 | -229.5 | - | - |
| 田中 | 207088 | 2639188 | 49.0 | -2.0 | -2.0 | -122.0 | -122.0 | -237.0 | - | - |
| 漢寶 | 183282 | 2656147 | 3.0 | -40.0 | -54.0 | -134.0 | -160.0 | -273.0 | -290.0 | -305.0 |
| 洛津 | 191220 | 2661365 | 3.6 | -34.4 | -50.4 | -127.4 | -146.4 | -268.4 | -279.4 | - |
| 文昌 | 190120 | 2656250 | 2.6 | -34.8 | -39.8 | -125.8 | -144.8 | -257.8 | -257.8 | - |
| 好修 | 194052 | 2656100 | 10.0 | -30.0 | -35.0 | -120.0 | -156.0 | -255.0 | -255.0 | -290.0 |
| 溪湖 | 196133 | 2649778 | 18.4 | -21.6 | -27.6 | -121.6 | -144.6 | -249.6 | -249.6 | - |
| 芳苑 | 179990 | 2646954 | 3.9 | -24.1 | -46.1 | -145.1 | -168.1 | -275.0 | - | - |
| 趙甲 | 187624 | 2648441 | 12.0 | -13.0 | -35.0 | -125.0 | -171.0 | -263.0 | - | - |
| 溪州 | 198371 | 2639267 | 33.4 | 6.4 | -1.6 | -101.6 | -136.0 | -249.0 | - | - |
| 柑園 | 201662 | 2635696 | 45.7 | 6.7 | 6.7 | -110.0 | -134.0 | -242.0 | | |
| 二水 | 210242 | 2634428 | 82.0 | 17.0 | 17.0 | -120.0 | -130.0 | -235.0 | - | - |
| 西港 | 176799 | 2639978 | 4.0 | -43.0 | -47.0 | -149.0 | -156.0 | -270.0 | -275.0 | -307.0 |
| 潭墘 | 182705 | 2637176 | 13.0 | -31.0 | -41.0 | -127.0 | -150.0 | -265.0 | -265.0 | - |
| 竹塘 | 190948 | 2639823 | 21.0 | -13.0 | -18.0 | -111.0 | -147.0 | -257.0 | -264.0 | - |
| 合興 | 194000 | 2643600 | 21.3 | -18.7 | -24.7 | -110.7 | -144.7 | -255.7 | -265.7 | - |
| 田尾 | 201045 | 2643280 | 23.2 | -2.7 | -21.7 | -111.7 | -131.7 | -251.7 | -251.7 | - |
| 海豐 | 170273 | 2629402 | 2.2 | -38.8 | -38.8 | -125.8 | -137.8 | -250.0 | - | - |
| 後安 | 171197 | 2632096 | 1.1 | -42.9 | -48.9 | -139.9 | -145.9 | -255.0 | - | - |

| 井名 | TMX | TMY | F1 頂 | F1 底 | F2 頂 | F2 底 | F3 頂 | F3 底 | F4 頂 | F4 底 |
|----|--------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 興化 | 176695 | 2628849 | 7.5 | -40.5 | -40.5 | -135.5 | -143.5 | -242.0 | - | - |
| 豐榮 | 178954 | 2632222 | 0.5 | -33.4 | -47.4 | -138.4 | -138.4 | -250.0 | - | - |
| 港後 | 187220 | 2632820 | 17.8 | -7.2 | -33.2 | -122.2 | -147.2 | -245.0 | -246.4 | -270.4 |
| 九隆 | 191168 | 2627781 | 16.5 | -1.6 | -16.6 | -138.6 | -149.6 | -232.0 | - | - |
| 西螺 | 194891 | 2632723 | 29.0 | -11.0 | -17.0 | -120.0 | -144.0 | -242.0 | - | - |
| 荊桐 | 197886 | 2628381 | 37.1 | -12.9 | -12.9 | -130.0 | -150.0 | -235.0 | - | - |
| 六合 | 204584 | 2629706 | 55.5 | -1.5 | -1.5 | -130.0 | -140.0 | -234.0 | - | - |
| 烏塗 | 208141 | 2629528 | 71.9 | 5.9 | 5.9 | -130.0 | -137.0 | -232.0 | - | - |
| 觸口 | 212782 | 2629816 | 121.0 | 24.9 | 24.9 | -130.0 | -135.0 | -231.0 | - | - |
| 海園 | 165467 | 2624551 | -15.9 | -45.6 | -58.6 | -140.6 | -147.6 | -250.6 | -265.0 | -290.6 |
| 和豐 | 169999 | 2626544 | 1.5 | -42.5 | -47.5 | -131.5 | -140.5 | -245.5 | -261.5 | -286.5 |
| 安南 | 172567 | 2622644 | 6.2 | -44.8 | -53.8 | -134.8 | -144.8 | -234.8 | -259.8 | -279.8 |
| 田洋 | 178717 | 2624989 | 11.9 | -11.8 | -44.8 | -131.8 | -166.8 | -229.8 | -254.8 | -266.8 |
| 芳草 | 185350 | 2624184 | 10.4 | -5.4 | -30.4 | -132.4 | -155.4 | -220.4 | -246.4 | -270.4 |
| 虎尾 | 191285 | 2623689 | 26.6 | -0.5 | -15.5 | -143.5 | -155.5 | -224.5 | -247.5 | - |
| 虎溪 | 199331 | 2624542 | 36.2 | 12.2 | -0.8 | -145.8 | -156.8 | -229.8 | -244.8 | -280.0 |
| 石榴 | 206944 | 2624360 | 67.0 | 15.6 | 15.6 | -137.0 | -145.0 | -229.0 | | - |
| 箔子 | 162598 | 2614898 | -24.1 | -58.5 | -68.5 | -145.5 | -165.5 | -245.0 | | - |
| 明德 | 167485 | 2617020 | 5.6 | -46.4 | -59.4 | -135.4 | -161.4 | -235.0 | | - |
| 元長 | 178788 | 2616961 | 8.9 | -17.1 | -50.1 | -147.1 | -166.1 | -220.0 | | - |
| 宏崙 | 182680 | 2620675 | 3.7 | -15.9 | -34.9 | -147.9 | -171.9 | -220.0 | - | - |
| 宜梧 | 166296 | 2604660 | 0.9 | -42.1 | -54.1 | -135.1 | -172.1 | -238.1 | -251.1 | -275.1 |
| 蔡厝 | 169500 | 2612504 | 4.5 | -40.5 | -57.5 | -142.5 | -165.5 | -230.5 | -239.5 | -278.5 |
| 東光 | 174905 | 2616870 | 6.5 | -29.5 | -46.5 | -135.5 | -170.5 | -218.5 | -231.5 | -282.5 |
| 嘉興 | 194034 | 2616371 | 30.4 | -18.6 | -22.6 | -150.6 | -156.6 | -220.0 | - | - |
| 東和 | 205251 | 2620504 | 75.1 | -21.9 | -21.9 | -141.9 | -149.9 | -225.0 | - | - |
| 大溝 | 168595 | 2607406 | 1.2 | -33.8 | -53.8 | -142.8 | -172.8 | -235.0 | - | - |
| 水林 | 172216 | 2608151 | 3.6 | -26.4 | -57.4 | -145.4 | -175.4 | -230.0 | - | - |
| 北港 | 177919 | 2608767 | 8.2 | -29.8 | -45.8 | -140.8 | -172.8 | -222.0 | - | - |
| 溫厝 | 199400 | 2617408 | 26.5 | -13.9 | -27.9 | -147.0 | -157.0 | -224.0 | - | - |
| 古坑 | 204980 | 2615932 | 100.2 | -14.8 | -14.8 | -145.0 | -155.0 | -224.0 | - | - |
| 東石 | 162790 | 2595720 | 0.6 | -46.4 | -70.4 | -179.4 | -185.4 | -242.4 | -247.4 | -253.4 |
| 瓊埔 | 168219 | 2602115 | 1.0 | -46.0 | -71.0 | -166.0 | -191.0 | -238.0 | -249.0 | -257.0 |
| 安和 | 178980 | 2601660 | -8.2 | -32.2 | -63.2 | -153.2 | -188.2 | -235.2 | -247.2 | -273.2 |
| 東榮 | 191545 | 2606340 | 26.5 | -20.5 | -40.5 | -142.5 | -174.5 | -216.5 | -238.5 | -257.5 |
| 三和 | 196915 | 2611594 | 20.5 | 5.0 | -34.0 | -145.0 | -170.0 | -220.0 | - | - |
| 炭腳 | 202021 | 2612378 | 45.1 | 6.5 | -19.5 | -140.0 | -161.0 | -219.0 | - | - |

濁水溪沖積扇之邊界乃根據河川以及地形辨識，東部邊界北起烏溪出海口，沿著八卦山台地與沖積扇平原之交界處延伸至二水隘口處，再向南延伸至斗六丘陵與沖積扇平原交界處，邊界以東之區域為台地或丘陵地形，有地下水流入補注。南部邊界以北港溪為界，向東延伸至斗六丘陵與東邊界交接，其邊界因與地下水之等值線平行，為無流量邊界；濁水溪沖積扇之各含水層向西延展入海域後，均逐漸尖滅而封閉於阻水層中，亦為無流量邊界。

4.3 濁水溪沖積扇範圍內之抽水井資料分析

為推估濁水溪沖積扇範圍內之灌溉抽水量，須先針對濁水溪沖積扇範圍內之抽水井資料進行整理，依照不同類型水井之用電量推估模式進行抽水量之估算。首先將濁水溪沖積扇範圍內抽水井依據用水標的將水井分為灌溉用水井與非灌溉用水井，而灌溉用水井可依水權登記資料再分為非水利會水井與水利會水井，其中水利會水井之抽水量為水利會所估算之月抽水量，非水利會水井再依是否具有完整特性資料、是否有用電量紀錄、用電量是否異常、馬達馬力是否大於 7.5HP 等篩選因子，將非水利會水井區分為非大馬力水井、大馬力水井以及缺漏資料水井，三種類別之水井分別依照該類別之推估模式與推估法進行抽水量之估算。

本研究整理濁水溪範圍內各標的水井之資料，依照用水標的分為灌溉用水井與非灌溉用水井，非灌溉用水井包含工業、民生、養殖、畜牧及其他等，而灌溉用水井中再依據水權登記分為水利會水井與非水利會水井。

於用電量可信度分析上，本研究參考「2012 年台灣地區用水統計年報彙編」計畫，針對農業灌溉用電量，利用常態分佈給定一個信賴區間，凡超過此限者視為異常值剔除。本研究常態採用 99.7% 之信賴區間為標準，即 $p(|x - \mu| > 3\sigma) \leq 0.003$ (x 為該筆用電量紀錄資料、 μ 為全部用電量記錄資料之平均值、 σ 為全部用電量紀錄資料之標準差)，將位於此範圍外之用電量資料視為不合理用電量，併入缺漏水井資料中。

經過上述篩選與分析機制，再搭配水井特性資料，得到濁水溪沖積扇範圍內各標的約 21 萬口抽水井之分析結果，如表 4-3 所示，灌溉用水井約有 179,182 口，工業用水井中約有 589 口民生用水井約有 18,574 口，養殖用水井約有 7,526 口，畜牧用水井約有 7,250 口，其他用水井約有 943 口；其中非大馬力水井共計 209,523 口，大馬力水井共計 2,565 口，缺漏資料水井共計 1,366 口，水利會水井(灌溉用水

井)共計 610 口，各標的水井位置如圖 4-3~圖 4-8 所示。

表 4-3 濁水溪沖積扇範圍內之水井口數分析結果



| | 非大馬力水井 | 大馬力水井 | 缺漏資料水井 | 水利會水井 | 合計 |
|----|---------|-------|--------|-------|---------|
| 灌溉 | 176,919 | 682 | 971 | 610 | 179,182 |
| 工業 | 566 | 20 | 3 | - | 589 |
| 民生 | 18,392 | 43 | 139 | - | 18,574 |
| 養殖 | 5,736 | 1,624 | 166 | - | 7,526 |
| 畜牧 | 7,006 | 168 | 76 | - | 7,250 |
| 其他 | 904 | 28 | 11 | - | 943 |
| 合計 | 209,523 | 2,565 | 1,366 | 610 | 214,064 |

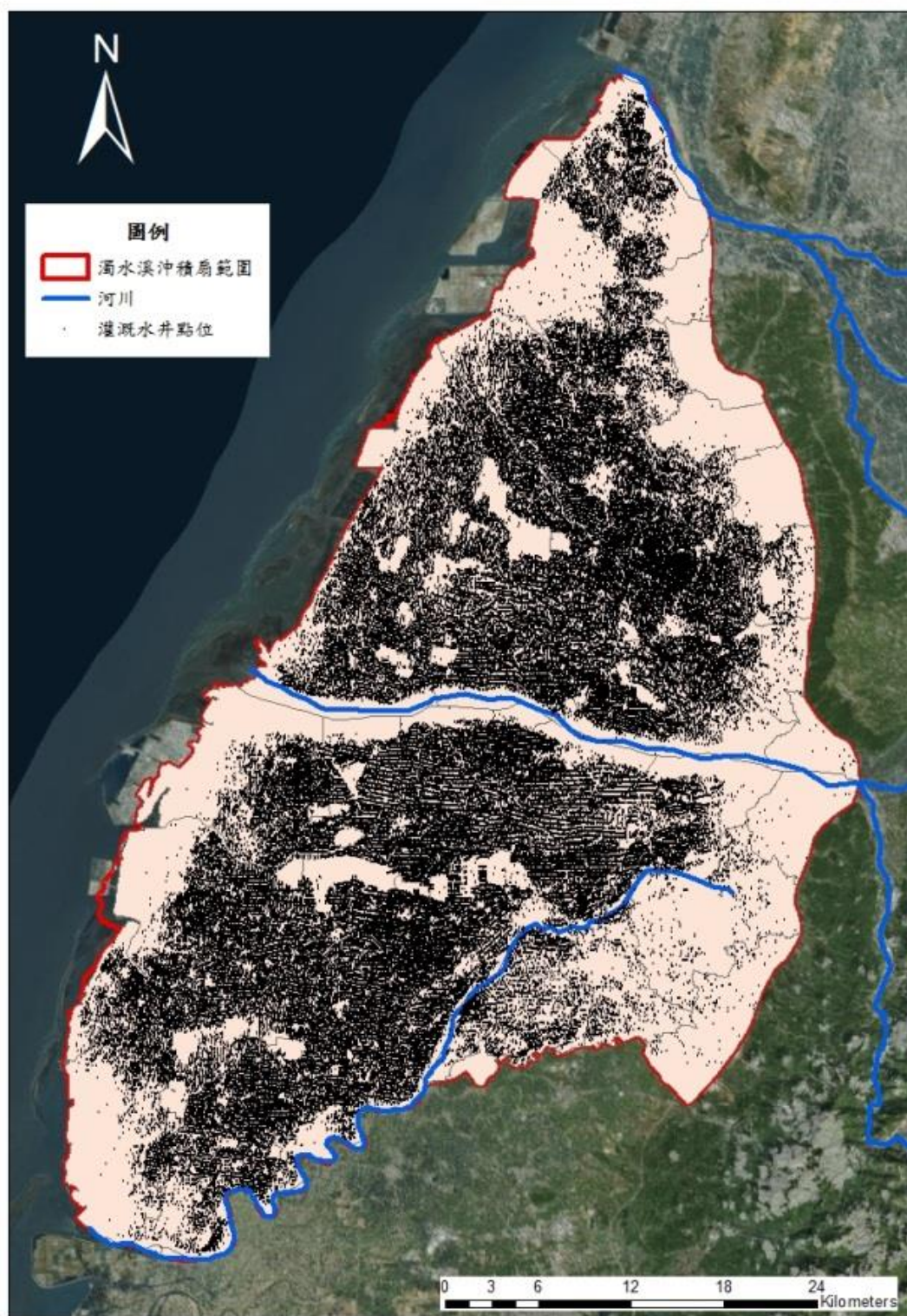


圖 4-3 灌溉水井位置分布

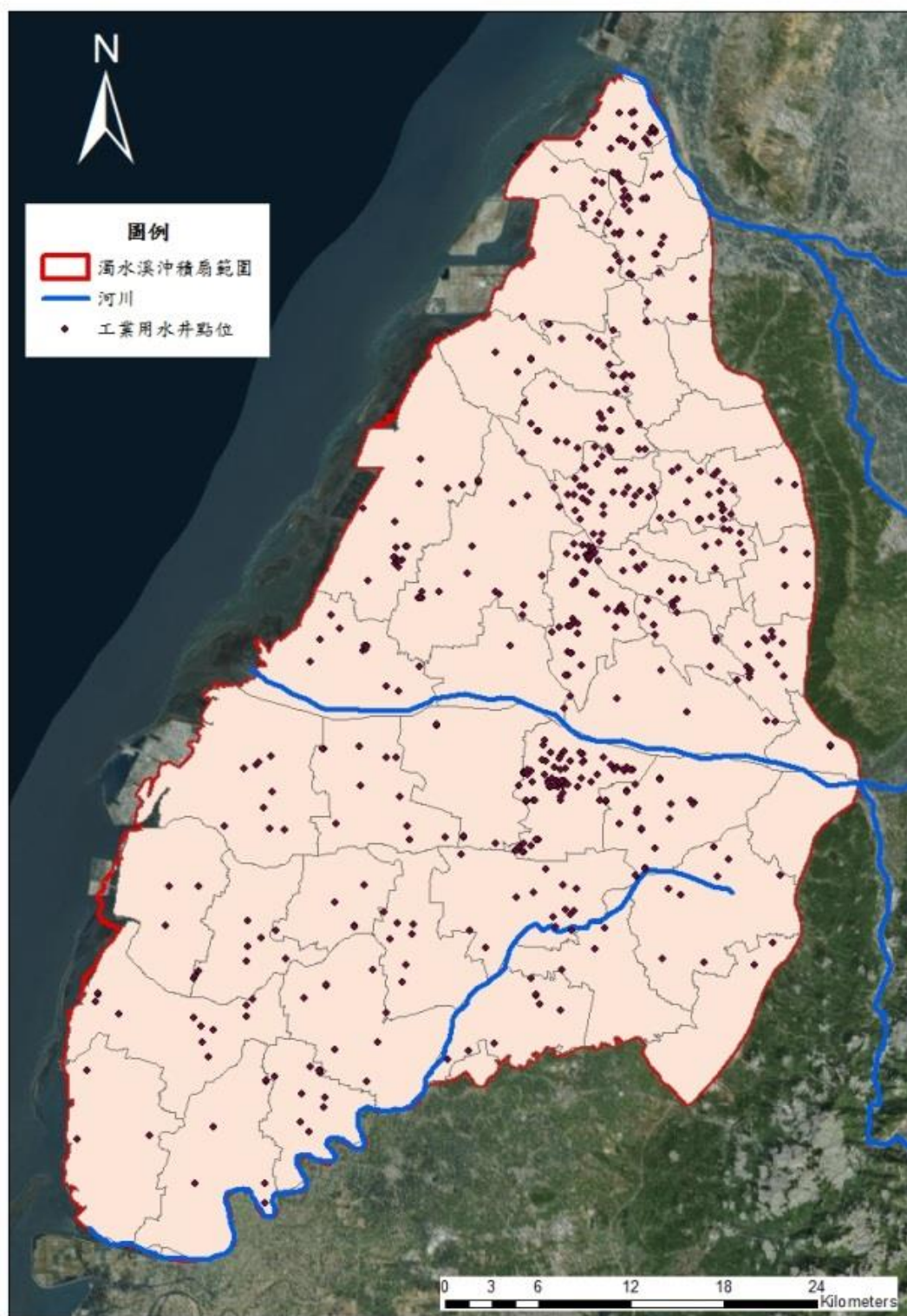


圖 4-4 工業用水井位置分布

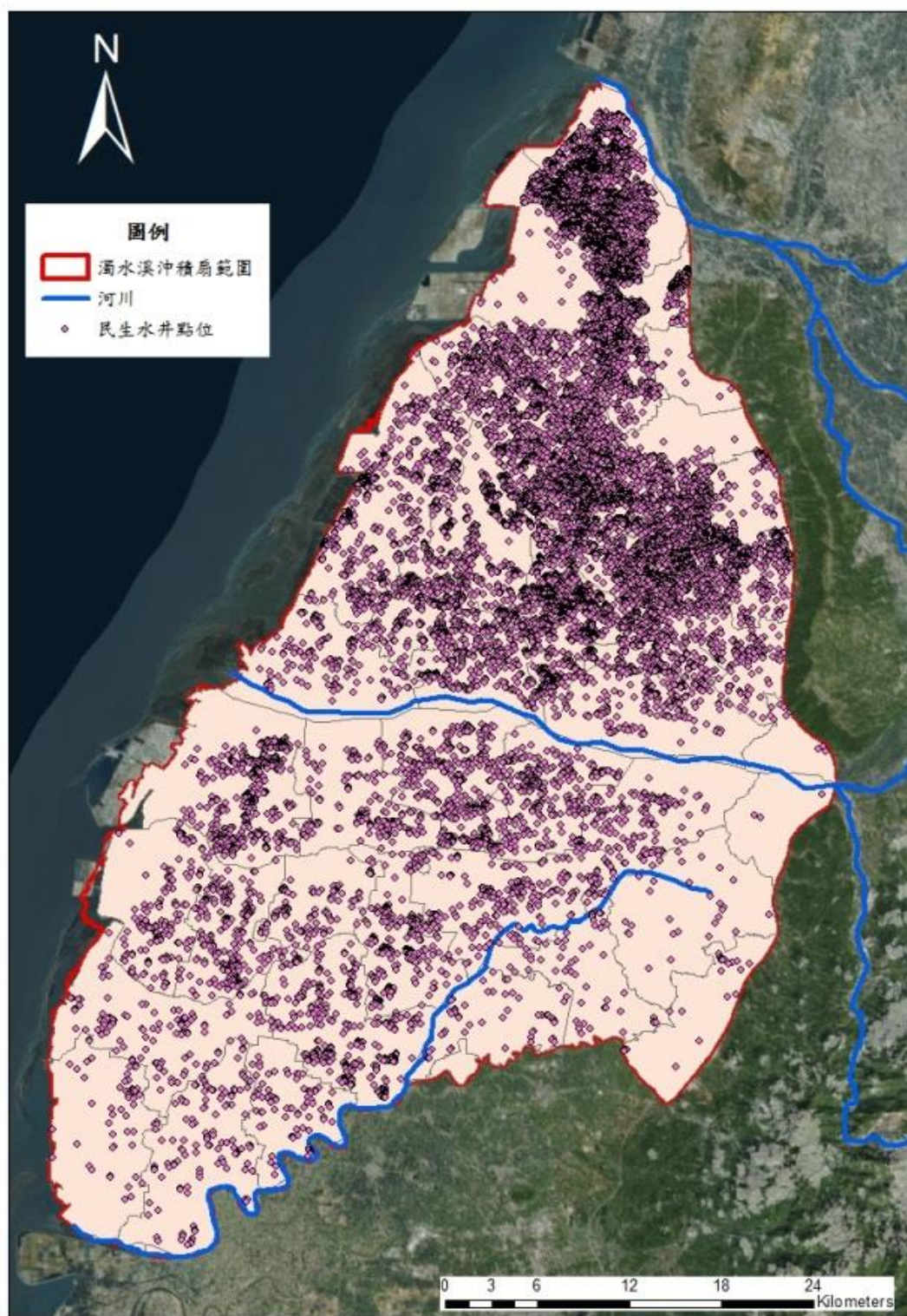


圖 4-5 民生水井位置分布

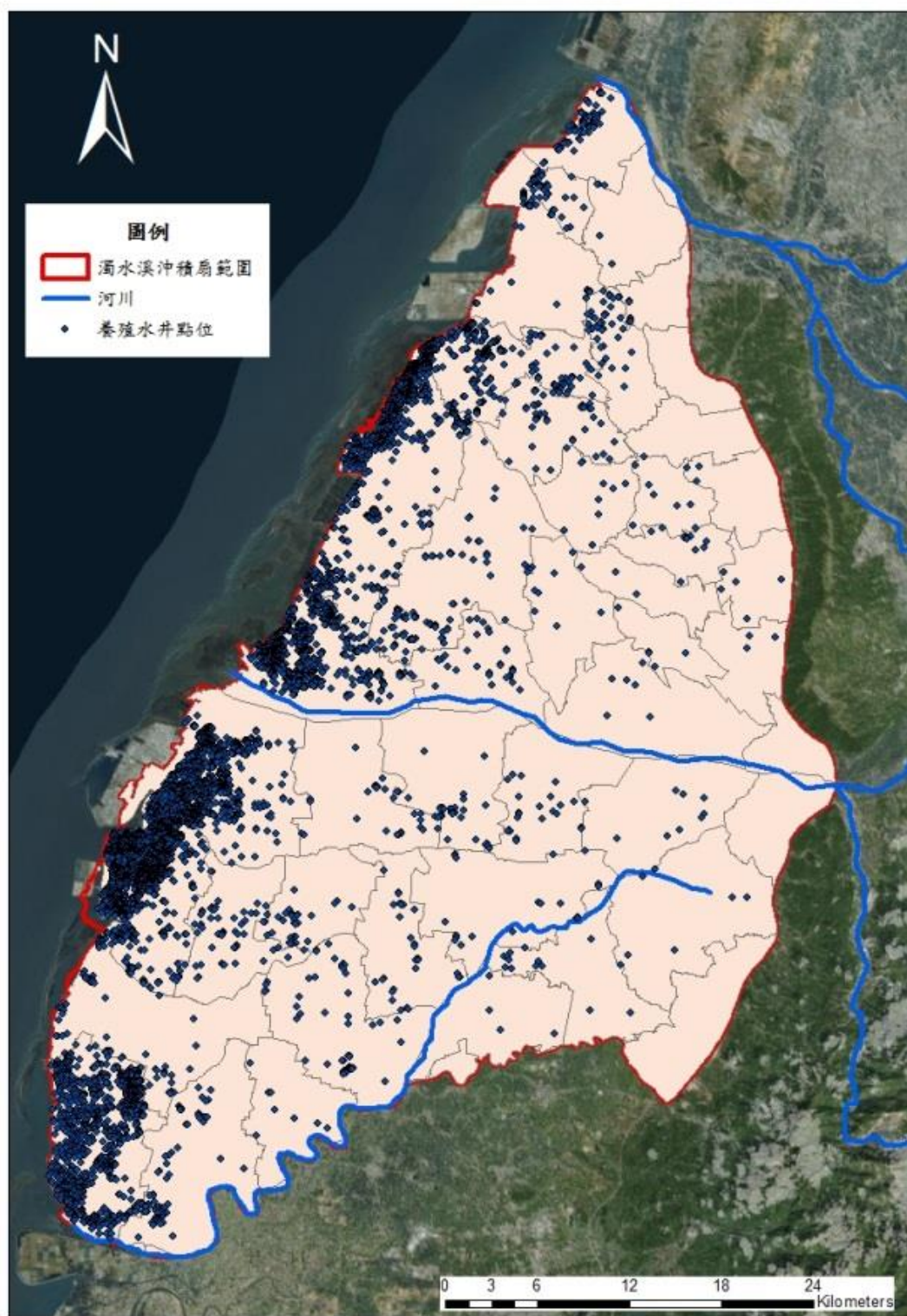


圖 4-6 養殖水井位置分布



圖 4-7 畜牧水井位置分布

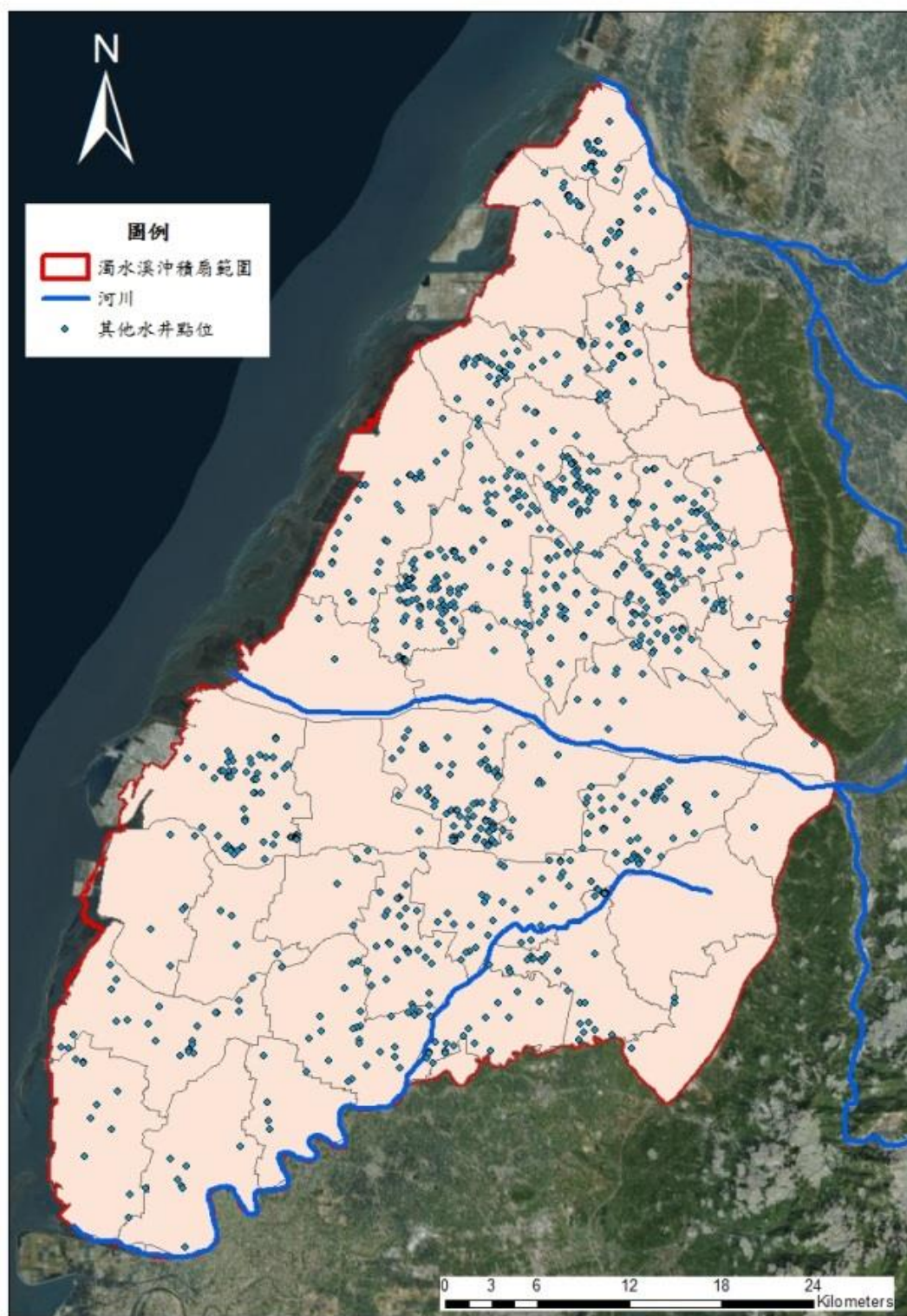


圖 4-8 其他水井位置分布

4.4 用電量推估模式應用

為推估濁水溪沖積扇範圍內之抽水量，須先針對濁水溪沖積扇範圍內之抽水井資料進行整理，依照不同類型水井之用電量推估模式進行抽水量之估算，其流程圖如圖 4-9 所示。首先將濁水溪沖積扇範圍內抽水井依據用水標的將水井分為灌溉用水井與非灌溉用水井，而灌溉用水井可依水權登記資料再分為非水利會水井與水利會水井，其中水利會水井之抽水量為水利會所估算之月抽水量，非水利會水井再依是否具有完整特性資料、是否有用電量紀錄、用電量是否異常、馬達馬力是否大於 7.5HP 等篩選因子，將非水利會水井區分為非大馬力水井、大馬力水井以及缺漏資料水井，三種類別之水井分別依照該類別之推估模式與推估法進行抽水量之估算。

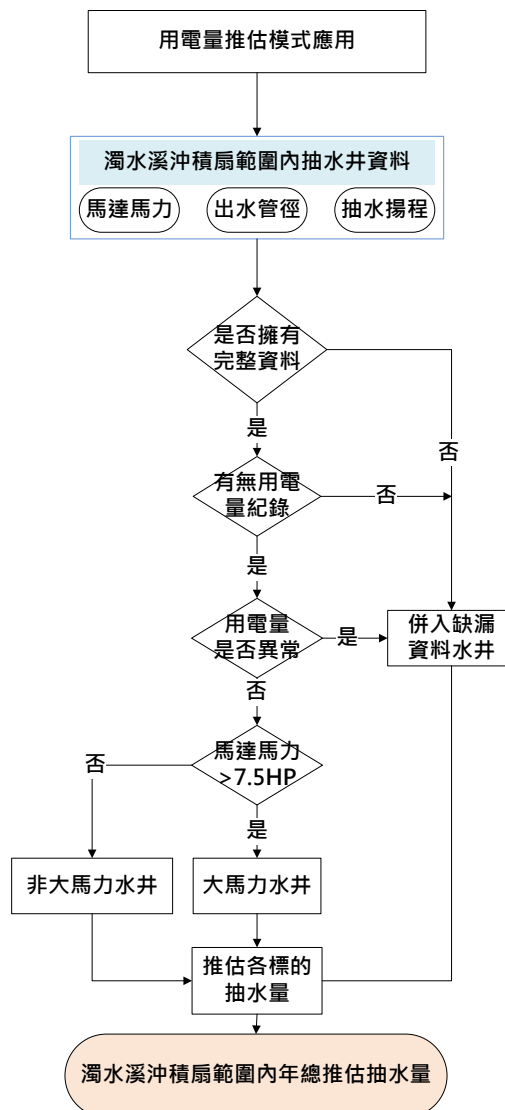


圖 4-9 用電量推估模式應用流程圖

4.4.1 分類組數之探討

抽水效率之分類方法採用 MacQueen(1967)提出之 K-means 聚類法進行分類，K-means 聚類法之目的為將n個資料點劃分至k個聚類中，使得每個資料點都屬於離他最近之均值(即聚類中心)對應的聚類，以此作為聚類的標準，其目標函數為使各分類中之資料點與該聚類中心距離平方和為最小，即式 4-1 所示：

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad (4-1)$$

其中，k 為群集個數， S_i 為第 i 個聚類， x_j 為第 j 筆輸入向量， μ_i 為第 i 個群集中心(向量)等於聚類 S_i 中所有點的均值。

在進行聚類分析之前須先給定分類數目 k，聚類過程中模式會依據分類數目來搜尋使目標函數值為最小值之 k 個決策變數 μ_i ，隨著分類數目 k 的增加，其分類結果之目標函數值也會隨之降低，相對的各分類資料數也會減少，由於在完成抽水效率分類後尚須進行分類非線性推估模式之參數檢定，為使參數檢定之結果具有代表性，因此本研究以各分類資料數大於 30 筆，做為決定分類數目 k 之依據。因本研究係利用 2012 及 2014 年彰雲地區 40 口試驗水井資料進行抽水效率。本研究利用 Matlab(2013a)程式之內建函式進行 40 口試驗水井共 256 筆月抽水效率之 K-means 聚類分析，為使各分類資料均大於 30 筆，以下針對分類組數 k=3~5 進行試誤並與，以挑選出最適宜之分類組數 k，並與不分類推估模式進行比較。



1. 依抽水效率分為 3 組(k=3)

利用 Matlab(2013a)程式之內建函式進行彰雲地區 40 口試驗水井共 256 筆月抽水效率之 K-means 聚類分析，分類數目 k=3 時，分類結果如表 4-4，抽水量與用電量分布如圖 4-10 所示。

表 4-4 2012 年及 2014 年試驗水井之月抽水效率分類結果(k=3 時)

| 分類 | 資料筆數 | 抽水效率 PE(噸/度) |
|----|------|--------------|
| 1 | 69 | 11.60~19.82 |
| 2 | 105 | 6.38~11.60 |
| 3 | 82 | 0.21~6.38 |
| 合計 | 256 | - |

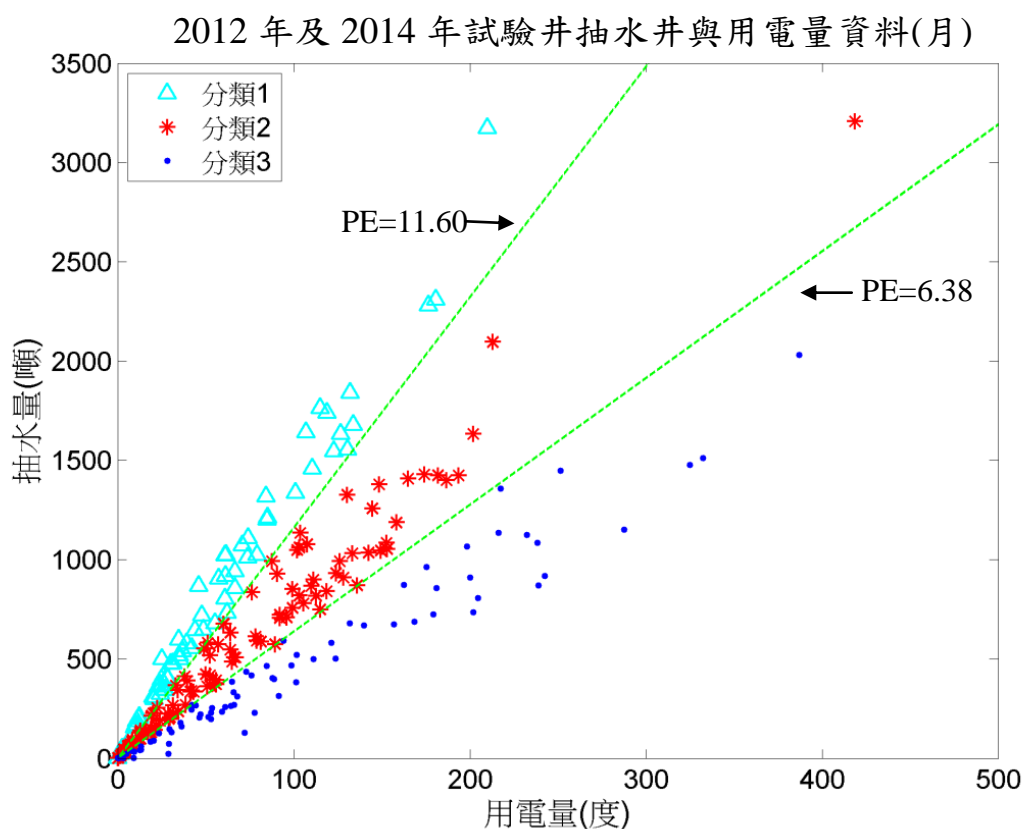


圖 4-10 2012 年及 2014 年試驗井抽水量與用電量分布圖(k=3 時)



抽水量(噸)

2. 依抽水效率分為 4 組(k=4)

利用 Matlab(2013a)程式之內建函式進行彰雲地區 40 口試驗水井共 256 筆月抽水效率之 K-means 聚類分析，分類數目 k=4 時，分類結果如表 4-5，抽水量與用電量分布如圖 4-11 所示。

表 4-5 2012 年及 2014 年試驗水井之月抽水效率分類結果(k=4 時)

| 分類 | 資料筆數 | 抽水效率 PE(噸/度) |
|----|------|---------------|
| 1 | 46 | 13.47 ~ 19.82 |
| 2 | 52 | 9.66 ~ 13.47 |
| 3 | 83 | 5.88 ~ 9.66 |
| 4 | 75 | 0.21 ~ 5.88 |
| 合計 | 256 | - |

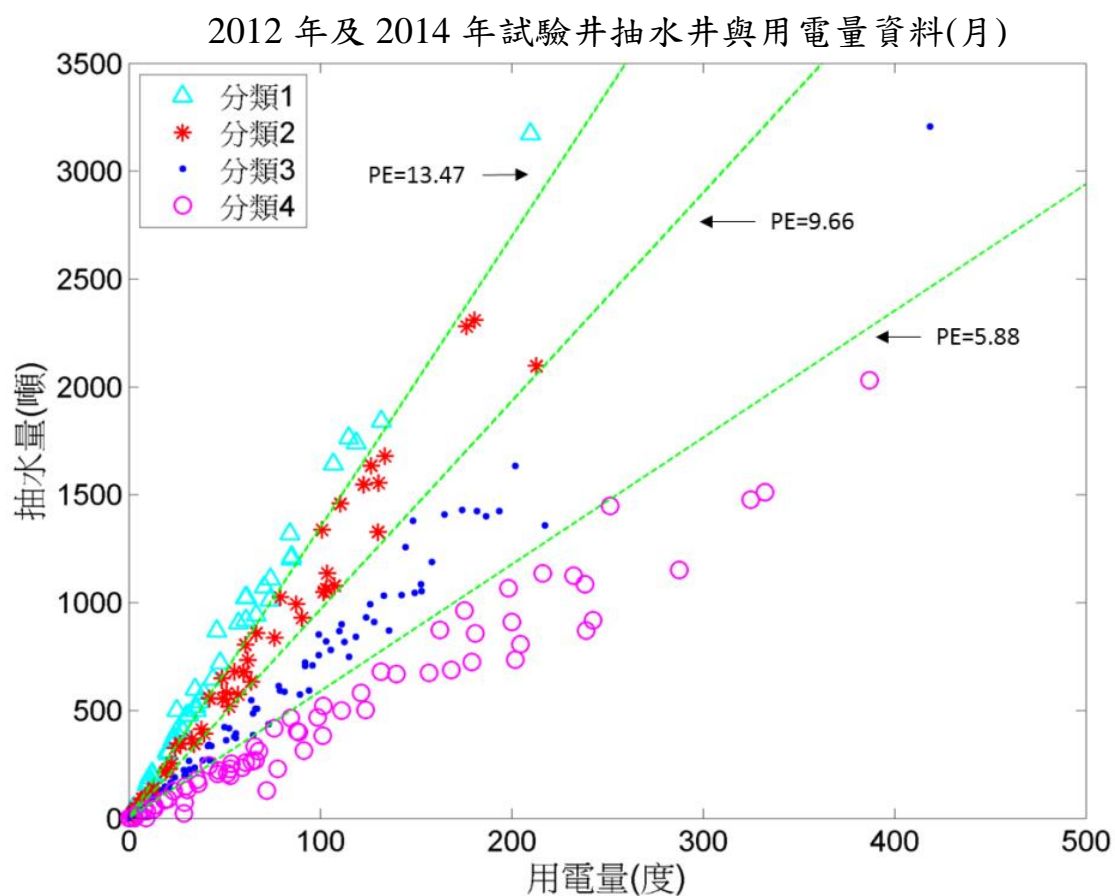


圖 4-11 2012 年及 2014 年試驗井抽水量與用電量分布圖(k=4 時)

3. 依抽水效率分為 5 組(k=5)

利用 Matlab(2013a)程式之內建函式進行彰雲地區 40 口試驗水井共 256 筆月抽水效率之 K-means 聚類分析，分類數目 k=5 時，分類結果如表 4-6，抽水量與用電量分布如圖 4-12 所示。

表 4-6 2012 年及 2014 年試驗水井之月抽水效率分類結果(k=5 時)

| 分類 | 資料筆數 | 抽水效率 PE(噸/度) |
|----|------|--------------|
| 1 | 29 | 14.94~19.82 |
| 2 | 37 | 12.09~14.94 |
| 3 | 37 | 8.85~12.09 |
| 4 | 80 | 5.73~8.85 |
| 5 | 73 | 0.21~5.73 |
| 合計 | 256 | - |

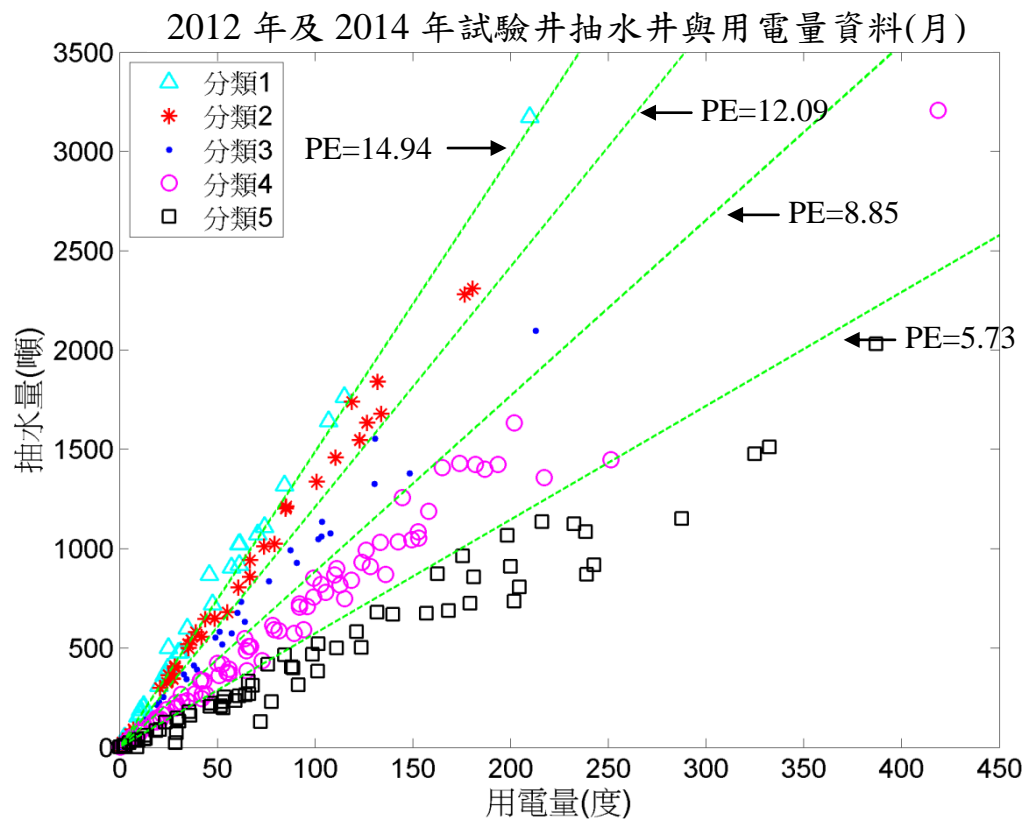


圖 4-12 2012 年及 2014 年試驗井抽水量與用電量分布圖(k=5 時)



4.4.2 各分類(k=3~5)之非線性用電量推估抽水量模式

本研究採用所建立之非線性推估模式，採用之電量資料為月電量紀錄，因此將原本以日為單位統計的資料改為月計資料，可更提升濁水溪沖積扇範圍內抽水量推估之合理性。

由前述所得之抽水效率分類結果，利用 2012 及 2014 年試驗水井資料，針對四種分類之抽水量推估模式分別進行參數檢定，本研究用以參數檢定之優選模式為一非線性規劃(Non-Linear Programing, NLP)模式，乃採用 Lingo11 套裝軟體進行求解，得到各分類之非線性推估模式參數 a 、 b 、 c 與 d 如表 4-7~表 4-9 所示，此外為進行比較，本研究亦推求不分類之抽水量推估模式的參數，其參數比較詳表 4-7~表 4-9。

表 4-7 非線性推估模式之參數檢定結果(k=3 時)

| 分類 | 資料筆數 | 抽水效率 | a | b | c | d |
|-------------|------|--------------|-------|------|------|------|
| 1 | 69 | 11.60~19.82 | 16.24 | 0.01 | 0.01 | 0.13 |
| 2 | 105 | 6.38~11.60 | 8.82 | 0.02 | 0.10 | 0.16 |
| 3 | 82 | 0.21~6.38 | 3.94 | 0.01 | 0.21 | 0.03 |
| 不分類 推估模式 | 256 | 0.21 ~ 19.82 | 2.98 | 0.01 | 1.07 | 0.23 |

表 4-8 非線性推估模式之參數檢定結果(k=4 時)

| 分類 | 資料筆數 | 抽水效率 | a | b | c | d |
|-------------|------|---------------|-------|------|------|------|
| 1 | 46 | 13.47 ~ 19.82 | 14.59 | 0.01 | 0.05 | 0.05 |
| 2 | 52 | 9.66 ~ 13.47 | 5.48 | 0.13 | 0.49 | 0.01 |
| 3 | 83 | 5.88 ~ 9.66 | 8.76 | 0.02 | 0.01 | 0.12 |
| 4 | 75 | 0.21 ~ 5.88 | 4.30 | 0.02 | 0.15 | 0.07 |
| 不分類 推估模式 | 256 | 0.21 ~ 19.82 | 2.98 | 0.01 | 1.07 | 0.23 |

表 4-9 非線性推估模式之參數檢定結果(k=5 時)

| 分類 | 資料筆數 | 抽水效率 | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> |
|-------------|------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 29 | 14.94~19.82 | 15.21 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 2 | 37 | 12.09~14.94 | 13.46 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 3 | 37 | 8.85~12.09 | 6.59 | 0.10 | 0.31 | 0.02 |
| 4 | 80 | 5.73~8.85 | 8.86 | 0.01 | 0.01 | 0.14 |
| 5 | 73 | 0.21~5.73 | 5.04 | 0.01 | 0.06 | 0.10 |
| 不分類 推估模式 | 256 | 0.21 ~ 19.82 | 2.98 | 0.01 | 1.07 | 0.23 |

將已完成檢定之模式參數代入分類抽水量推估模式以及不分類抽水量推估模式中，並計算 2012 年及 2014 年彰雲地區 40 口試驗井之抽水量估計值，將抽水量估計值與實測抽水量數據之分布繪製如圖 4-13 及圖 4-14 所示。此外為了評估模式之優劣，本研究採用相關係數(Correlation Coefficient, CC)、效率係數(Coefficient of Efficiency, CE)以及均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)等評比指標來進行比較，CC 值越大表示模式估計值與實測值之相關性越高，最大值為 1；CE 值越趨近於 1 表示模式估計值與實測值越吻合；RMSE 值越小則表示模式估計值越準確，上述評比指標分別以式 4-2、式 4-3 及式 4-4 表示如下：

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \overline{Q_1})(\hat{Q}_i - \overline{\hat{Q}_1})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \overline{Q_1})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - \overline{\hat{Q}_1})^2}} \quad (4-2)$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \overline{Q_1})^2} \quad (4-3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n}} \quad (4-4)$$

上列各式中， $\overline{Q_1}$ 為各筆資料實測月抽水量之平均值； $\overline{\hat{Q}_1}$ 為各筆資料估計月抽水量之平均值；n為資料筆數。依據實測及估計抽水量計算比較不同模式之評比指標，分類與不分類推估模式之評比指標計算結果如表 4-10 所示。

由圖 4-13 之左圖可看到不分類抽水量模式之估計抽水量資料較分散，有許多抽水量估計值較偏離 45 度線，而經過分 3 類所求得之抽水量估計值分布較趨近於 45 度線(圖 4-13 之右圖)，而比較圖 4-13 右圖及圖 4-14 之左右二圖可發現，分類越多組則分布越趨近於 45 度線，表示分類抽水量推估模式之估計結果為較佳，且分越多類之結果越佳。

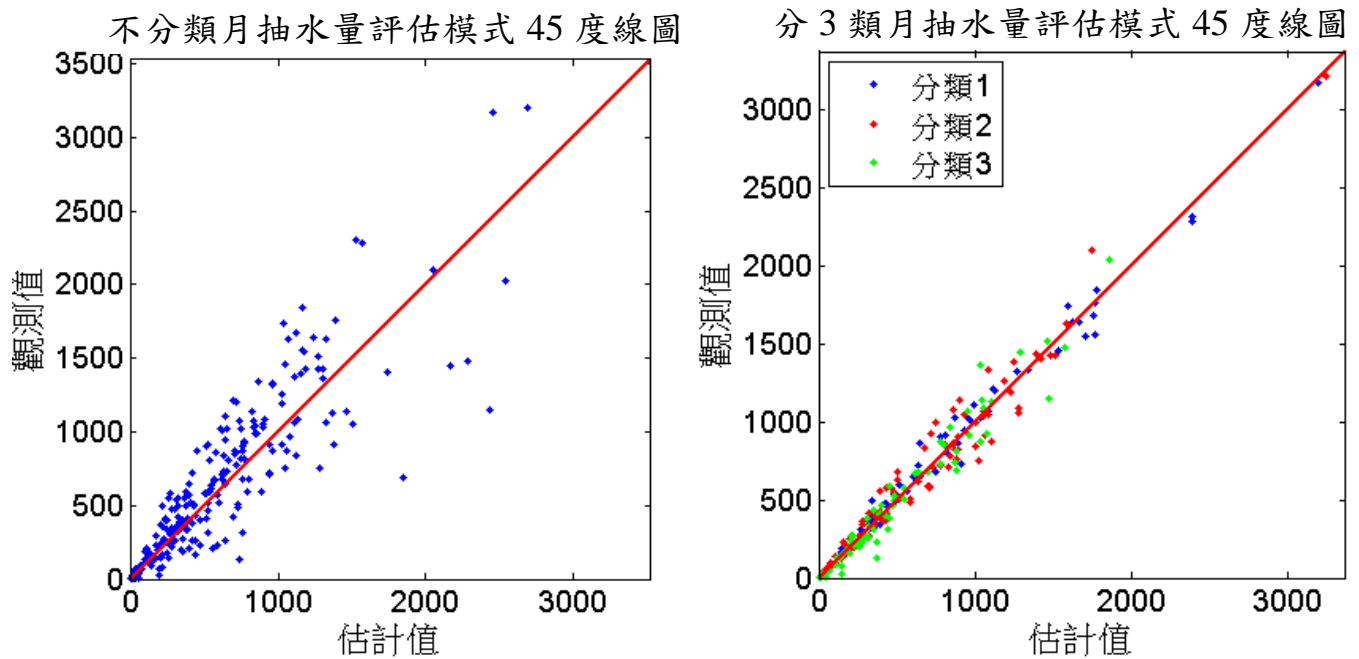


圖 4-13 不分類與分 3 類模式估計抽水量結果與實測抽水量比較圖

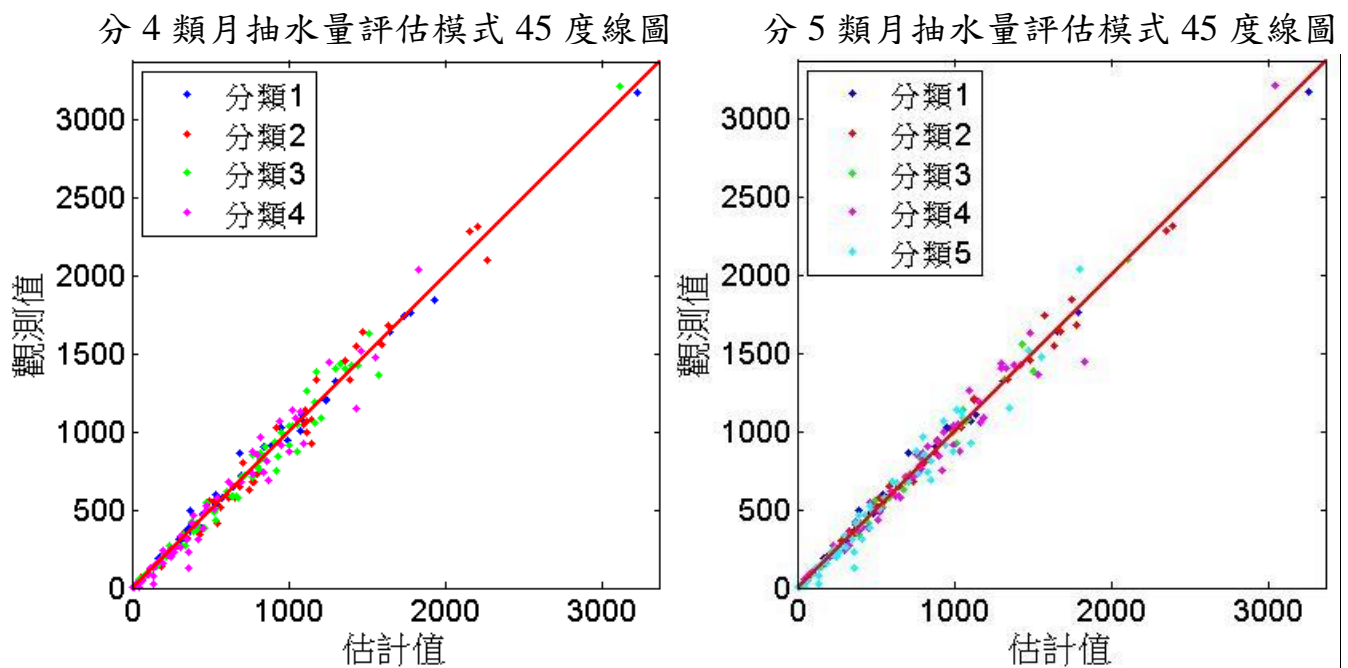


圖 4-14 分 4 類與分 5 類模式估計抽水量結果與實測抽水量比較圖

此外由表 4-10 可見抽水量評估模式之相關係數(CC)在經過分類後由原本之 0.8911 增加到 0.9929，而效率係數(CE)也從原本之 0.7883 提升至 0.9858，可表示先進行抽水效率分類之推估模式能獲得更準確的抽水量推估結果，且分越多類所得到之結果越佳。

表 4-10 不分類與分類之推估模式評比結果

| 評比指標 | 不分類月抽水量評估模式 | 分 3 類月抽水量評估模式 | 分 4 類月抽水量評估模式 | 分 5 類月抽水量評估模式 |
|------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| CC | 0.8911 | 0.9869 | 0.9920 | 0.9929 |
| CE | 0.7883 | 0.9738 | 0.9840 | 0.9858 |
| RMSE | 252.71 | 88.87 | 69.57 | 65.46 |

※註：RMSE 之單位為立方公尺(同抽水量單位)

綜整上述結果，雖然分 5 類月抽水量評估模式所得之結果最佳，但分 5 類並非所有聚類資料數均大 30 筆(分類 1 僅 29 筆資料)，參數檢定之結果恐不具代表性，且依據表 4-10 得知，組數由分 3 類增加至分 4 類時，CC 及 CE 增加之幅度大於由分 4 類增加至分 5 類，RMSE 減少之幅度亦同；故可知由分 4 類增加至分 5 類時所提升之準確度幅度不大，且因分 5 類時因分類 1 資料過少，參數檢定之結果恐不具代表性，故採用 $k=4$ ，作為本研究之分類組數。

4.4.3 濁水溪沖積扇灌溉抽水量推估結果

將三種類神經抽水特性分類模式之 85 筆驗證資料分類結果，分別應用至前述已建立之分類非線性模式推估其抽水量，並將相同之 85 筆驗證資料代入不分類之抽水量推估模式中計算，可得到圖 4-15~圖 4-18 之實測抽水量與估計抽水量關係圖，四種模式(包含不分類推估模式)估計結果之評比指標列表 4-11 中。

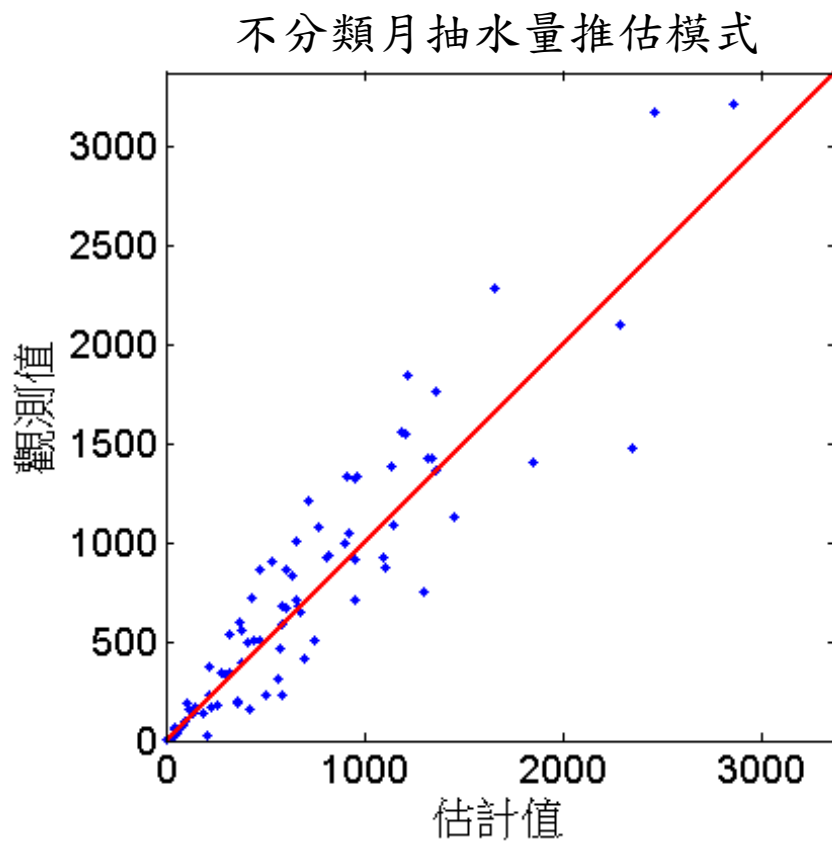


圖 4-15 不分類模式之驗證結果

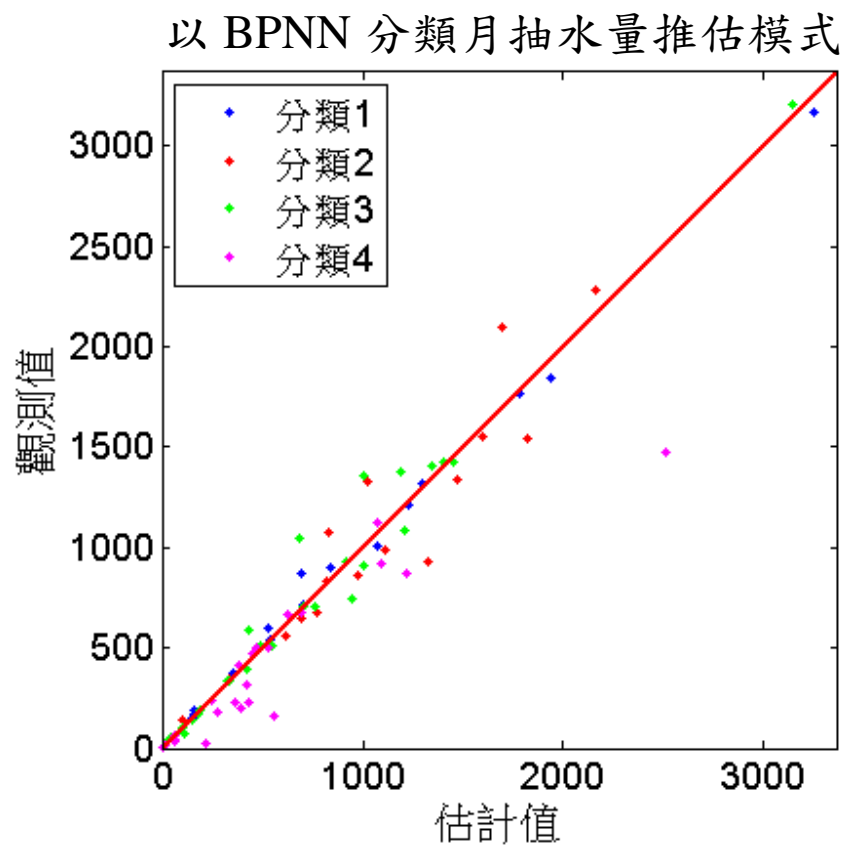


圖 4-16 倒傳遞類神經(BPNN)抽水特性分類模式之驗證結果

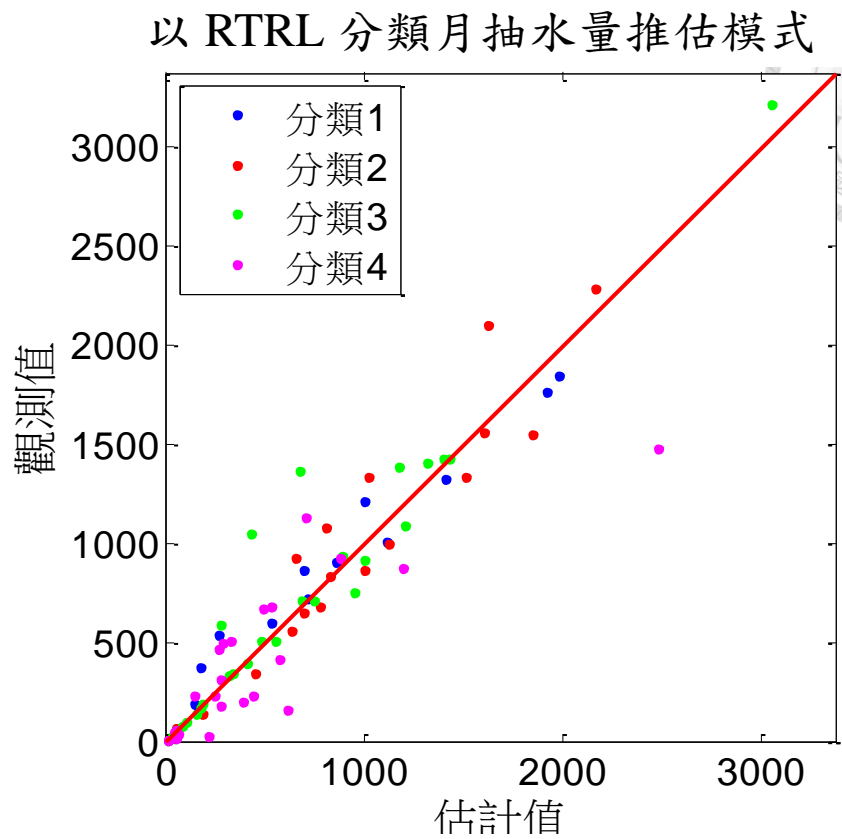


圖 4-17 即時回饋學習演算法(RTRL)抽水特性分類模式之驗證結果

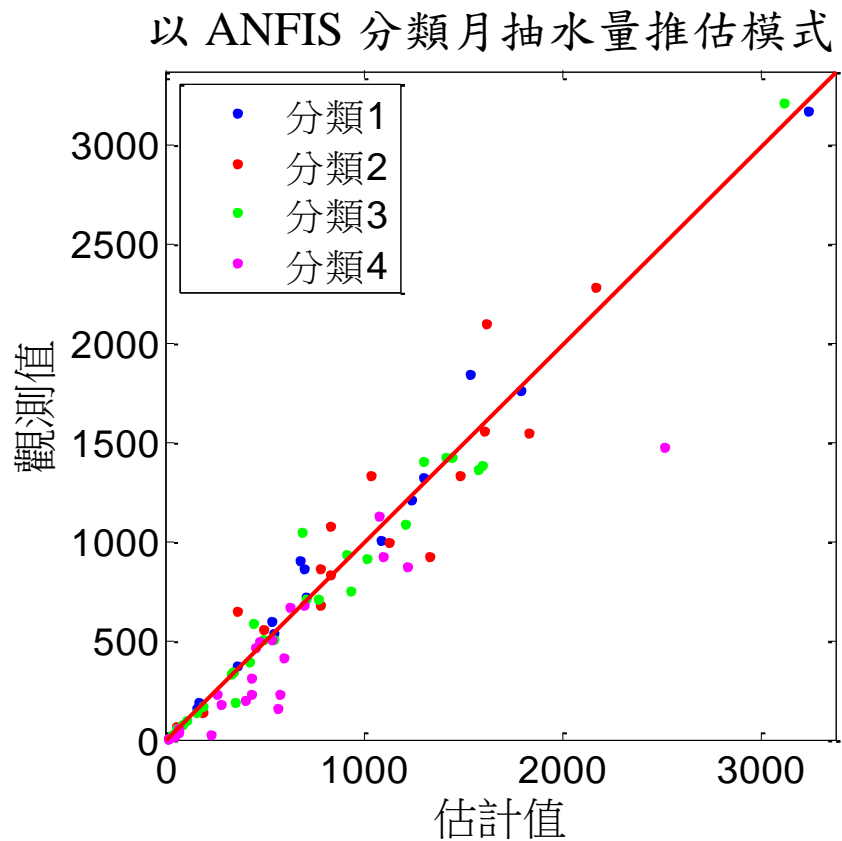


圖 4-18 調適性網路模糊推論系統(ANFIS)抽水特性分類模式之驗證結果

由表 4-11 可看出經過分類之抽水量評估模式之相關係數 CC 值、與效率係數 CE 值皆較不分類抽水量評估模式大、均方根誤差 RMSE 值也較不分類之結果來的小，可以得知先將試驗水井分類後再各別以非線性推估模式估算灌溉抽水量，能夠較準確的估算抽水量；且比較本研究所發展之倒傳遞類神經分類模式、即時回饋學習演算法抽水特性分類模式及調適性網路模糊推論系統抽水特性分類模式，以倒傳遞類神經(BPNN)分類模式最佳、即時回饋學習演算法(RTRL)抽水特性分類模式次之，調適性網路模糊推論系統(ANFIS)抽水特性分類模式較差。

表 4-11 分類與不分類月抽水量推估模式驗證之評比結果

| 評比指標 | 不分類月抽水量推估模式 | 以 BPNN 分類月抽水量推估模式 | 以 RTRL 分類月抽水量推估模式 | 以 ANFIS 分類月抽水量推估模式 |
|------|-------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| CC | 0.9263 | 0.9565 | 0.9498 | 0.9437 |
| CE | 0.8420 | 0.9015 | 0.8945 | 0.8829 |
| RMSE | 264.25 | 208.68 | 215.91 | 227.51 |

※註：RMSE 之單位為立方公尺(同抽水量單位)

綜觀三種類神經之分類驗證評比結果，以 BPNN 最佳、RTRL 次之、ANFIS 較差、不分類模式最差。

模式訓練及驗證之分類結果符合程度如表 4-12 至表 4-14 所示，其中「分類正確」表示類神經模式分類與 K-means 分類結果為相同的資料，「分類錯誤」則為分類結果不同者，而「分類錯誤(鄰近)」表示類神經模式分類結果與 K-means 分類結果不同，但在相鄰之分類上，例如實際 K-means 分類結果為類別 2，而類神經模式分類至類別 1 或類別 3。由表 4-12 之結果可知本研究建置之倒傳遞類神經分類(BPNN)模式在訓練時分類的準確率為 77.2%，驗證時模式準確度為 61.2%；由表 4-13 之結果可知本研究建置之即時回饋學習演算法(RTRL)在訓練時分類的準確率為 62.0%，驗證時模式準確度為 63.5%；由表 4-14 之結果可知本研究建置之調適性網路模糊推論系統(ANFIS)在訓練時分類的準確率為 69.0%，驗證時模式準確度為 67.0%。

由表 4-12 至表 4-14 可知，即使是分類錯誤的資料，大部分仍分在鄰近的分類上，其驗證時與分類正確資料合計比例均達 94.1%，故指出後續在進行未知抽水效率之水井分類時，以類神經抽水特性分類模式替代 K-means 聚類方法之使用，尚

具一定之可信度，其中訓練時分類的準確度，以 BPNN 結果最佳、ANFIS 次之、RTRL 較差；其中驗證時分類的準確度，以 ANFIS 結果最佳、BPNN 次之、RTRL 較差；如比較驗證及訓練分類結果正確之總和則以 BPNN 最佳、ANFIS 次之、RTRL 較差。

表 4-12 倒傳遞類神經(BPNN)分類模式訓練與驗證之分類結果正確性

| | 資料筆數 | | | | 機率 | | |
|----|----------|----------|--------------|-----|----------|----------|-------------|
| | 分類 正確 | 分類 錯誤 | 分類錯誤 (鄰近) | 總計 | 分類 正確 | 分類 鄰近 | 分類正確 及鄰近 |
| 訓練 | 132 | 39 | 34 | 171 | 77.2% | 19.9% | 97.1% |
| 驗證 | 52 | 33 | 28 | 85 | 61.2% | 32.9% | 94.1% |

表 4-13 即時回饋學習演算法(RTRL)分類模式訓練與驗證之分類結果正確性

| | 資料筆數 | | | | 機率 | | |
|----|----------|----------|--------------|-----|----------|----------|-------------|
| | 分類 正確 | 分類 錯誤 | 分類錯誤 (鄰近) | 總計 | 分類 正確 | 分類 鄰近 | 分類正確 及鄰近 |
| 訓練 | 106 | 65 | 53 | 171 | 62.0% | 31.0% | 93% |
| 驗證 | 54 | 31 | 26 | 85 | 63.5% | 30.6% | 94.1% |

表 4-14 調適性網路模糊推論系統(ANFIS)分類模式訓練與驗證之分類結果正確性

| | 資料筆數 | | | | 機率 | | |
|----|----------|----------|--------------|-----|----------|----------|-------------|
| | 分類 正確 | 分類 錯誤 | 分類錯誤 (鄰近) | 總計 | 分類 正確 | 分類 鄰近 | 分類正確 及鄰近 |
| 訓練 | 118 | 53 | 44 | 171 | 69.0% | 25.7% | 94.7% |
| 驗證 | 57 | 28 | 23 | 85 | 67.0% | 27.1% | 94.1% |

本研究將所建立之分類非線性推估模式，結合台電公司所提供 2012 年 1 月至 2016 年 4 月之用電量資料，推估每一口水井之抽水量，並且加總估算濁水溪沖積扇範圍內非大馬力水井灌溉抽水量、大馬力水井灌溉抽水量與缺漏水井灌溉抽水量，以下就三種類神經網路分類模式所推估之抽水量分別敘述，其推估結果整理如附錄一所示，此外也整理彰化與雲林農田水利會於 2012 年至 2016 年 6 月之抽



水量紀錄資料，列於附錄一各表倒數第二列。

1. 倒傳遞類神經(BPNN)抽水特性分類模式：

倒傳遞類神經(BPNN)抽水特性分類模式所估算之灌溉抽水量整理如附錄一所示，可得知 2012 年灌溉抽水量約為 14.51 億噸，2013 年灌溉抽水量約為 14.38 億噸，2014 年灌溉抽水量約為 17.18 億噸，2015 年灌溉抽水量約為 17.06 億噸，2016 年 1 月至 4 月灌溉抽水量約為 5.15 億噸。

2. 即時回饋學習演算法(RTRL)抽水特性分類模式：

即時回饋學習演算法(RTRL)抽水特性分類模式所估算之灌溉抽水量整理如附錄一所示，可得知 2012 年灌溉抽水量約為 21.41 億噸，2013 年灌溉抽水量約為 20.05 億噸，2014 年灌溉抽水量約為 20.69 億噸，2015 年灌溉抽水量約為 24.87 億噸，2016 年 1 月至 4 月灌溉抽水量約為 7.21 億噸。

3. 調適性網路模糊推論系統(ANFIS)抽水特性分類模式：

調適性網路模糊推論系統(ANFIS)抽水特性分類模式所估算之灌溉抽水量整理如附錄一所示，可得知 2012 年灌溉抽水量約為 24.97 億噸，2013 年灌溉抽水量約為 23.99 億噸，2014 年灌溉抽水量約為 24.39 億噸，2015 年灌溉抽水量約為 28.95 億噸，2016 年 1 月至 4 月灌溉抽水量約為 8.75 億噸。

三種類神經方法抽水特性分類模式所估算之年灌溉抽水量，可發現以 RTRL 及 ANFIS 分類有明顯高估之現象，如表 4-15 所示。

表 4-15 濁水溪沖積扇範圍內 2012 年~2016 年 4 月以三種類神經方法分類模式之灌溉抽水量推估結果

| 年度 | 抽水量(億噸) | | |
|--------------|-----------|-----------|------------|
| | 以 BPNN 分類 | 以 RTRL 分類 | 以 ANFIS 分類 |
| 2012 年 | 14.51 | 23.69 | 27.39 |
| 2013 年 | 14.38 | 20.05 | 23.99 |
| 2014 年 | 17.18 | 21.41 | 24.97 |
| 2015 年 | 17.06 | 24.87 | 26.99 |
| 2016 年 1~4 月 | 5.15 | 7.21 | 8.16 |

綜觀三種類神經之分類驗證評比結果及訓練與驗證之分類結果正確性，應以 BPNN 最佳、RTRL 次之、ANFIS 較差、不分類模式最差，且表 4-15 顯示以 RTRL 分類及 ANFIS 分類恐有高估情形，故本研究後續估算其他標的時以倒傳遞類神經

(BPNN)抽水特性分類模式作為分類模式。

4.4.4 各標的之抽水量

依據 4.3.2 節所分析之結果，綜觀三種類神經之分類驗證評比結果、訓練及驗證成果，應以 BPNN 最佳、RTRL 次之、ANFIS 較差；且三種類神經網路之訓練時分類準確度，以 BPNN 結果最佳、ANFIS 次之、RTRL 較差；其中驗證時分類的準確度，以 ANFIS 結果最佳、BPNN 次之、RTRL 較差；如比較驗證及訓練分類結果正確之總和則以 BPNN 最佳、ANFIS 次之、RTRL 較差。

故估算其餘標的抽水量時，採倒傳遞類神經(BPNN)抽水特性分類模式，重複上述估算步驟，推算灌溉、工業、民生、養殖、畜牧與其他等各標的之抽水量，可估算 2012 年灌溉抽水量約為 14.51 億噸、工業抽水量約為 0.23 億噸、民生抽水量約為 5.15 億噸、養殖抽水量約為 4.59 億噸、畜牧抽水量約為 4.39 億噸、其他抽水量約為 0.28 億噸，2013 年灌溉抽水量約為 14.38 億噸、工業抽水量約為 0.24 億噸、民生抽水量約為 5.28 億噸、養殖抽水量約為 4.78 億噸、畜牧抽水量約為 4.64 億噸、其他抽水量約為 0.31 億噸，2014 年灌溉抽水量約為 17.18 億噸、工業抽水量約為 0.26 億噸、民生抽水量約為 5.49 億噸、養殖抽水量約為 5.16 億噸、畜牧抽水量約為 4.90 億噸、其他抽水量約為 0.31 億噸，2015 年灌溉抽水量約為 17.06 億噸、工業抽水量約為 0.27 億噸、民生抽水量約為 5.44 億噸、養殖抽水量約為 5.12 億噸、畜牧抽水量約為 4.62 億噸、其他抽水量約為 0.31 億噸，2016 年 1 月至 4 月灌溉抽水量約為 5.15 億噸、工業抽水量約為 0.13 億噸、民生抽水量約為 1.94 億噸、養殖抽水量約為 1.78 億噸、畜牧抽水量約為 1.69 億噸、其他抽水量約為 0.13 億噸，估算之抽水量整理如表 4-16 所示。

表 4-16 各標的用水年度抽水量

單位：億噸

| | 灌溉 | 工業 | 民生 | 養殖 | 畜牧 | 其他 | 合計 |
|----------------------|-------|------|------|-------|-------|------|--------|
| 2012 年 | 14.51 | 0.23 | 5.15 | 4.59 | 4.39 | 0.28 | 29.15 |
| 2013 年 | 14.38 | 0.24 | 5.28 | 4.78 | 4.64 | 0.31 | 29.63 |
| 2014 年 | 17.18 | 0.26 | 5.49 | 5.16 | 4.90 | 0.31 | 33.3 |
| 2015 年 | 17.06 | 0.27 | 5.44 | 5.12 | 4.62 | 0.31 | 32.82 |
| 2016 年 (1 月至 4 月) | 5.15 | 0.13 | 1.94 | 1.78 | 1.69 | 0.13 | 10.82 |
| 合計 | 68.28 | 1.13 | 23.3 | 21.43 | 20.24 | 1.34 | 135.72 |

4.4.5 抽水量之時間分析

本研究所採用之用電量資料，每月僅有一筆，故所推估之抽水量為月抽水量，探討時段為 2012 年 1 月至 2016 年 4 月，統計各標的每月抽水量整理如表 4-17 及圖 4-19~圖 4-23 所示，可得知灌溉用水為每月最高之標的(灌溉用水井之數量亦遠大於其他標的之水井)，且在每年 2~4 月(枯水期)灌溉用水之抽水量更大，研判灌溉用水除了受作物灌溉期之影響外，受枯水期之影響亦甚大，在地下水管理上應特別注意 2~4 月有無密集抽水之情形並加強監控是否有超抽之情形；其餘五種標的(非灌溉)用水則較平均，隨時間變化情形較小，僅在夏季有略為提升之趨勢，研判應為夏季氣候悶熱潮濕，在生活用水需求提升，工業、畜牧及養殖用水受溫度影響甚大，故非灌溉用水抽水量於夏季時略為提升，各標的每月抽水量如圖 4-19~圖 4-23 所示，可觀察出每月抽水量之趨勢。

表 4-17 2012 年~2016 年 4 月各標的用水每月抽水量

單位：噸

| | 灌溉 | 工業 | 民生 | 養殖 | 畜牧 | 其他 |
|---------|-----------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 2012/01 | 119450562 | 1621028 | 38856779 | 34373304 | 34110978 | 1940818 |
| 2012/02 | 147952834 | 1440328 | 38292787 | 32011314 | 31426618 | 1869387 |
| 2012/03 | 159134737 | 1789311 | 39452485 | 35822296 | 32175996 | 2010699 |
| 2012/04 | 136194122 | 1521561 | 40162523 | 35288016 | 30828191 | 1981200 |
| 2012/05 | 126217793 | 1987229 | 45016835 | 37805892 | 38209958 | 2328021 |

| | 灌溉 | 工業 | 民生 | 養殖 | 畜牧 | 其他 |
|---------|-----------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 2012/06 | 118465421 | 1988812 | 49222590 | 39381490 | 41336287 | 3325196 |
| 2012/07 | 110557101 | 2563501 | 52273502 | 44988718 | 51910307 | 3039872 |
| 2012/08 | 117356874 | 2224263 | 50320835 | 42185623 | 48873766 | 2822390 |
| 2012/09 | 134295672 | 2297606 | 45300292 | 43833821 | 39909476 | 2443254 |
| 2012/10 | 120991921 | 1763831 | 40353918 | 42928755 | 30139011 | 2244758 |
| 2012/11 | 83258460 | 1874419 | 38476863 | 36197356 | 29738140 | 2298920 |
| 2012/12 | 77273014 | 1783906 | 37042884 | 34459757 | 29849974 | 2055220 |
| 2013/01 | 111860130 | 1663336 | 36856939 | 32338353 | 30297738 | 2133839 |
| 2013/02 | 149501167 | 1402265 | 37695031 | 36146835 | 32719194 | 2168223 |
| 2013/03 | 141329580 | 1674858 | 37800644 | 33630049 | 29893748 | 2138789 |
| 2013/04 | 116325847 | 1699724 | 40634588 | 36709476 | 33669051 | 2253995 |
| 2013/05 | 116461729 | 2267529 | 46067343 | 38329331 | 41902228 | 2583234 |
| 2013/06 | 128624598 | 2446249 | 53035206 | 47578764 | 54227824 | 3362907 |
| 2013/07 | 121035555 | 2401481 | 54548908 | 48687302 | 54439721 | 3230741 |
| 2013/08 | 114875949 | 2081662 | 52439046 | 47121633 | 49994847 | 3020700 |
| 2013/09 | 126591813 | 2234832 | 48026978 | 43601703 | 44069726 | 2817673 |
| 2013/10 | 119980496 | 1772818 | 41946352 | 40890187 | 31665637 | 2557818 |
| 2013/11 | 94165039 | 2096797 | 38890572 | 36403777 | 28966753 | 2554733 |
| 2013/12 | 96895971 | 1990561 | 39859955 | 36618135 | 31654939 | 2250935 |
| 2014/01 | 131371793 | 1864907 | 39060457 | 36774686 | 30343102 | 1934177 |
| 2014/02 | 152148285 | 1503669 | 37438189 | 31862318 | 26960064 | 1834809 |
| 2014/03 | 165130638 | 1878727 | 39321963 | 34091838 | 29805459 | 2057533 |
| 2014/04 | 151697647 | 1717694 | 41193334 | 39059687 | 32421308 | 2193746 |
| 2014/05 | 127227017 | 2434897 | 46393190 | 39663740 | 41936037 | 2509818 |
| 2014/06 | 135634627 | 2656864 | 54416320 | 44691229 | 50686068 | 3452561 |
| 2014/07 | 156728085 | 2933453 | 60180631 | 53397906 | 64156749 | 3775979 |
| 2014/08 | 159675032 | 2222744 | 57587795 | 51062329 | 59461475 | 3031968 |
| 2014/09 | 166510233 | 2334843 | 51729637 | 51792080 | 53785609 | 2896904 |
| 2014/10 | 147785359 | 1820310 | 43361502 | 49763436 | 35892700 | 2559170 |
| 2014/11 | 113786572 | 2169503 | 38666002 | 39330690 | 30082600 | 2629213 |
| 2014/12 | 110462209 | 2082012 | 39785505 | 44620319 | 34605284 | 2319150 |
| 2015/01 | 125474809 | 1842974 | 37845504 | 32961122 | 29625176 | 1919492 |
| 2015/02 | 171527101 | 1630509 | 38985455 | 38068775 | 30399549 | 2023540 |
| 2015/03 | 199411676 | 1979970 | 40319058 | 38952102 | 29557181 | 2274146 |
| 2015/04 | 189853916 | 1896945 | 42396839 | 45300215 | 34420426 | 2335661 |
| 2015/05 | 159372419 | 2742145 | 47190811 | 41005957 | 39976249 | 2652774 |

| | 灌溉 | 工業 | 民生 | 養殖 | 畜牧 | 其他 |
|---------|-----------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 2015/06 | 161804633 | 3389618 | 57749766 | 53297819 | 56866531 | 4108673 |
| 2015/07 | 144077398 | 2940348 | 55984458 | 48531474 | 51835142 | 3304854 |
| 2015/08 | 118083273 | 2394380 | 51784630 | 44184660 | 45743233 | 2756313 |
| 2015/09 | 126548263 | 2441600 | 49312915 | 45884399 | 45467440 | 2554476 |
| 2015/10 | 123245593 | 1917684 | 43781366 | 43933925 | 35103279 | 2447255 |
| 2015/11 | 99612918 | 2264372 | 40258173 | 42217312 | 32790726 | 2535841 |
| 2015/12 | 87265264 | 1966826 | 38770018 | 37624987 | 29843877 | 2015675 |
| 2016/01 | 101258046 | 3226240 | 45323238 | 43781632 | 40700381 | 3036762 |
| 2016/02 | 128663788 | 2977098 | 46852800 | 45064230 | 41508644 | 3062596 |
| 2016/03 | 135854010 | 3456257 | 48668588 | 41176252 | 41239974 | 3273088 |
| 2016/04 | 148950534 | 3420879 | 53286172 | 48237406 | 45098697 | 3572807 |

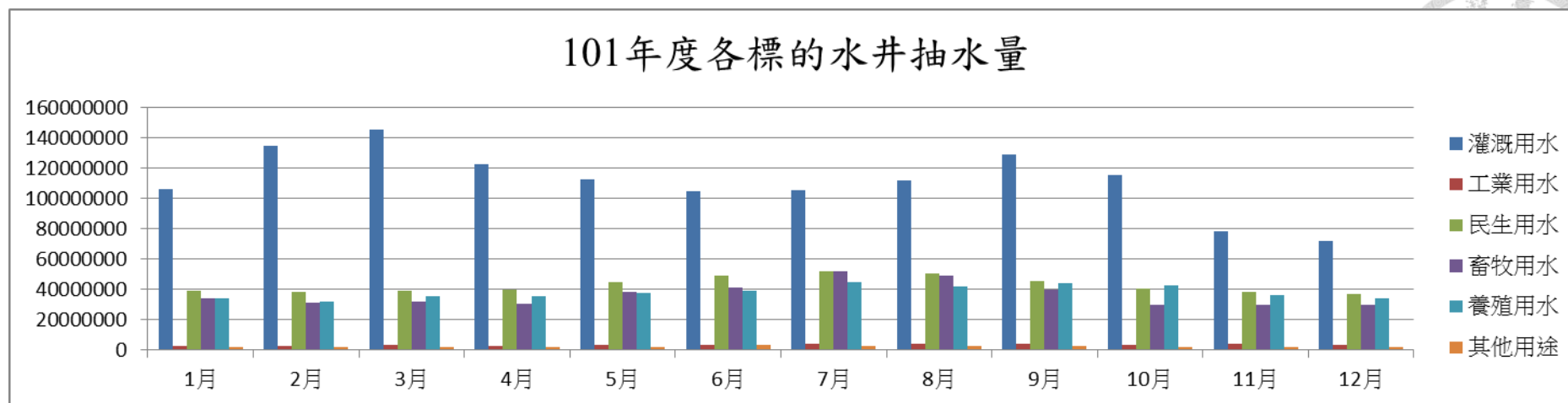


圖 4-19 101 年度各標的水井抽水量

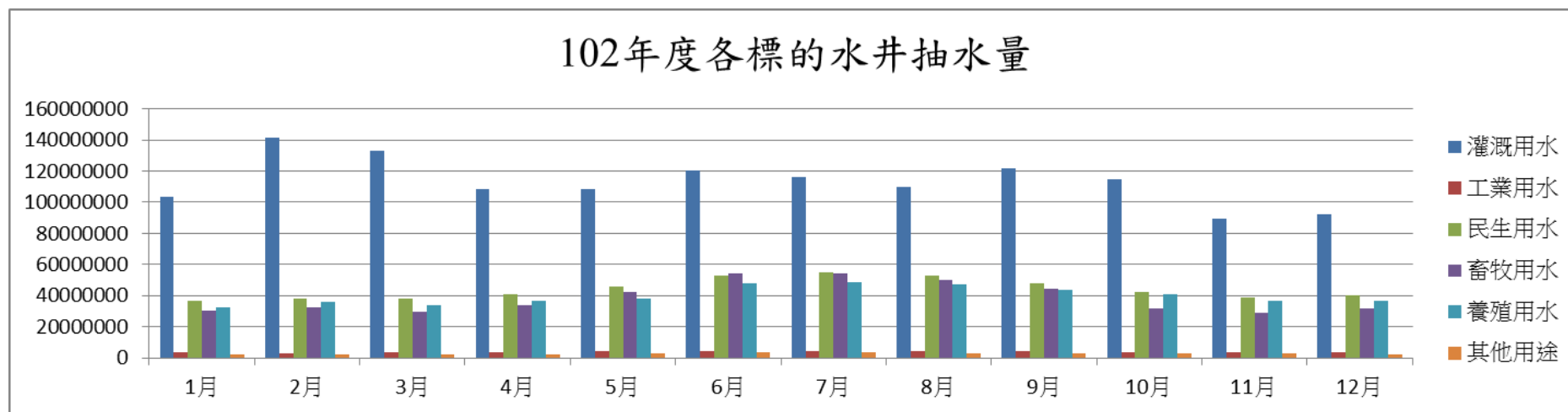


圖 4-20 102 年度各標的水井抽水量

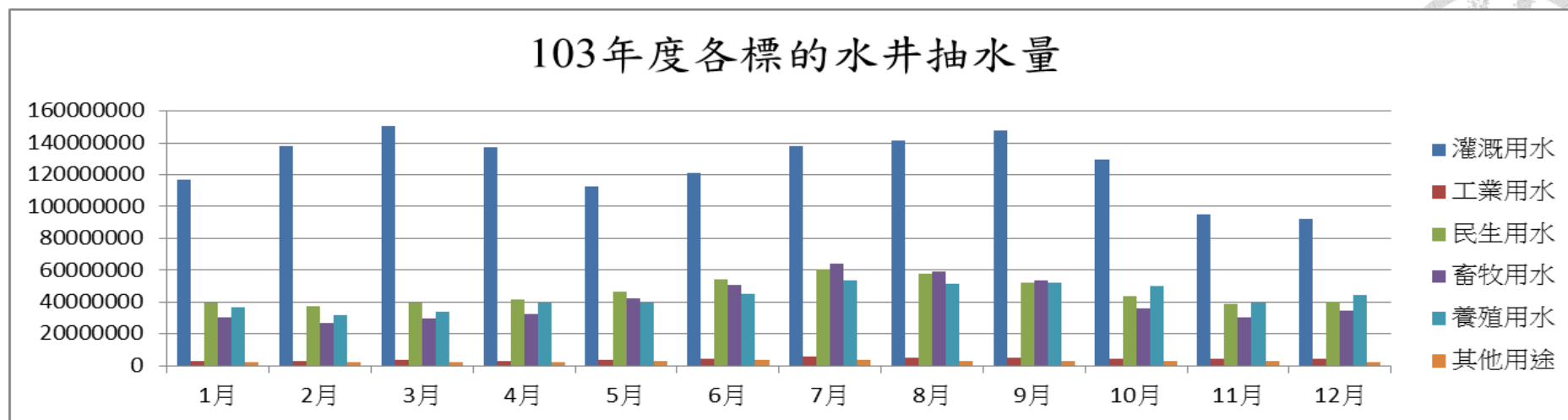


圖 4-21 103 年度各標的水井抽水量

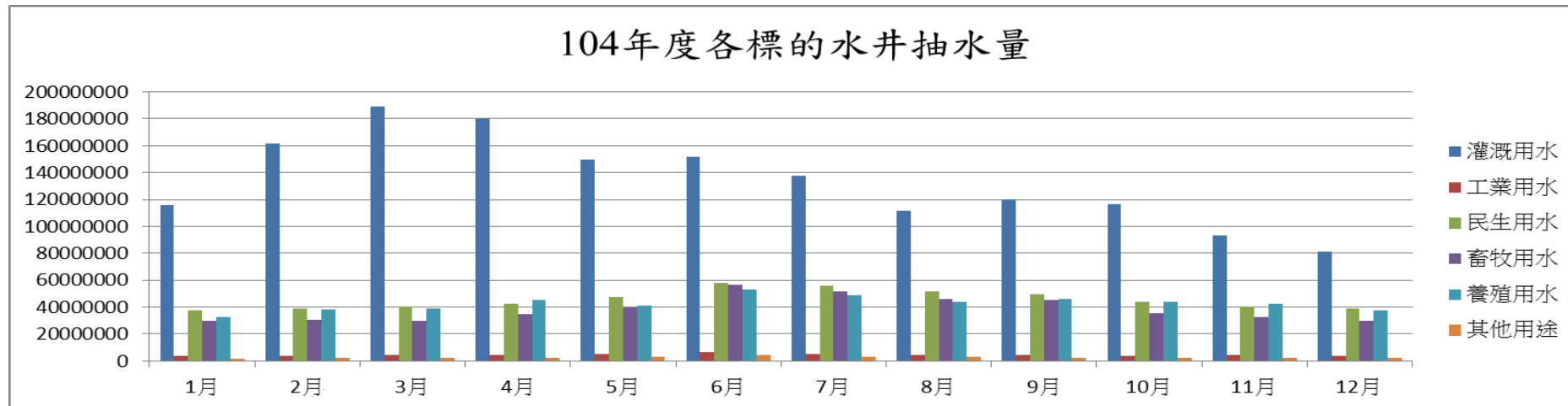


圖 4-22 104 年度各標的水井抽水量

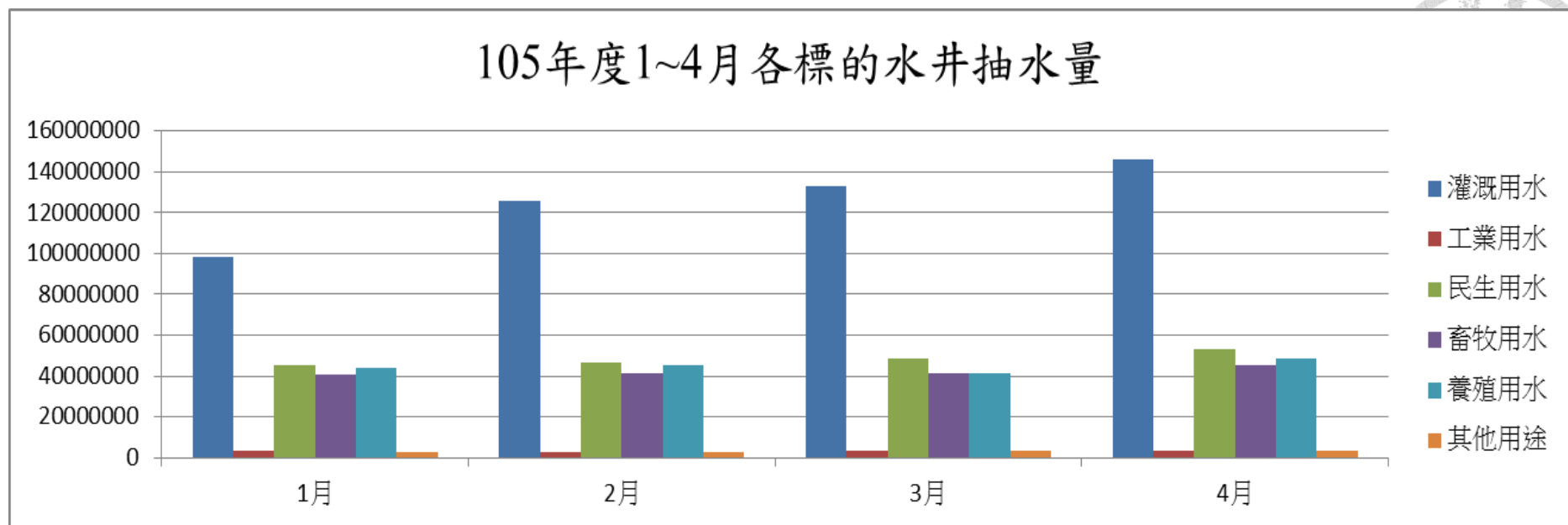


圖 4-23 105 年度各標的水井抽水量



4.4.6 抽水量之空間分析

本研究之優點為推估模式可推估單口井之抽水量，故可以很細緻地探討各個空間尺度下的各標的抽水量(單口井、一村里、一鄉鎮或一縣)，特別適用在用水井管理。

故為了解各鄉鎮於每年各月份抽水情形，將 2012 年 1 月至 2016 年 4 月採用本研究所建立之用電量推估法所估算之抽水量，依據不同標的同月份各鄉鎮之抽水量平均，在灌溉用水方面，可得知芳苑鄉及二林鎮在枯水期之灌溉用水抽水量較高，探討其原因應為芳苑鄉及二林鎮為彰化縣面積最大之兩鄉鎮，所包含之灌溉用水井較多，且依據二林鎮最主要之經濟來源為農業，芳苑鄉亦發展休閒農業，各鄉鎮每月份之灌溉抽水量分布圖整理如圖 4-24 及圖 4-25 所示及附錄二所示，顏色越深即表示水量越大。

在工業用水方面，西螺鎮、荊桐鄉及埤頭鄉在枯水期之工業用水抽水量較高，參照圖 4-4 工業用水井位置分布)可發現西螺鎮、荊桐鄉及埤頭鄉為工業用水井分布最多之三鄉鎮，且三鄉鎮均為工業重鎮，分別設有福田工業區、荊桐工業區及埤頭工業區，故比對各鄉鎮之產業型態及用水標的，本研究所推估之工業用水抽水量結果尚屬合理，各鄉鎮每月份之工業用水抽水量分布圖整理如圖 4-26 及圖 4-27 所示及附錄二所示，顏色越深即表示水量越大。

在民生用水方面，和美鎮及彰化市在枯水期之民生用水抽水量較高，依據彰化縣各項人口統計資料顯示和美鎮及彰化市為彰化縣人口數最多之鄉鎮前三名，故民生用水抽水量較高，比對各鄉鎮之人口數及民生用水標的抽水量，本研究所推估之民生用水抽水量結果尚屬合理，各鄉鎮每月份之民生用水抽水量分布圖整理如圖 4-28 及圖 4-29 所示及附錄二所示，顏色越深即表示水量越大。

在養殖用水方面，芳苑鄉、大城鄉及麥寮鄉等沿海鄉鎮在枯水期之養殖用水抽水量較高，查該三項鎮居民多以農業及水產養殖為主，包含七星鱸魚、蚵仔、文蛤等養殖業，故比對濁水溪沖積扇範圍內之養殖業主要所在之鄉鎮及養殖用水抽水分布情形，本研究所推估之灌溉用水抽水量結果尚屬合理，各鄉鎮每月份之灌溉用水抽水量分布圖整理如圖 4-30 及圖 4-31 所示及附錄二所示，顏色越深即表示水量越大。

在畜牧用水方面，芳苑鄉及二崙鄉在枯水期之畜牧用水抽水量較高，麥寮鄉、

二林鎮及溪湖鎮在枯水期之其他用水抽水量較高，各鄉鎮抽水量分布圖整理如圖 4-32 及圖 4-33 所示及附錄二所示，顏色越深即表示水量越大。



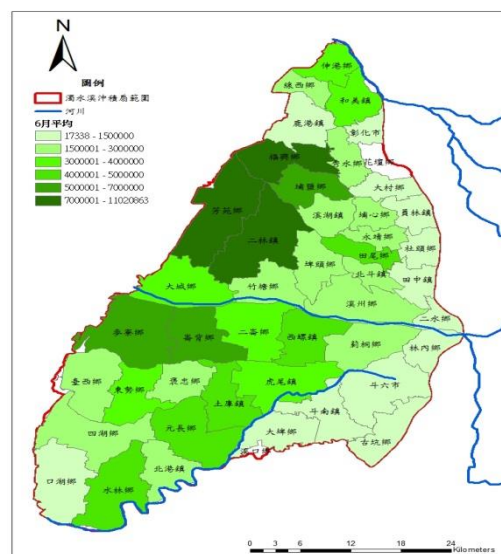
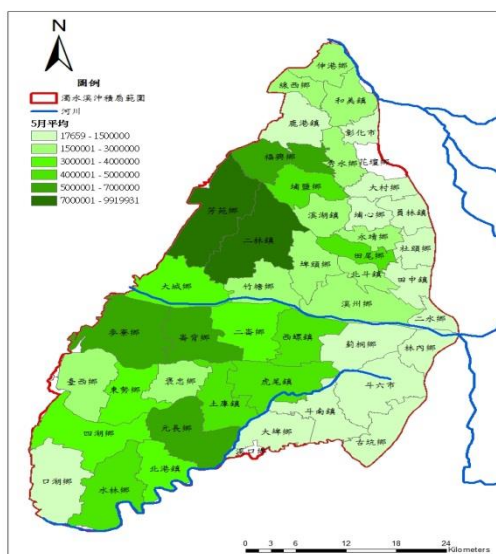
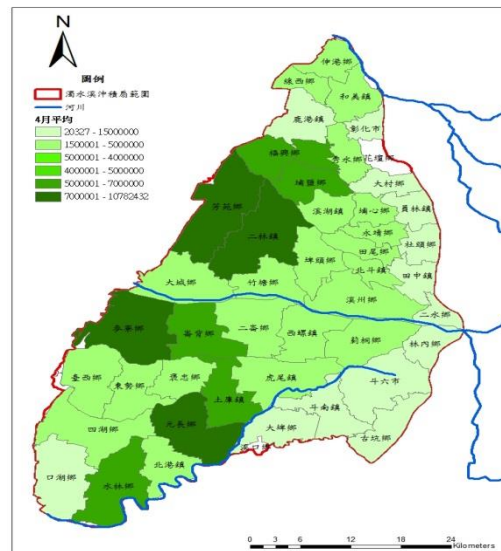
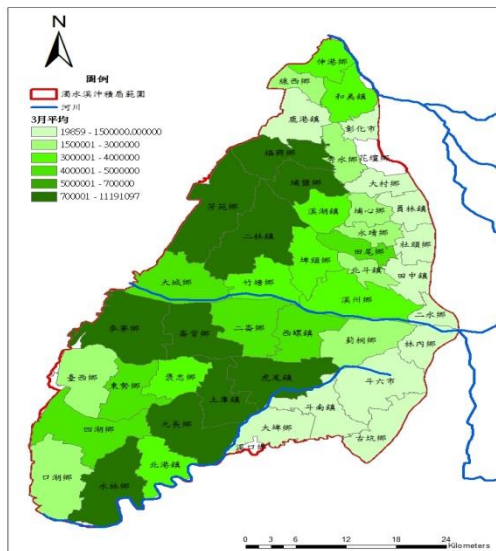
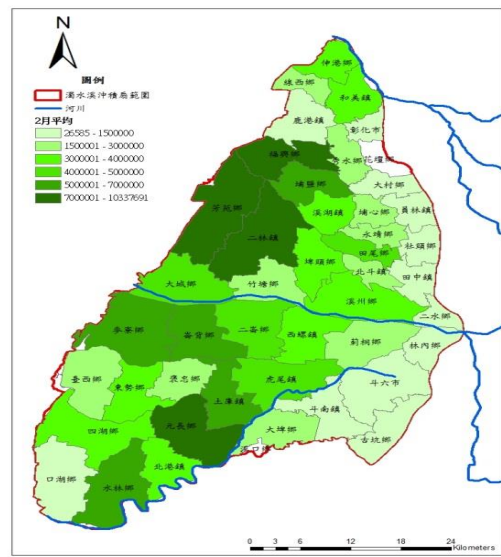
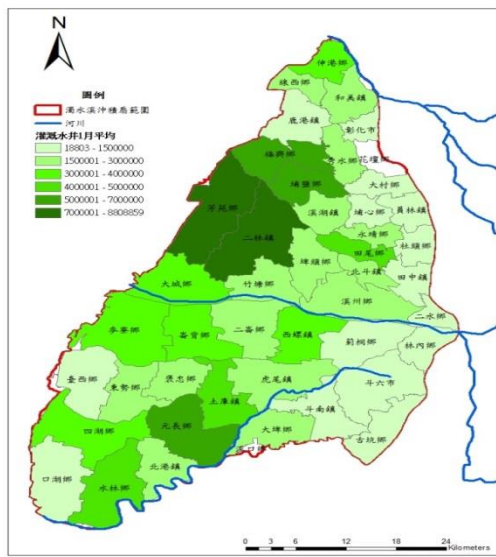


圖 4-24 灌溉水井 1 月~6 月平均抽水量

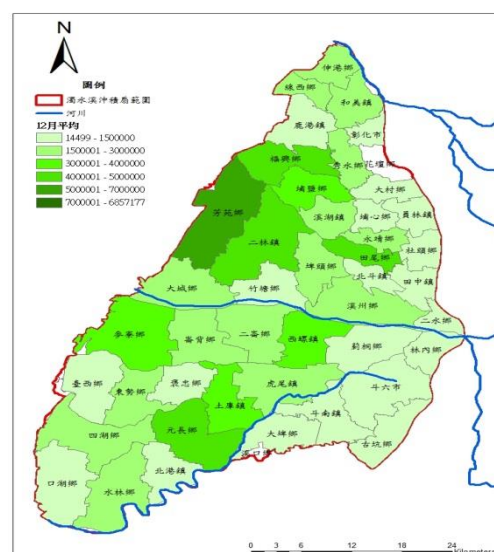
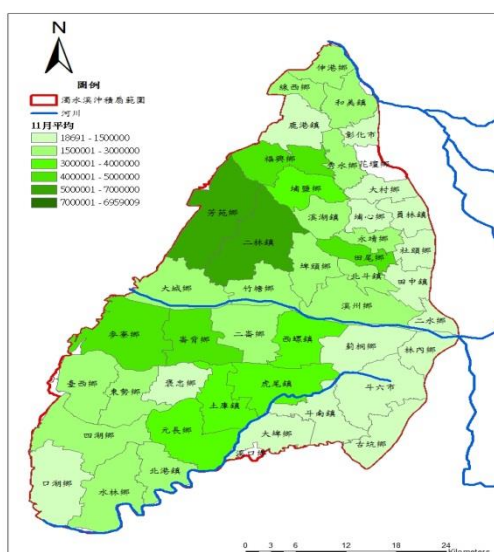
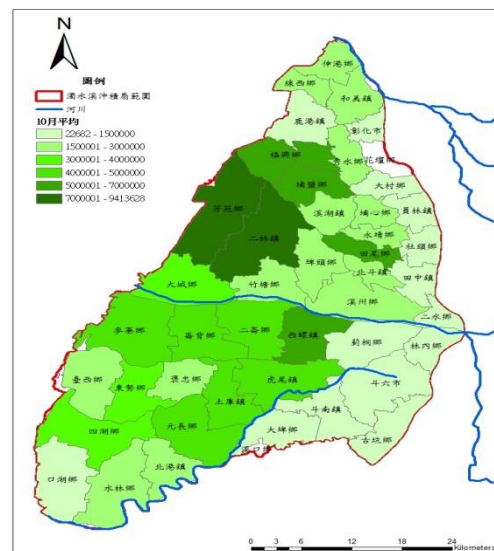
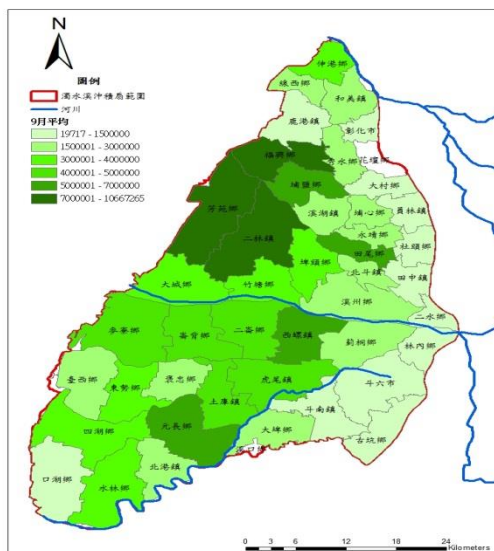
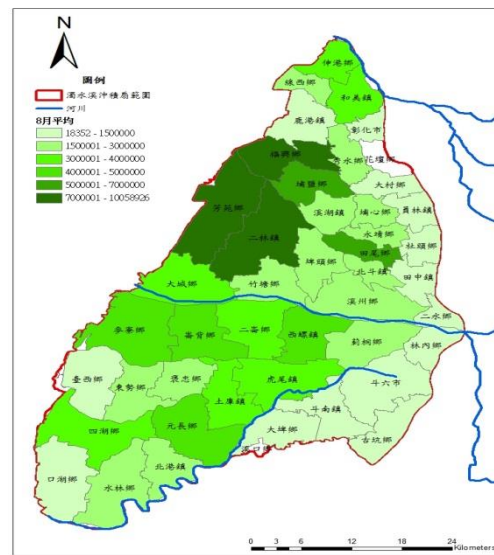
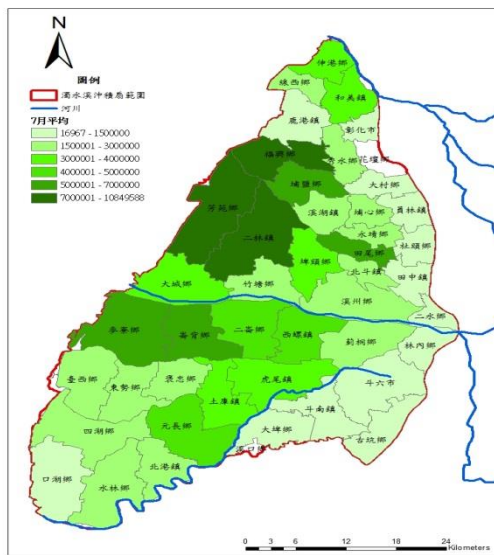


圖 4-25 灌溉水井 7 月~12 月平均抽水量

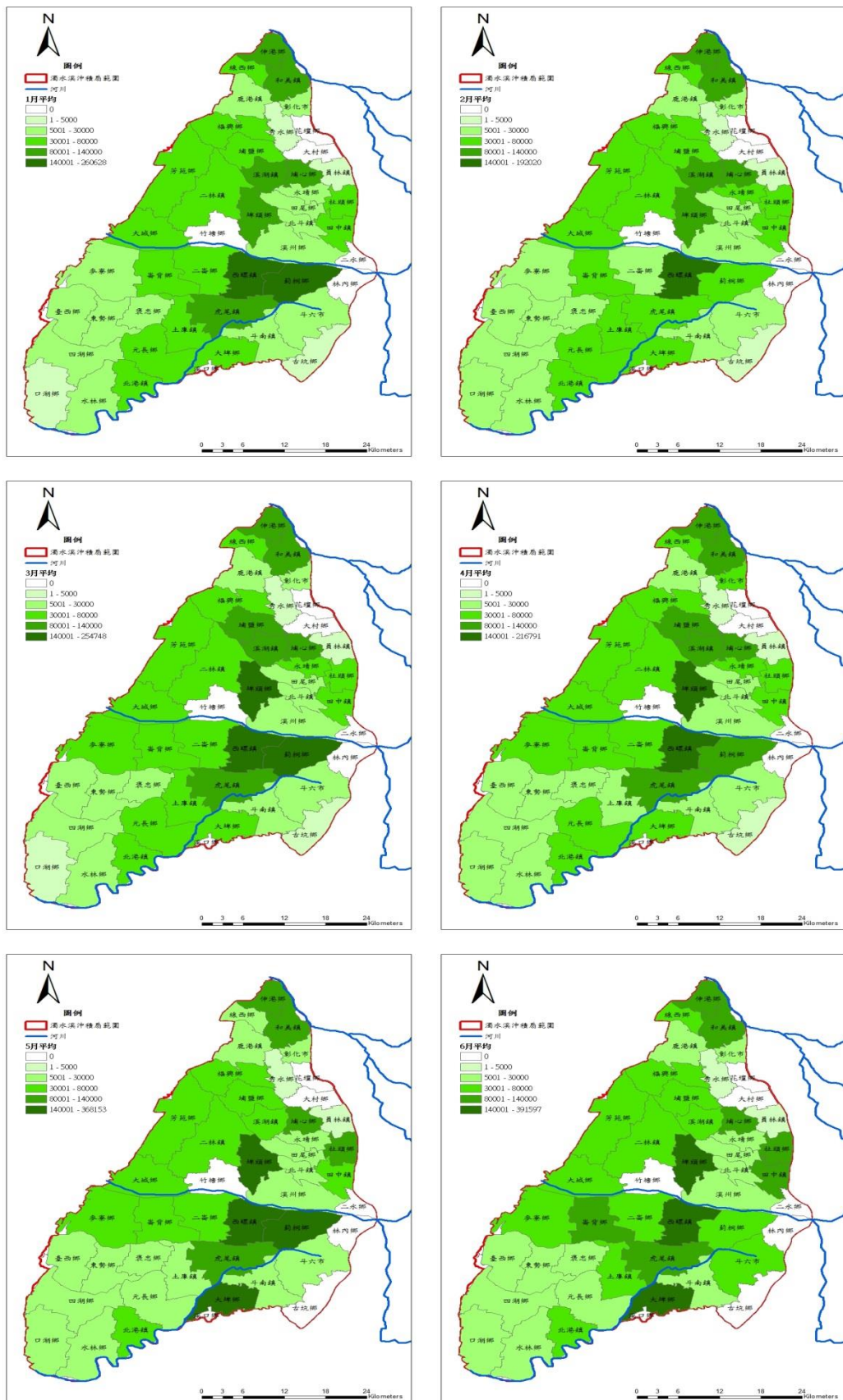


圖 4-26 工業水井 1 月~6 月平均抽水量

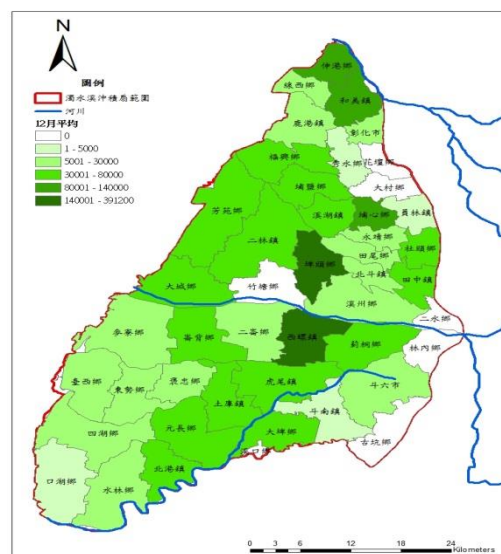
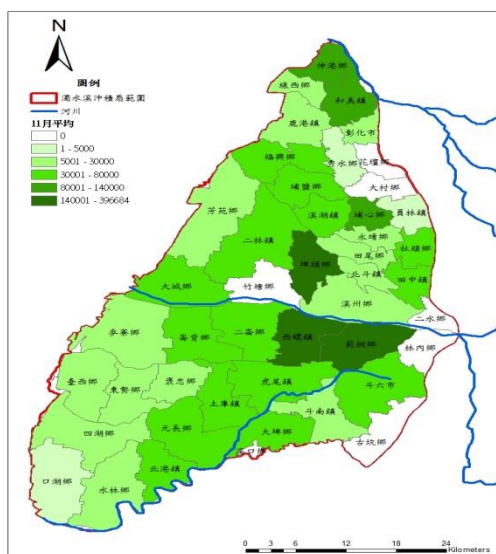
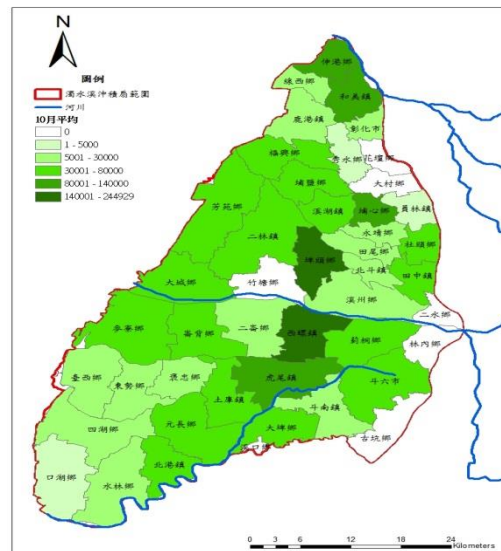
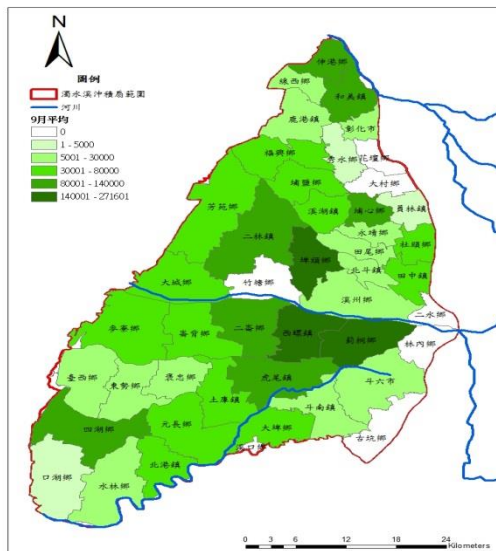
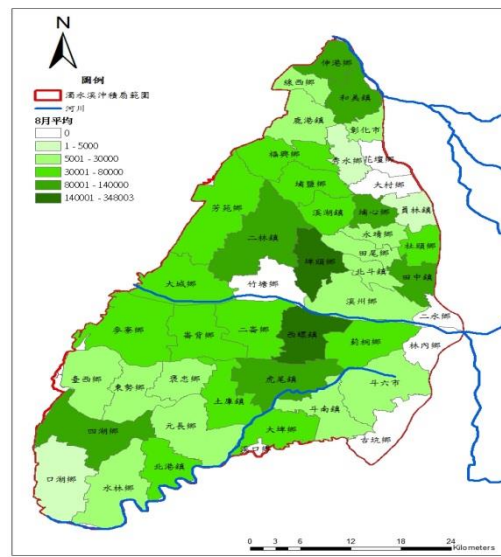
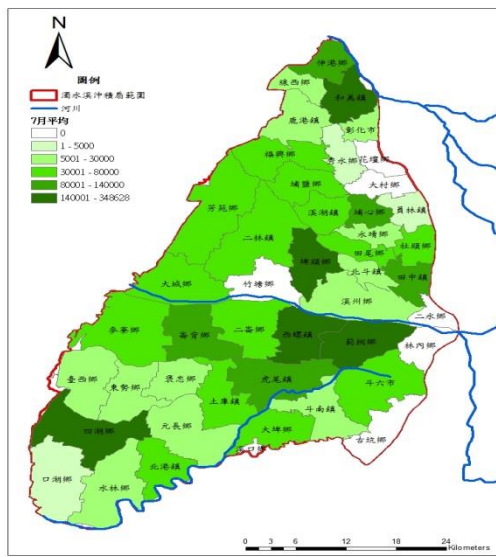


圖 4-27 工業水井 7 月~12 月平均抽水量

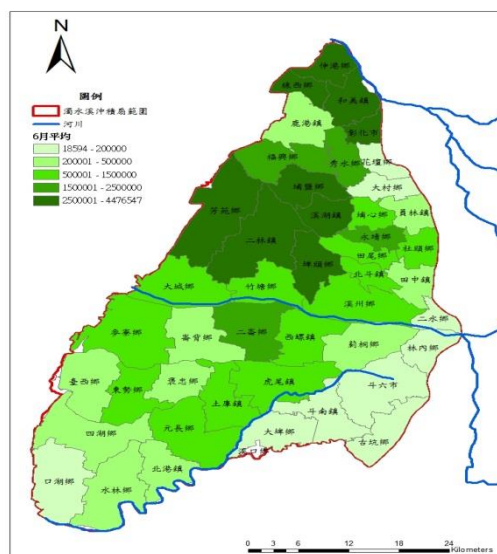
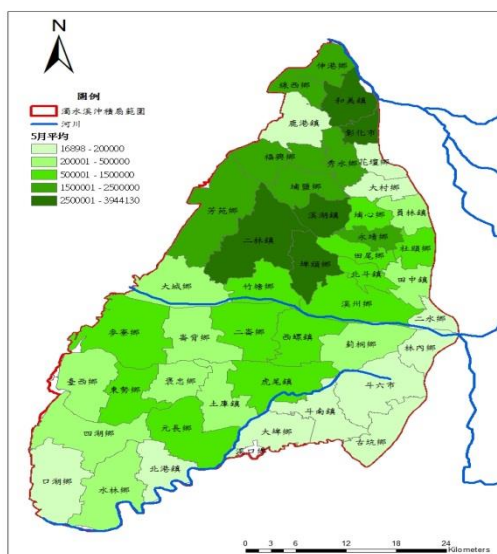
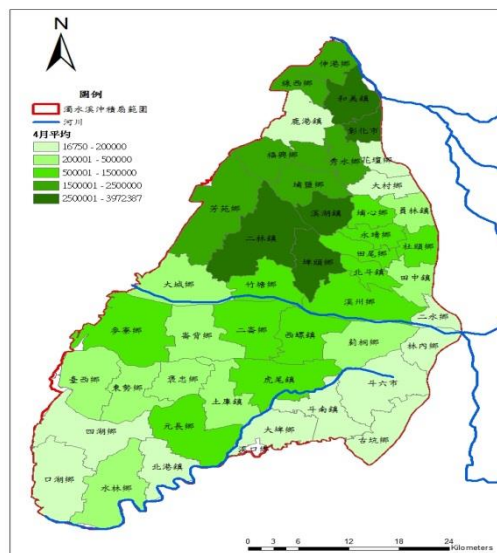
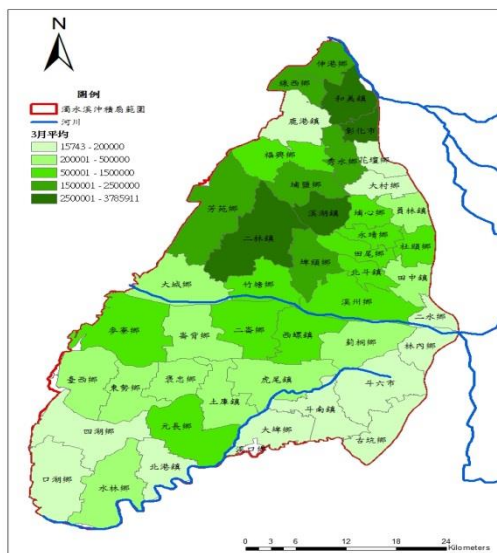
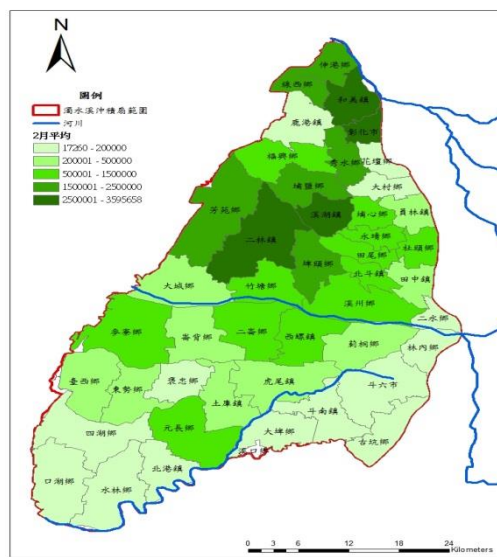
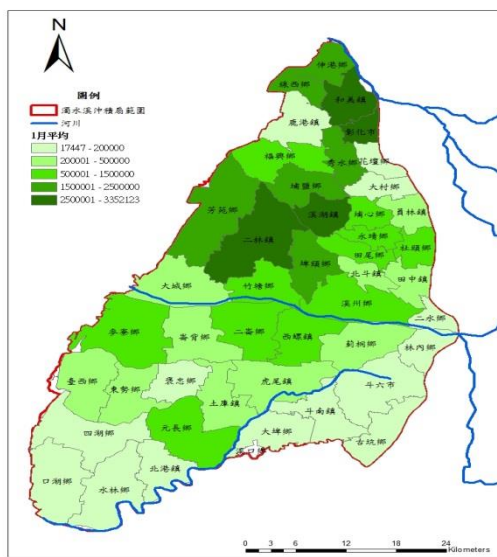


圖 4-28 民生水井 1 月~6 月平均抽水量

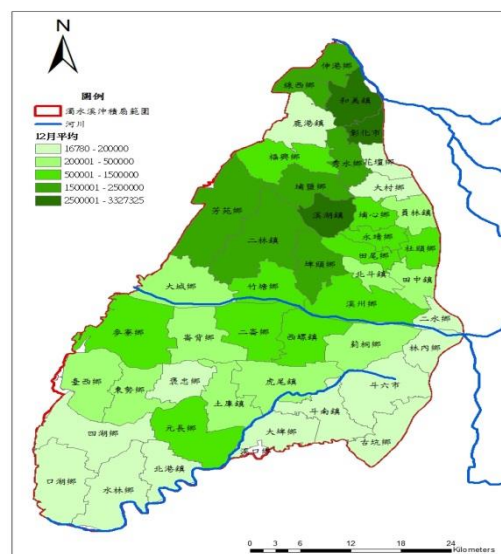
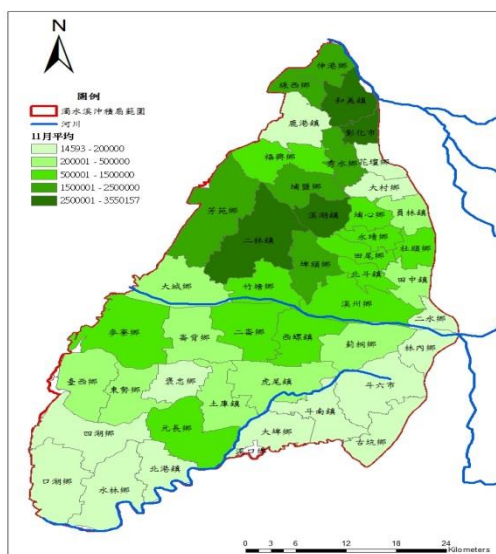
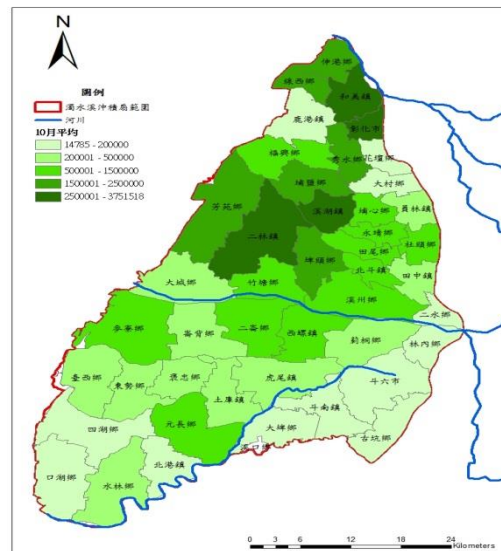
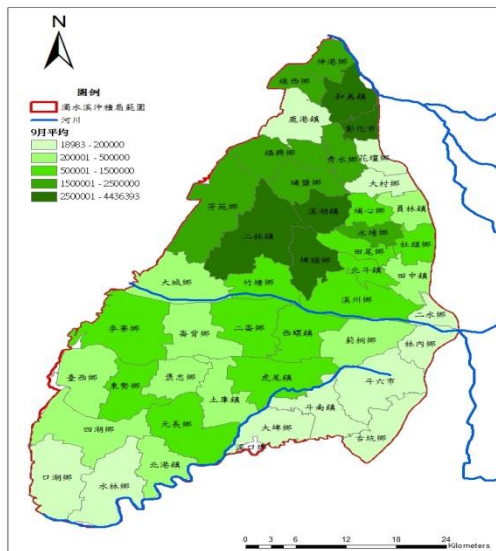
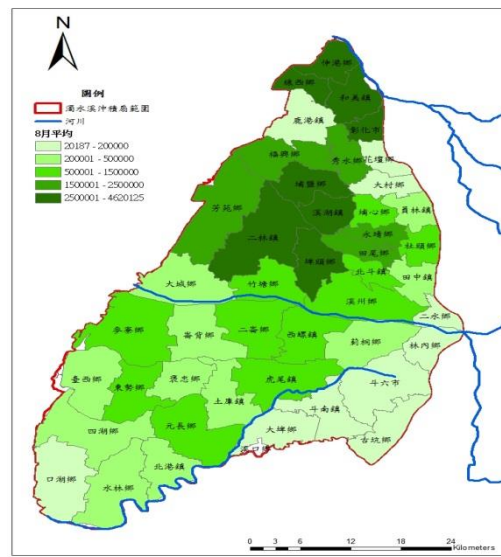
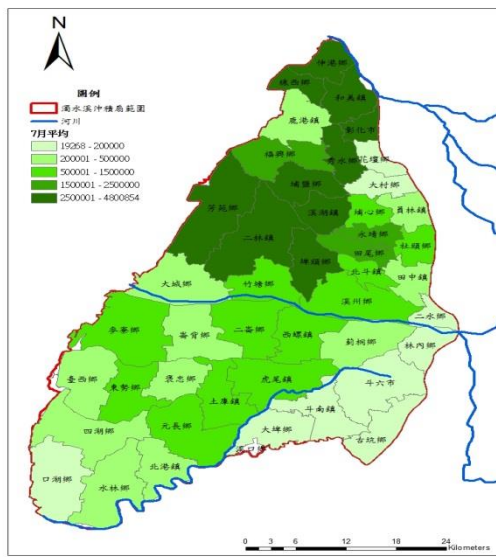


圖 4-29 民生水井 7 月~12 月平均抽水量

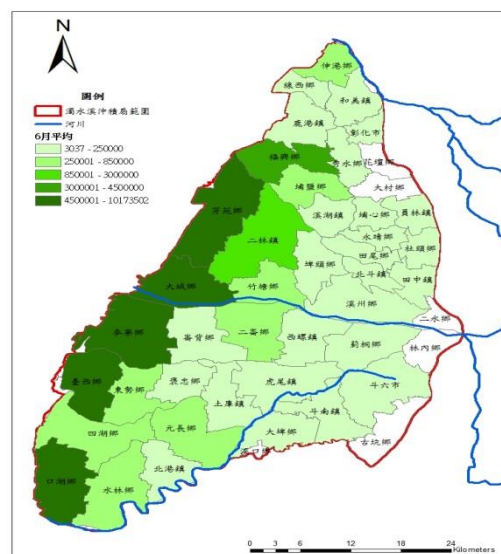
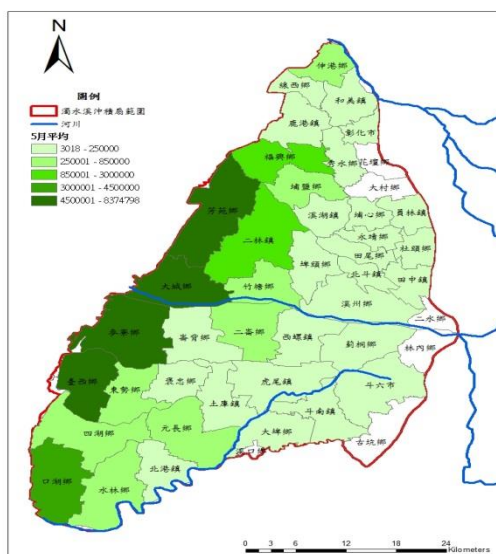
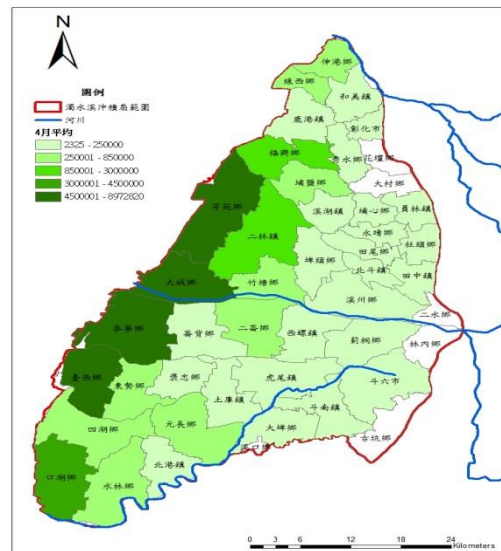
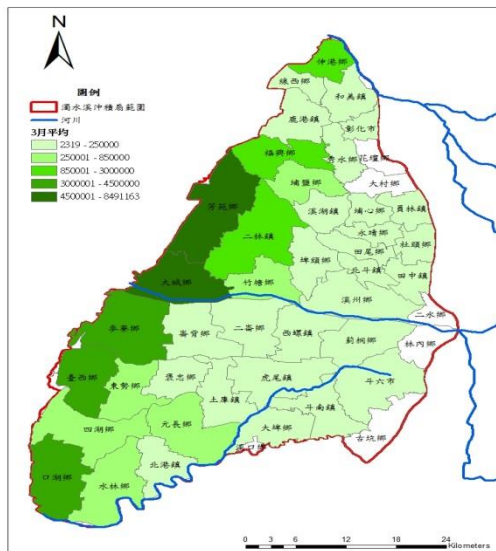
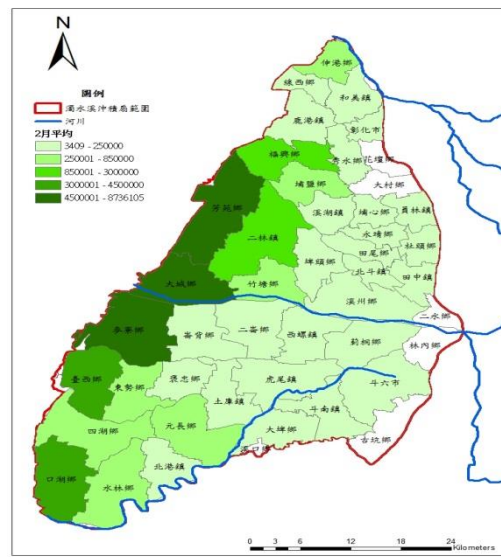
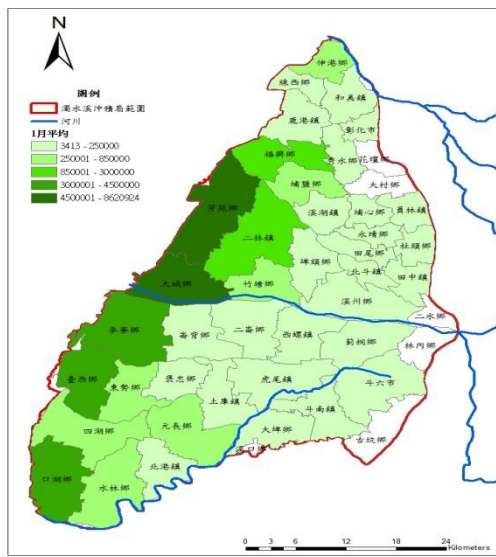


圖 4-30 養殖水井 1 月~6 月平均抽水量

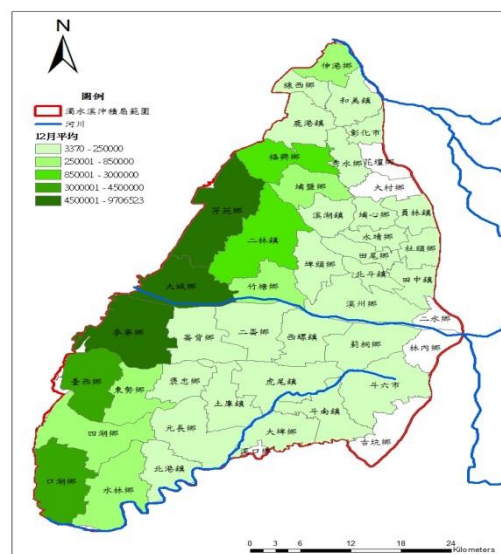
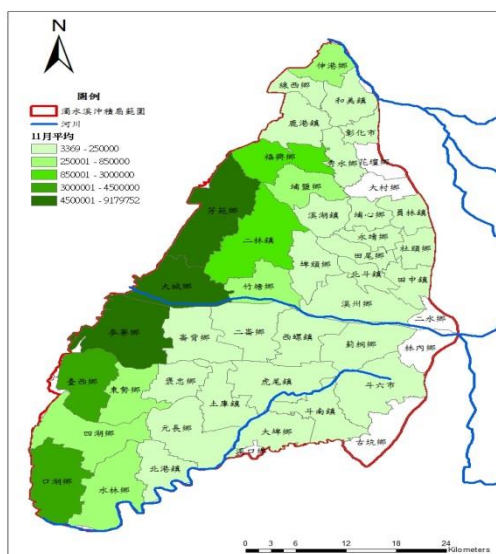
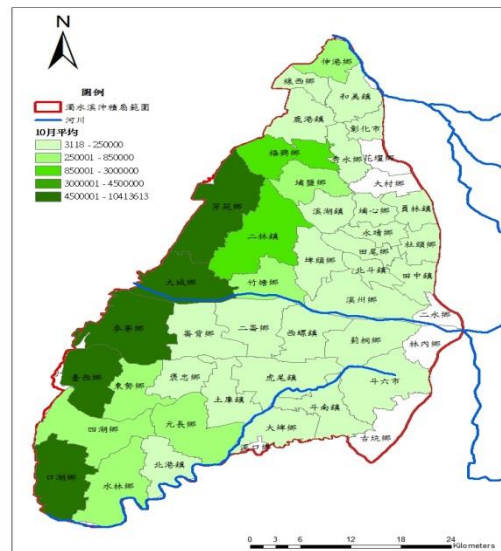
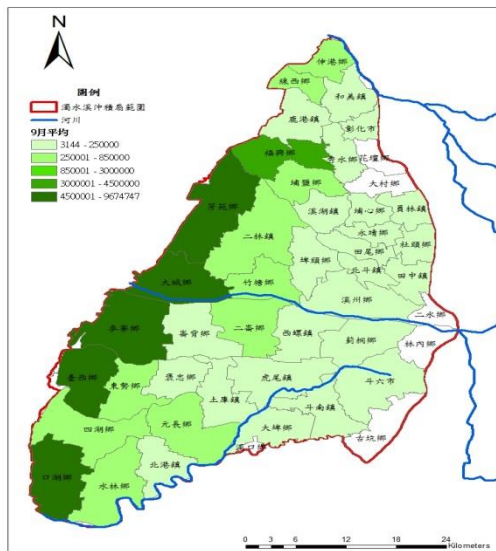
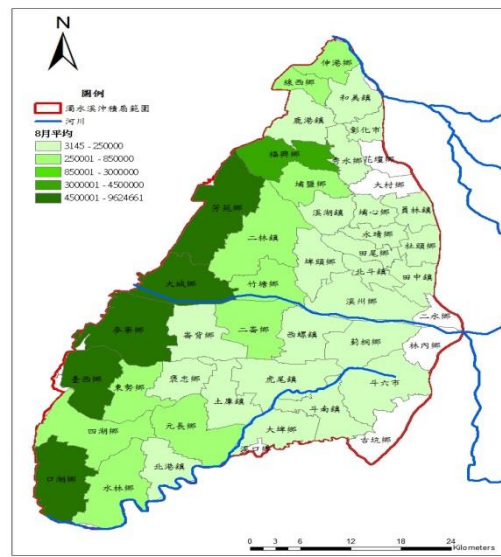
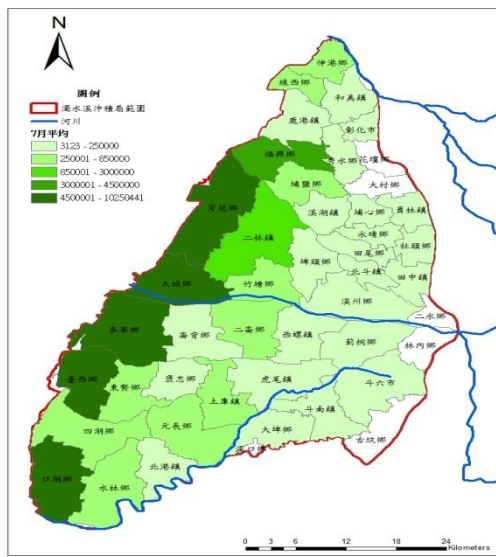


圖 4-31 養殖水井 7 月~12 月平均抽水量

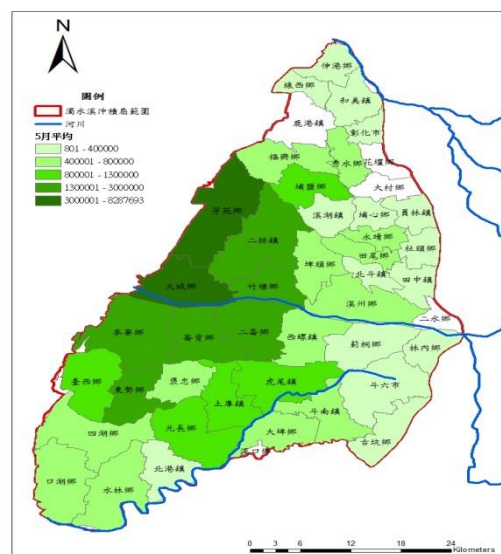
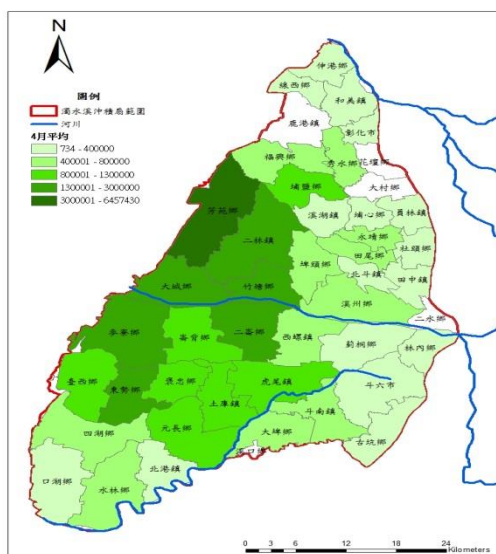
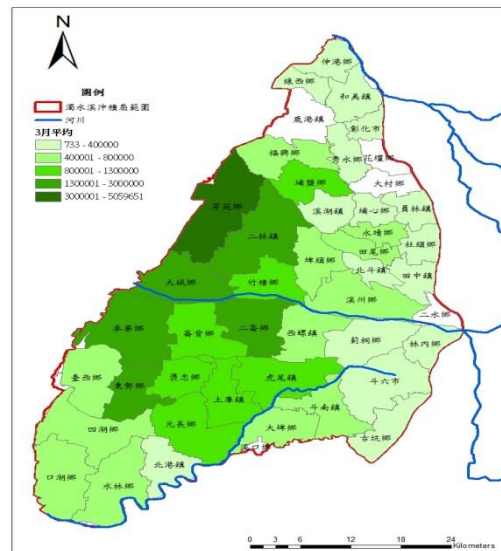
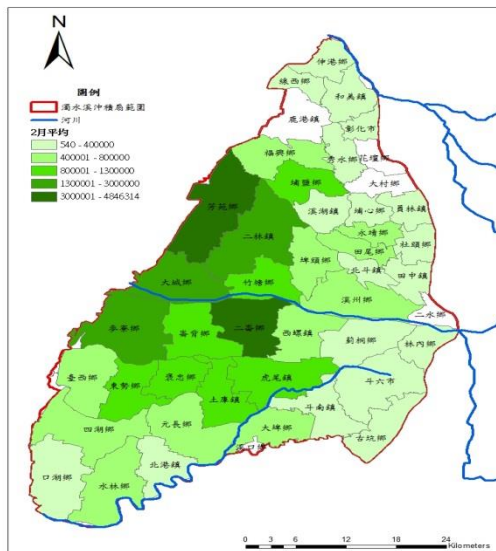
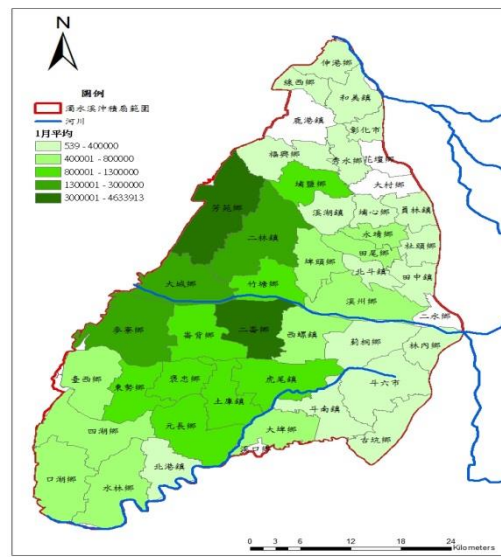
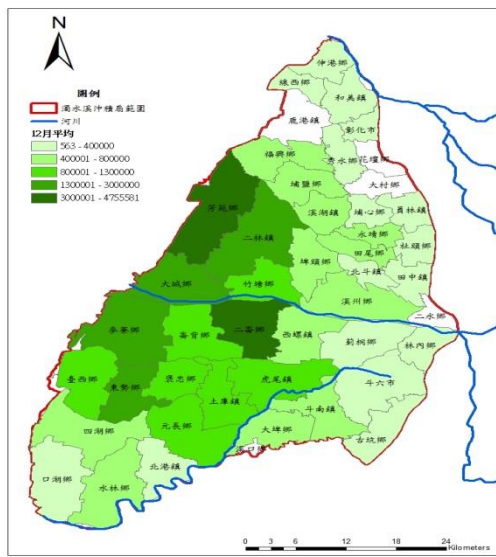


圖 4-32 畜牧水井 1 月~6 月平均抽水量

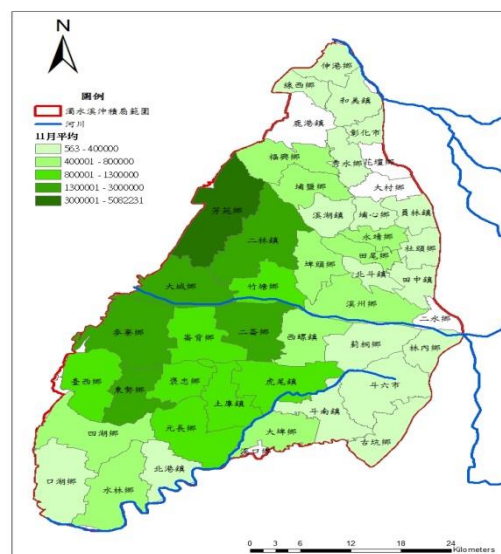
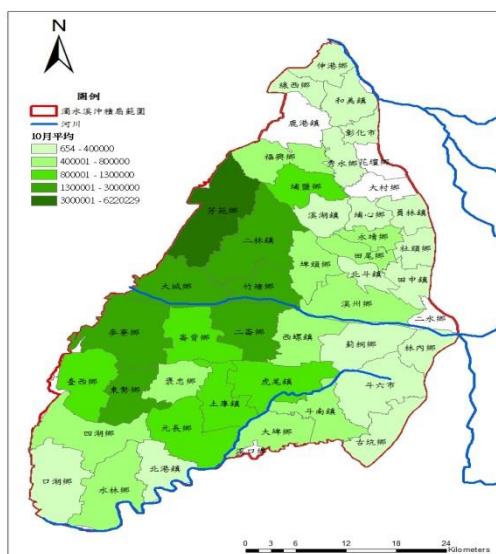
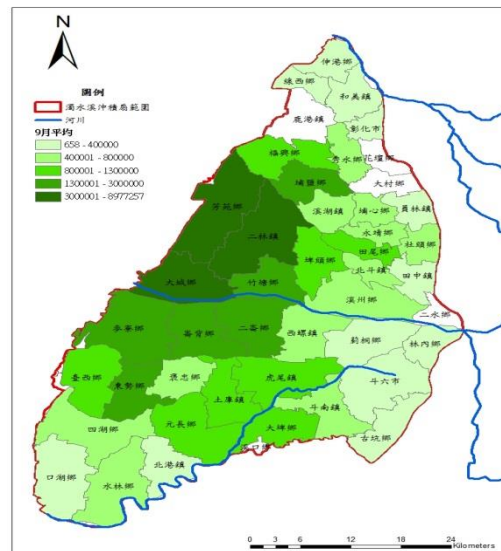
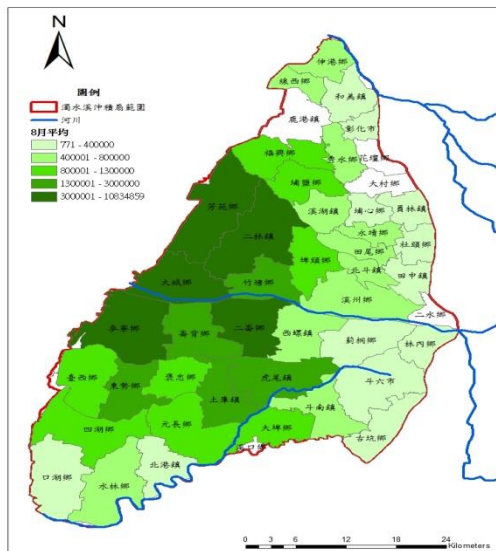
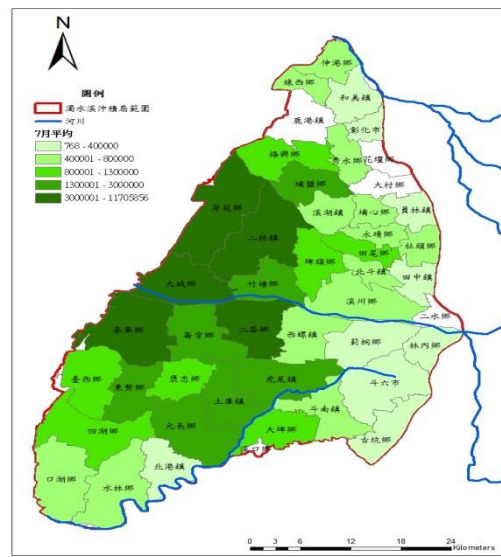
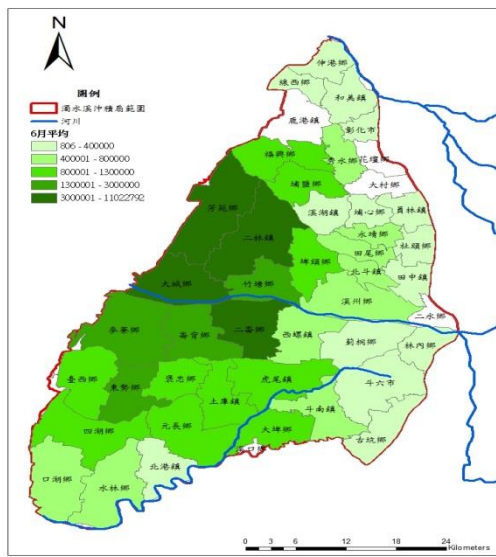


圖 4-33 畜牧水井 7 月~12 月平均抽水量

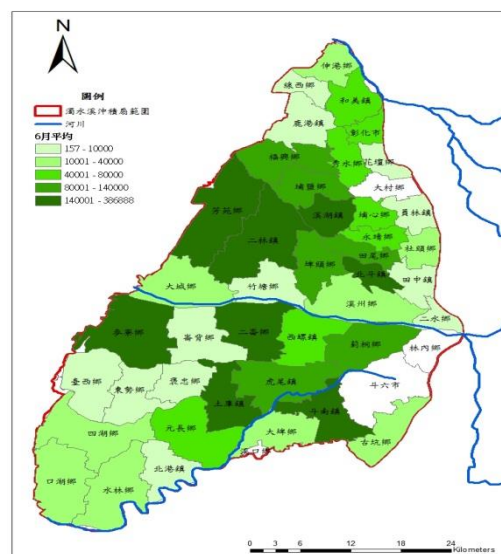
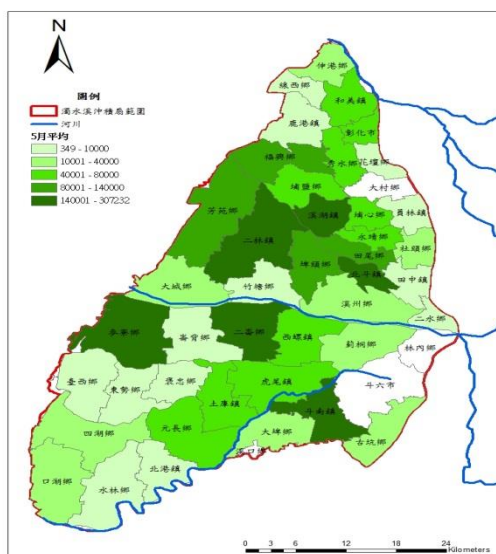
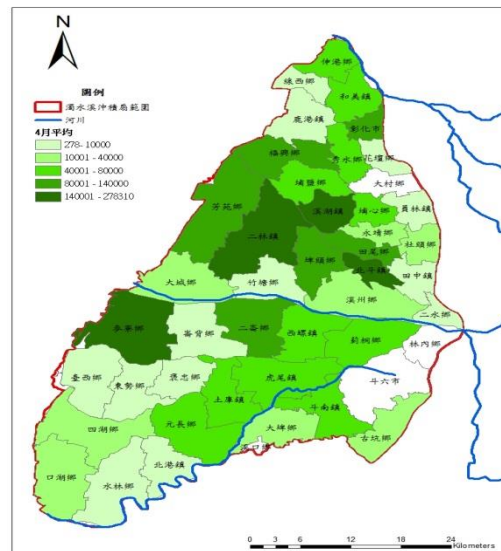
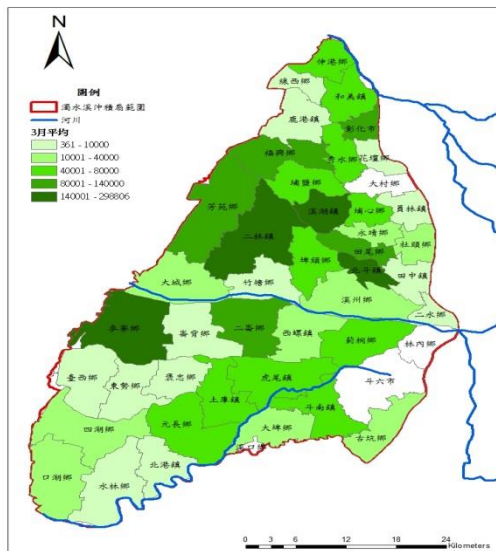
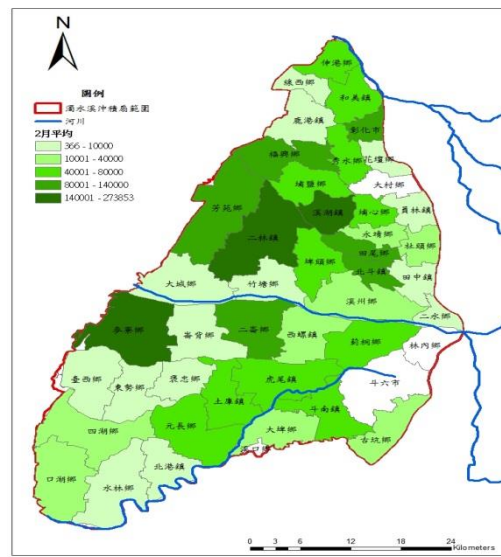
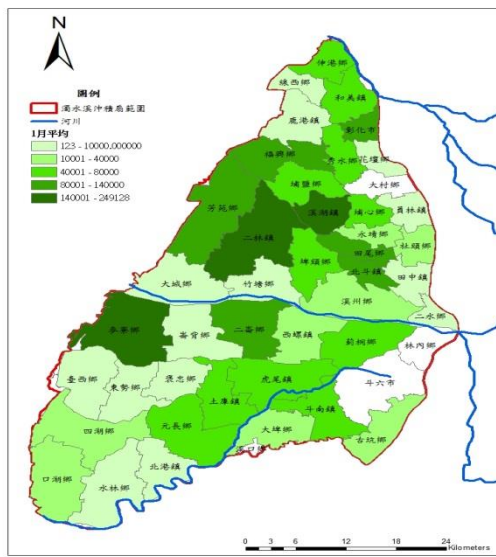


圖 4-34 其他水井 1 月~6 月平均抽水量

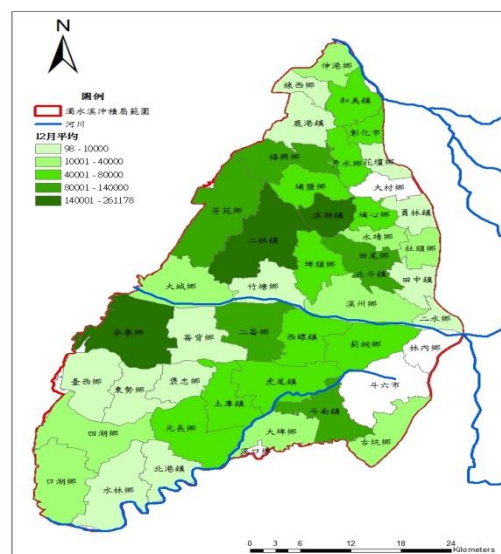
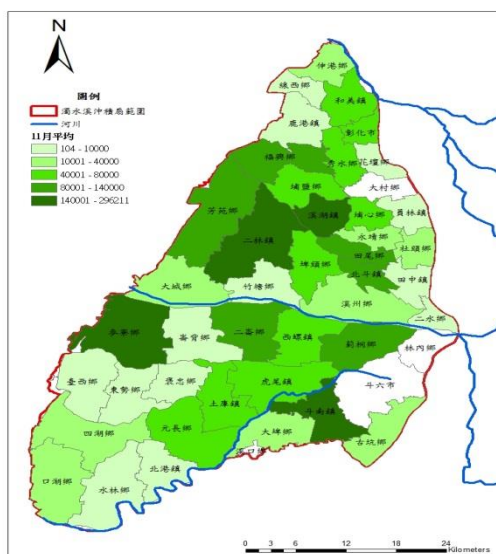
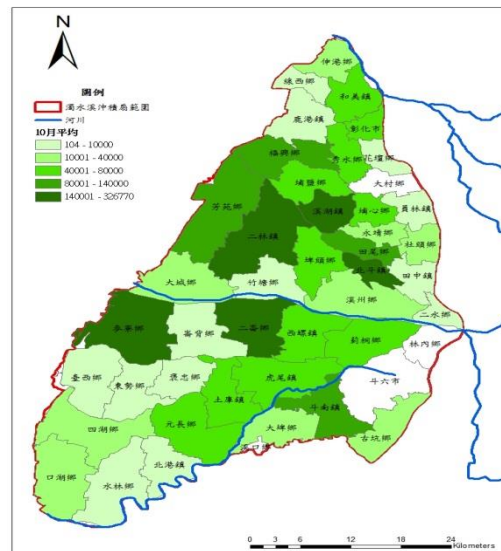
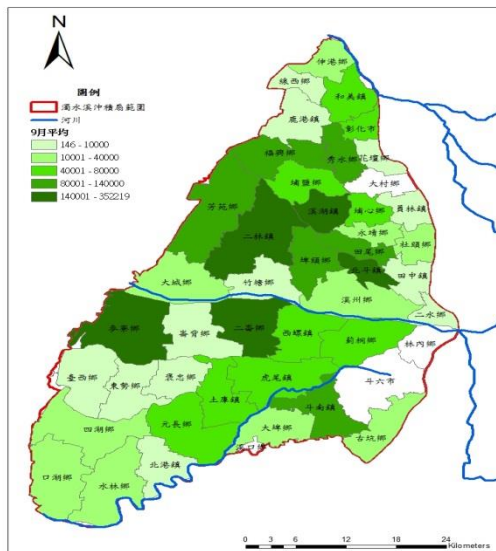
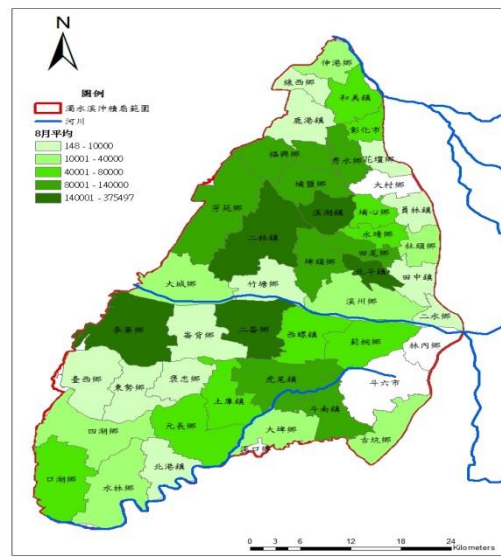
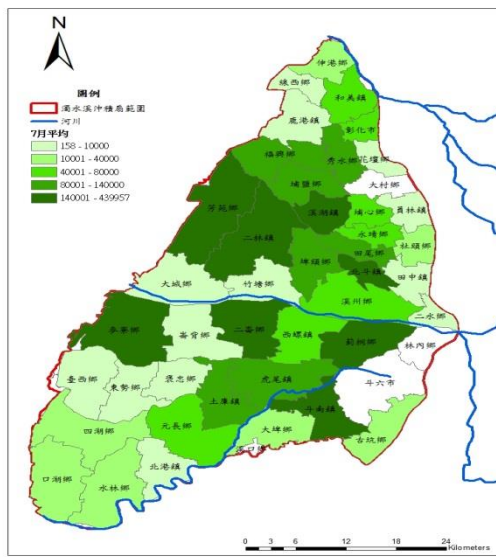


圖 4-35 其他水井 7 月~12 月平均抽水量



4.5 水平衡分析法應用

3. 水平衡分析法應用結果

本研究利用經濟部水利署地下水觀測井網資料，重新劃分不包含八卦山台地以及斗六丘陵之濁水溪沖積扇各層觀測井之 Voronoi Diagram 控制區域並計算其面積，如圖 4-36 與圖 4-37 所示。

濁水溪沖積扇各地下水位觀測井進行分層辨識，整理如表 4-18 所示。比出水率以及儲水係數採用經濟部水利署(2011)報告之現場試驗結果，無試驗資料之控制分區則以該含水層之平均值做設定，其中扇頂區域之自由含水層範圍涵蓋一至四層含水層，各層觀測井控制面積之比出水率或儲水係數整理如表 4-18 所示，其中紅色數字代表其為現地試驗值。

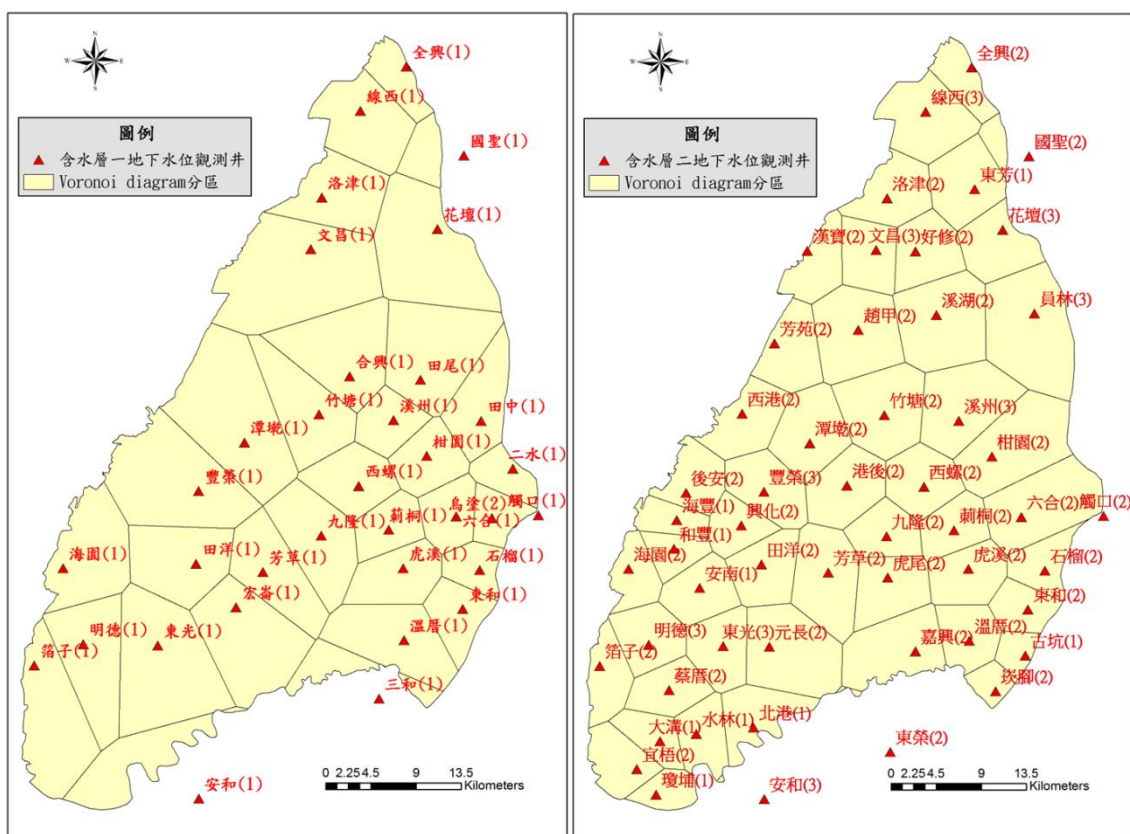


圖 4-36 濁水溪沖積扇含水層一、二之 Voronoi Diagram 分區

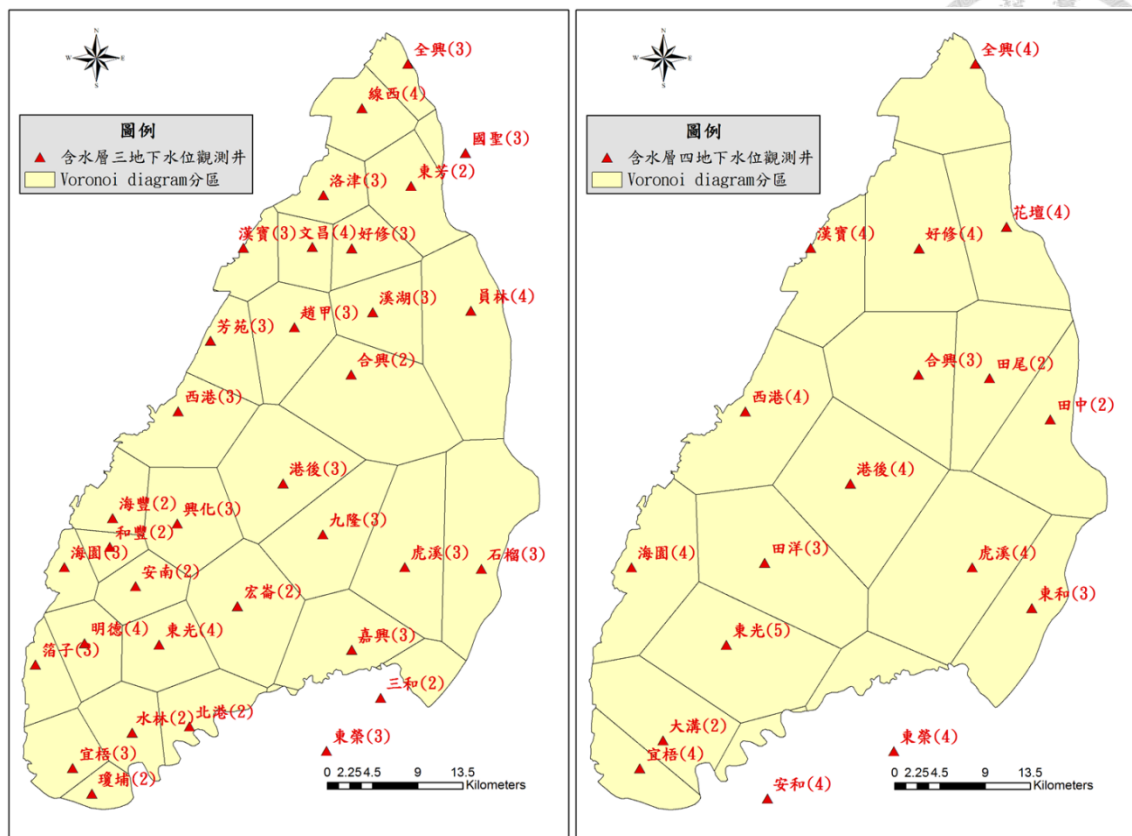


圖 4-37 濁水溪沖積扇含水層三、四之 Voronoi Diagram 分區

表 4-18 濁水溪沖積扇地下水位觀測井分層辨識與比出水量或儲水係數

| 含水層一 | | 含水層二 | | 含水層三 | | 含水層四 | |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 站名 | Sy or S | 站名 | Sy or S | 站名 | Sy or S | 站名 | Sy or S |
| 線西(1) | 0.005 | 石榴(2) | 0.216 | 石榴(3) | 0.216 | 田中(2) | 0.216 |
| 洛津(1) | 0.216 | 古坑(1) | 0.216 | 員林(4) | 0.001043 | 東和(3) | 0.000718 |
| 花壇(1) | 0.001538 | 東和(2) | 0.000718 | 國聖(3) | 0.001043 | 田尾(2) | 0.000624 |
| 國聖(1) | 0.216 | 員林(2) | 0.000718 | 三和(2) | 0.001043 | 花壇(4) | 0.000624 |
| 海園(1) | 0.000173 | 六合(2) | 0.000718 | 東芳(2) | 0.001043 | 全興(4) | 0.000624 |
| 田洋(1) | 0.216 | 國聖(2) | 0.000718 | 全興(3) | 0.001043 | 虎溪(4) | 0.000624 |
| 潭墘(1) | 0.001538 | 崁腳(2) | 0.000718 | 虎溪(3) | 0.001043 | 好修(4) | 0.000624 |
| 芳草(1) | 0.001538 | 花壇(2) | 0.000718 | 好修(3) | 0.001043 | 合興(3) | 0.000072 |
| 竹塘(1) | 0.216 | 柑園(2) | 0.000718 | 溪湖(3) | 0.00101 | 東榮(4) | 0.000624 |
| 九隆(1) | 0.001538 | 溫厝(2) | 0.000718 | 線西(4) | 0.001043 | 安和(4) | 0.000624 |
| 合興(1) | 0.202 | 東芳(1) | 0.000718 | 東榮(3) | 0.001043 | 漢寶(4) | 0.000624 |
| 荊桐(1) | 0.23175 | 全興(2) | 0.000718 | 合興(2) | 0.00122 | 港後(4) | 0.000230 |
| 溪州(1) | 0.216 | 虎溪(2) | 0.000718 | 文昌(4) | 0.001043 | 安和(4) | 0.000624 |
| 虎溪(1) | 0.216 | 溪州(2) | 0.00138 | 嘉興(3) | 0.00024 | 田洋(3) | 0.000627 |

| 含水層一 | | 含水層二 | | 含水層三 | | 含水層四 | |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 站名 | Sy or S | 站名 | Sy or S | 站名 | Sy or S | 站名 | Sy or S |
| 田尾(1) | 0.001538 | 荊桐(2) | 0.000718 | 洛津(3) | 0.001043 | 西港(4) | 0.000056 |
| 柑園(1) | 0.216 | 好修(2) | 0.00005 | 九隆(3) | 0.001043 | 東光(5) | 0.000624 |
| 六合(1) | 0.216 | 溪湖(2) | 0.00295 | 趙甲(3) | 0.001043 | 海園(4) | 0.000624 |
| 石榴(1) | 0.216 | 西螺(2) | 0.000718 | 港後(3) | 0.000149 | 宜梧(4) | 0.000624 |
| 田中(1) | 0.216 | 線西(2) | 0.000145 | 漢寶(3) | 0.001043 | 大溝(2) | 0.000624 |
| 烏塗 | 0.152 | 虎尾(2) | 0.000718 | 芳苑(3) | 0.001043 | | |
| 溫厝(1) | 0.001538 | 東榮(2) | 0.000718 | 宏崙(2) | 0.001043 | | |
| 東和(1) | 0.216 | 九隆(2) | 0.000718 | 北港(2) | 0.001043 | | |
| 箔子(1) | 0.001538 | 嘉興(2) | 0.00024 | 興化(3) | 0.001043 | | |
| 明德(1) | 0.216 | 文昌(2) | 0.000718 | 東光(4) | 0.001043 | | |
| 安和(1) | 0.001538 | 洛津(2) | 0.000718 | 西港(3) | 0.000056 | | |
| 宏崙(1) | 0.001538 | 竹塘(2) | 0.000718 | 安南(2) | 0.001043 | | |
| 全興(1) | 0.216 | 趙甲(2) | 0.000718 | 水林(2) | 0.001043 | | |
| 文昌(1) | 0.001538 | 港後(2) | 0.00023 | 和豐(2) | 0.0017 | | |
| 豐榮(1) | 0.001538 | 芳草(2) | 0.000718 | 海園(3) | 0.003403 | | |
| 西螺(1) | 0.216 | 漢寶(2) | 0.000718 | 海豐(2) | 0.001043 | | |
| 二水 | 0.199 | 芳苑(2) | 0.000718 | 瓊埔(2) | 0.001043 | | |
| 三和(1) | 0.001538 | 潭墘(2) | 0.000718 | 明德(4) | 0.001043 | | |
| 東光(1) | 0.289 | 元長(2) | 0.000718 | 宜梧(3) | 0.001043 | | |
| | | 豐榮(2) | 0.000718 | 箔子(3) | 0.001043 | | |
| | | 田洋(2) | 0.000627 | | | | |
| | | 北港(1) | 0.000718 | | | | |
| | | 安和(2) | 0.000718 | | | | |
| | | 興化(2) | 0.000718 | | | | |
| | | 西港(2) | 0.0009 | | | | |
| | | 東光(2) | 0.000138 | | | | |
| | | 水林(1) | 0.000718 | | | | |
| | | 安南(1) | 0.000718 | | | | |
| | | 後安(2) | 0.000718 | | | | |
| | | 和豐(1) | 0.000718 | | | | |
| | | 海園(2) | 0.003403 | | | | |
| | | 海豐(1) | 0.000718 | | | | |
| | | 瓊埔(1) | 0.000718 | | | | |
| | | 蔡厝(2) | 0.00298 | | | | |
| | | 大溝(1) | 0.000718 | | | | |

| 含水層一 | | 含水層二 | | 含水層三 | | 含水層四 | |
|------|---------|-------|----------|------|---------|------|---------|
| 站名 | Sy or S | 站名 | Sy or S | 站名 | Sy or S | 站名 | Sy or S |
| | | 明德(2) | 0.000718 | | | | |
| | | 宜梧(1) | 0.000718 | | | | |
| | | 箔子(2) | 0.000718 | | | | |

本研究蒐集濁水溪沖積扇地下水位觀測井 2012 及 2014 年之觀測資料，配合表 4-18 之分層資料與水文地質資料計算濁水溪沖積扇之地下水蓄水量歷線，如圖 4-38 所示。由圖中可看出濁水溪沖積扇於每年 11 月至 4 月之枯水期時，因為降雨量較少，濁水溪沖積扇地下水系統之流入量小於流出量，地下水蓄水量歷線呈現下降之趨勢；然而於每年 5 月至 10 月之豐水期時，因降雨量豐沛，其地下水系統之流入量大於流出量，地下水蓄水量歷線呈現上升之趨勢。此外由圖 4-38 可看出於 2014 年豐水期時其蓄水量歷線上升幅度很小，其最大蓄水量低於前兩年之豐水期最大蓄水量，比對雨量資料可發現 2014 年適逢乾旱，年降雨量僅 1024(mm)，低於濁水溪沖積扇之歷年平均降雨量 1544(mm)。

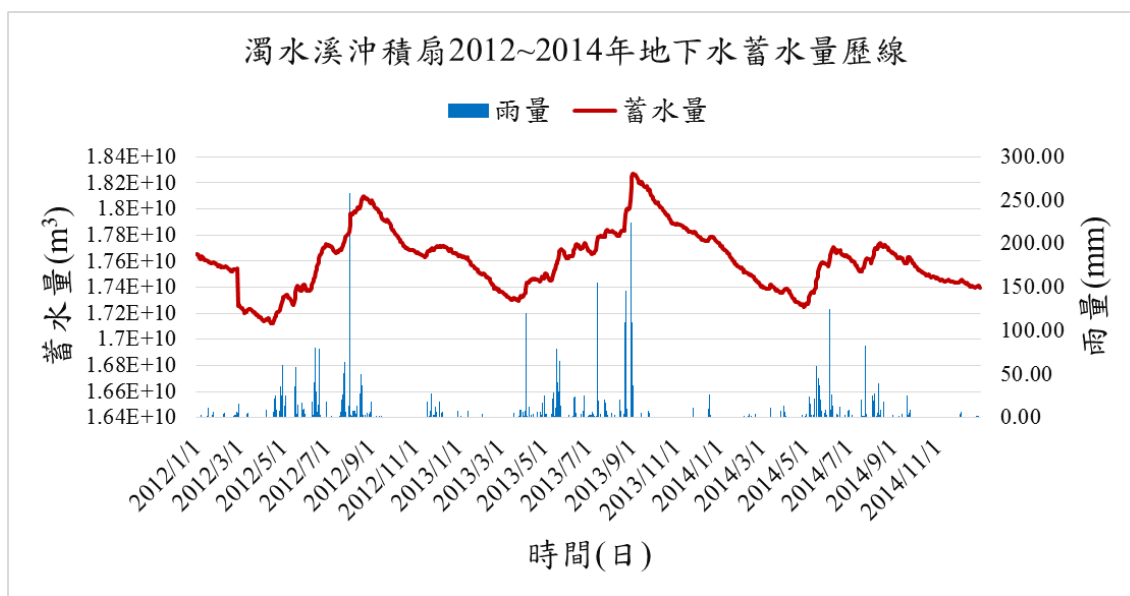


圖 4-38 濁水溪沖積扇 2012~2014 年地下水蓄水量歷線

本研究藉由分析濁水溪沖積扇 2012~2014 年之地下水蓄水量歷線可以得到地下水之流出量、流入量以及流失量，茲將此三個量體之估算結果分述如下：

(1) 地下水系統流出量

根據濁水溪沖積扇之邊界辨識可得知其邊界地下水之流動方向為流向區內，因此其地下水系統之流出量主要為抽水量組成。濁水溪沖積扇之非灌溉抽水率與

一期稻旱混作、一期純旱作與二期純旱作等灌溉抽水率皆可由無降雨日之地下水蓄水量歷線退水線段所推估而得，而二期稻旱混作之灌溉抽水率須由農田水利會之灌溉抽水紀錄、各期作耕作面積比例以及一期稻旱混作之抽水量估算而得。本研究根據 2012~2014 年濁水溪沖積扇之地下水蓄水量歷線，並配合農田水利會抽水紀錄以及各期作耕作面積比例，估算濁水溪沖積扇之年非灌溉抽水量約 8.67 億噸，年灌溉抽水量約 14.90 億噸，其分年估算結果如表 4-19 所示。

表 4-19 濁水溪沖積扇 2012~2014 年地下水抽水量估計結果

單位：億噸

| 年份 | 非灌溉 抽水量 | 灌溉抽水量 | | | |
|------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| | | 一期 稻旱混作 | 二期 稻旱混作 | 一期 純旱作 | 二期 純旱作 |
| 2012 | 8.61 | 6.04 | 7.13 | 0.64 | 0.85 |
| 2013 | 8.90 | 5.27 | 7.94 | 0.69 | 1.13 |
| 2014 | 8.50 | 5.54 | 8.06 | 0.55 | 0.71 |
| 平均 | 8.67 | 5.62 | 7.71 | 0.63 | 0.90 |

(2) 地下水系統流入量

濁水溪沖積扇之地下水系統流入量相當複雜，於地面水流入量部分包含雨水補注量與河水補注量，於地下水流入量部分包含區外補注量以及灌溉補注量。本研究於估算每日地下水系統流入量時根據當日降雨量歷線，將地下水系統流入量分為降雨日補注量與非降雨日補注量，降雨日之補注量主要為雨水補注量與河水補注量所組成，而非降雨日之補注量為區外地下水流入量與灌溉補注量所組成，濁水溪沖積扇之地下水系統流入量可表示如下。

$$Q_{in,all}^{LTK} = Q_R^{LTK} + Q_{N,R}^{LTK} = Q_{rain}^{LTK} + Q_{river}^{LTK} + Q_{gw}^{LTK,O,B} + Q_{gw}^{LTK,A} \quad (4-5)$$

其中， $Q_{in,all}^{LTK}$ 為濁水溪沖積扇地下水系統之總流入量(L^3)； Q_R^{LTK} 為濁水溪沖積扇地下水系統之降雨日流入量(L^3)； $Q_{N,R}^{LTK}$ 為濁水溪沖積扇地下水系統之非降雨日流入量(L^3)； Q_{rain}^{LTK} 為濁水溪沖積扇地下水系統之雨水補注量(L^3)； Q_{river}^{LTK} 為濁水溪沖積扇地下水系統之河水補注量(L^3)； $Q_{gw}^{LTK,O,B}$ 為濁水溪沖積扇地下水系統之區外地下水流入量(L^3)； $Q_{gw}^{LTK,A}$ 為濁水溪沖積扇地下水系統之灌溉補注量(L^3)。

本研究設定雨水中所含之同位素差異比為 δ_{rain} ，河水中所含之同位素差異比為

δ_{river} ，邊界地下水流入中所含之同位素差異比為 δ_{gw}^B ，區內地下水中所含之同位素差異比為 δ_{gw} ，假設地下水之氧同位素無季節性變化、雨水及河水之氧同位素會隨豐枯水期而變化，而且地下水系統之流入量、流失量及抽水量不足以影響地下水平均氧同位素組成，來推導同位素質量守恆方程式即可得到地下水系統各流入來源所佔之比例，四者依據質量守恆應滿足式 4-6，將各項地下水系統入流量體之估算結果以及同位素差異比帶入方程式中，便計算出公式中各項入流量之體積，以此分離出雨水入滲補注量與河水入滲補注量。

$$\delta_{gw} = \delta_{rain} \left[\frac{Q_{rain}}{Q_{in}} \right] + \delta_{river} \left[\frac{Q_{river}}{Q_{in}} \right] + \delta_{gw}^B \left[\frac{Q_{gw}^{O,B}}{Q_{in}} \right] + \delta_{gw} \left[\frac{Q_{gw}^A}{Q_{in}} \right] \quad (4-6)$$

本研究以氧同位素分析法釐定降雨日之補注量，根據濁水溪沖積扇之地下水來源將式(4-6)改寫為下式：

$$\delta_{gw}^{LTK} = \delta_{rain}^{LTK} \left[\frac{Q_{rain}^{LTK}}{Q_{in,all}^{LTK}} \right] + \delta_{river}^{LTK} \left[\frac{Q_{river}^{LTK}}{Q_{in,all}^{LTK}} \right] + \delta_{gw,B}^{LTK} \left[\frac{Q_{gw}^{LTK,O,B}}{Q_{in,all}^{LTK}} \right] + \delta_{gw}^{LTK} \left[\frac{Q_{gw}^{LTK,A}}{Q_{in,all}^{LTK}} \right] \quad (4-7)$$

其中， δ_{gw}^{LTK} 為濁水溪沖積扇地下水之同位素差異比； δ_{rain}^{LTK} 為濁水溪沖積扇雨水之同位素差異比； δ_{river}^{LTK} 為濁水溪沖積扇河水之同位素差異比； $\delta_{gw,B}^{LTK}$ 為區外地下水之同位素差異比。

式(4-7)中 $Q_{gw}^{LTK,A}$ 可由灌溉抽水量乘上一灌溉入滲比率求得，其值在濁水溪沖積扇設定為 0.253 (Hsu et al. 2013)， $Q_{gw}^{LTK,O,B}$ 可由非降雨日灌溉補注量減去灌溉補注量得到，而雨水補注量(Q_{rain}^{LTK})與河水補注量(Q_{river}^{LTK})為待求解之未知數，在此令

$$\left[\frac{Q_{rain}^{LTK}}{Q_{in,all}^{LTK}} \right] = X^{LTK} \text{ 為河水補注量比例； } \left[\frac{Q_{gw}^{LTK,O,B}}{Q_{in,all}^{LTK}} \right] = B^{LTK} \text{ 為區外地下水流入量比例； } \\ \left[\frac{Q_{gw}^{LTK,A}}{Q_{in,all}^{LTK}} \right] = A^{LTK} \text{ 為灌溉補注量比例；則式(4-15)可改寫為下式：}$$

$$\delta_{gw}^{LTK} = \delta_{rain}^{LTK} X^{LTK} + \delta_{river}^{LTK} [1 - X^{LTK} - B^{LTK} - A^{LTK}] + \delta_{gw,B}^{LTK} B^{LTK} + \delta_{gw}^{LTK} A^{LTK} \quad (4-8)$$

其中， $1 - X^{LTK} - B^{LTK} - A^{LTK}$ 為河水補注量比例，而 δ_{gw}^{LTK} 、 δ_{rain}^{LTK} 、 δ_{river}^{LTK} 、 $\delta_{gw,B}^{LTK}$ 由表 4-1 可得知，求解式(4-8)之質量守恆方程式後，求得濁水溪沖積扇之雨水與河水入滲補注比例於枯水期平均為 0.41：0.59；於豐水期平均為 0.60：0.40。

由前述計算可得濁水溪沖積扇於研究年限內之地下水系統流入量及其釐定結

果如表 4-20 所示，總入流量年平均為 29.06 億噸，其中區外地下水流入量年平均為 9.39 億噸、雨水補注量年平均為 8.41 億噸、河水補注量年平均為 7.51 億噸以及灌溉補注量年平均為 3.77 億噸。

表 4-20 濁水溪沖積扇地下水系統流入量估計結果

單位：億噸

| 年份 | 總流入量 | 區外地下水流入量 | 雨水補注量 | 河水補注量 | 灌溉補注量 |
|------|-------|----------|-------|-------|-------|
| 2012 | 29.06 | 9.39 | 8.41 | 7.51 | 3.75 |
| 2013 | 28.99 | 8.48 | 9.01 | 7.70 | 3.80 |
| 2014 | 23.98 | 8.50 | 6.46 | 5.25 | 3.76 |
| 平均 | 27.34 | 8.79 | 7.96 | 6.82 | 3.77 |

(3) 地下水系統流失量

地下水系統之流失量主要為地下水流失至河道之基流量所引致地下水蓄水量減少，根據前面計算所得之濁水溪沖積扇地下水總流入量與總流出量，以及由蓄水量歷線計算得到之蓄水變化量，並可算得濁水溪沖積扇地下水系統之流失量，於研究年限內之流失量計算結果為年平均 4.85 億噸。茲將濁水溪沖積扇地下水系統之各項流入流出量辨識與計算結果整理並列於中。

表 4-21 濁水溪沖積扇地下水平衡分析結果

單位：億噸

| 年份 | 降雨量 (mm) | 總補注 量 | 區外補 注量 | 雨水補 注量 | 河水補 注量 | 灌溉補 注量 | 非灌溉 抽水量 | 灌溉抽 水量 | 蓄水變 化量 | 流失量 |
|------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------|
| 2012 | 1734 | 29.06 | 9.39 | 8.41 | 7.51 | 3.75 | 8.61 | 14.82 | -0.53 | 6.16 |
| 2013 | 1914 | 28.99 | 8.48 | 9.01 | 7.70 | 3.80 | 8.90 | 15.03 | -0.08 | 5.14 |
| 2014 | 1024 | 23.98 | 8.50 | 6.46 | 5.25 | 3.76 | 8.50 | 14.85 | -2.63 | 3.25 |
| 平均 | 1557 | 27.34 | 8.79 | 7.96 | 6.82 | 3.77 | 8.67 | 14.90 | -1.08 | 4.85 |

本研究以水平衡分析法重新推估濁水溪沖積扇範圍內 2012 年至 2015 年之抽水量，藉由 2012 年至 2015 年之地下水蓄水量歷線以及農委會灌溉管理情勢資料庫之各期作抽水量與耕作面積，估算出 2012 年至 2015 年之非灌溉與灌溉抽水率，如表 4-22 所示。

表 4-22 非灌溉與各期作灌溉抽水斜率

單位：百萬噸/日

| | 2012 年 | 2013 年 | 2014 年 |
|--------|--------|--------|--------|
| 非灌溉抽水 | -2.22 | -2.51 | -2.40 |
| 一期稻旱混作 | -8.76 | -9.67 | -9.95 |
| 一期純旱作 | -3.02 | -4.55 | -3.24 |
| 二期純旱作 | -3.07 | -3.89 | -4.37 |

本研究經由 2012 年及 2014 年彰雲地區 40 口試驗水井之抽水量與耕作紀錄資料，配合濁水溪沖積扇範圍內之降雨量資料，所訂定降雨後停止灌溉之降雨門檻值分為兩種，於一、二期稻旱混作期間(2 月~5 月及 7 月~10 月)因作物所需水量較高因此降雨門檻值為 1 mm/日，於一、二期純旱作期間(1 月、6 月、11 月~12 月)因作物需水量較低因此降雨門檻值為 0.5 mm/日。將表 4-22 配合前述之降雨門檻值，以及各期作耕作面積，以估算濁水溪沖積扇範圍內之非灌溉與灌溉抽水量，如表 4-23 所示，其中灌溉抽水多集中於每年二月至五月及七月至十月期間，反應一、二期作水稻灌溉生長所需之水量；而非灌溉抽水量包含生活、養殖、畜牧及工業用水，每日所需水量幾乎全年相同，因此各月之非灌溉抽水量變化不大。由表 4-23 可得知 2012 年至 2014 年之平均非灌溉抽水量約為 8.66 億噸，平均灌溉抽水量約為 15.52 億噸，平均年總抽水量約為 24.18 億噸，每平方公里之年抽水量約為 0.94 百萬噸，介於前人研究中每平方公里抽水量估算結果 0.48 至 1.34 百萬噸之間，如表 4-24 所示。

表 4-23 水平衡分析法所之估算濁水溪沖積扇範圍內抽水量

單位：億噸

| 年度 | 月份 | 非灌溉抽水量 | 灌溉抽水量 | 總抽水量 |
|------|-----------|-------------|--------------|--------------|
| 2012 | 1 月至 6 月 | 4.24 | 6.84 | 11.08 |
| | 7 月至 12 月 | 4.37 | 7.99 | 4.37 |
| | 合計 | 8.61 | 14.83 | 23.44 |
| 2013 | 1 月至 6 月 | 4.47 | 5.96 | 10.43 |
| | 7 月至 12 月 | 4.43 | 9.07 | 13.5 |
| | 合計 | 8.91 | 15.03 | 23.94 |
| 2014 | 1 月至 6 月 | 4.12 | 6.08 | 10.2 |
| | 7 月至 12 月 | 4.38 | 8.77 | 13.15 |
| | 合計 | 8.50 | 14.85 | 23.35 |
| 平均 | | 8.67 | 14.90 | 23.58 |

表 4-24 濁水溪沖積扇抽水量估算相關研究結果

| 抽水量研究 | 方法 | 單位面積年抽水量 (百萬噸/平方公里) | 濁水溪沖積扇 年總抽水量 (億噸/年) |
|------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| 曹以松等(1989) | 水平衡法配合 有限元素數值模式 | 0.61 | 15.63 |
| 水資會(1992) | 現場調查 | 1.17 | 29.98 |
| 張誠信(1996) | 3DFEWA 模擬 | 0.59 | 15.12 |
| 水利處(1997) | 水平衡法 | 0.78 與 0.48 | 19.98 與 12.30 |
| 葉文工(1998) | MODFLOW 模擬 | 0.56 | 14.35 |
| 林再興等(1998) | MODFLOW 模擬 | 1.34 | 34.33 |
| 水利處(2001) | MODFLOW 模擬 | 0.49 | 12.55 |
| 張良正與劉振宇(2002) | MODFLOW 模擬 | 1.28 | 32.79 |
| 江崇榮等(2006) | 地下水歷線分析法 (未考慮旱作抽水) | 0.64 | 16.40 |
| 雲林科技大學與農工 中心(2000 至 2008) | 抽水機用電量推估 | 1.04 | 26.64 |
| 本研究 | 地下水歷線分析法 (考慮非灌溉與灌溉抽水) | 0.92 | 23.58 |
| 本研究 | 用電量推估法 (考慮非灌溉與灌溉抽水) | 1.20 | 30.69 |

資料來源：行政院農業委員會（2015）。104 年「提升灌溉用水效率策略規劃與優化灌溉管理決策輔助機制」

計畫整理。頁 32。

4.6 濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量推估結果比較

本研究分別應用電量推估法與水平衡分析法推估濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量，並期望藉由比較此兩種方法之推估結果以獲得更客觀之結果，為了較客觀比較 2012 年至 2014 年濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量推估結果，因此比較 2012 年至 2014 年本研究用電量推估法與水平衡分析法之推估結果。

用電量推估法與水平衡分析法推估之灌溉抽水量結果比較

將本研究 2012 年 1 月至 2014 年之用電量推估灌溉抽水量結果(如附錄一)及本研究以水平衡分析法推估 2012 至 2014 年濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量結果皆列於表 4-25，此外為做參考也將成大地層下陷防治服務團之用電量推估法灌溉抽水量結果列於表 4-25。由表 4-25 可看出本研究以用電量推估法在 2012 年上半年所推估之灌溉抽水量較下半年所推估之抽水量多，而以水平衡推估法在 2012 年上半年所推估之灌溉抽水量較下半年所推估之抽水量少，其原因為用電量推估法主要是以抽水井之用電量來推估抽水量，根據台電所提供之用電量資料發現 2012 年上半年用電量較下半年之用電量大，因此以用電量推估法所推估之灌溉抽水量在 2012 年上半年所推估之灌溉抽水量較下半年所推估之抽水量多；而水平衡推估法為假設濁水溪沖積扇範圍內之各期作灌溉抽水量之比例與農田水利會灌區內之耕作面積比例相同，且各期作灌溉抽水量在時間上的分布與農田水利會抽水紀錄相同，根據 2012 年農田水利會耕作面積紀錄所推估出來之二期旱作與稻旱混作之灌溉抽水量高於一期旱作與稻旱混作之灌溉抽水量，因此以水平衡推估法所推估出來濁水溪沖積扇範圍內 2012 年下半年之灌溉抽水量會大於 2012 年之上半年之灌溉抽水量。

比較本研究以用電量推估法與水平衡分析法所推估之 2012~2014 年濁水溪沖積扇範圍內年灌溉抽水量，可發現其結果相近，因此本研究之推估結果應屬合理範圍。而在濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量時間之分布上，用電量分析法為使用 21 萬餘口抽水井之月用電量資料來推估灌溉抽水量，而水平衡分析法僅使用濁水溪沖積扇範圍內 60 餘口地下水位觀測井紀錄資料與農田水利會 36 旬抽水量紀錄以及耕作面積資料來推估灌溉抽水量，因此用電量推估法所推估之灌溉抽水量時間分布可信度應較高。

表 4-25 本研究所推估之濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量結果比較

單位：億噸

| | 本研究之 用電量推估法 (灌溉抽水量) | 本研究之 水平衡分析法 (灌溉抽水量) | 成大地層下陷防治 服務團之 用電量推估法 (灌溉抽水量) |
|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 2012 年 1-6 月 | 8.07 | 6.84 | - |
| 2012 年 7-12 月 | 6.44 | 7.99. | - |
| 2012 年合計 | 14.51 | 14.83 | - |
| 2013 年 1-6 月 | 7.64 | 5.96 | 4.59 |
| 2013 年 7-12 月 | 6.74 | 9.07 | 4.46 |
| 2013 年合計 | 14.38 | 15.03 | 9.05 |
| 2014 年 1-6 月 | 8.63 | 6.08 | 4.86 |
| 2014 年 7-12 月 | 8.55 | 8.77 | 4.79 |
| 2014 年合計 | 17.18 | 14.85 | 9.65 |

4.7 濁水溪沖積扇範圍內非灌溉抽水量推估結果比較

本研究分別應用電量推估法與水平衡分析法推估濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量，並期望藉由比較此兩種方法之推估結果以獲得更客觀之結果，除了比較 2012 年至 2014 年濁水溪沖積扇範圍內灌溉抽水量推估結果，亦比較 2012 年至 2014 年濁水溪沖積扇範圍內非灌溉抽水量推估結果。

用電量推估法與水平衡分析法推估之非灌溉抽水量結果比較

將本研究 2012 至 2014 年之用電量推估非灌溉抽水量結果(如表 4-16)及本研究以水平衡分析法推估 2012 至 2014 年濁水溪沖積扇範圍內非灌溉抽水量結果皆列於表 4-26，比較本研究以用電量推估法與水平衡分析法所推估之 2012~2014 年濁水溪沖積扇範圍內年非灌溉抽水量，可發現本研究用電量推估法高於水平衡分析法，其原因應為非灌溉用水之水井特性及馬達馬力因素與灌溉用水之水井不同，造成用電量推估法易產生偏差，亦可能為非灌溉抽水井較難以水平衡分析法估計。建議可將兩種方法結合，以水平衡分析法推估抽水量，並利用用電量推估法所推得之抽水量比例及各水井位置資料來進行空間上之分配，以用電量推估法所推估抽水量之時間分布為基準，以獲得濁水溪沖積扇範圍內非灌溉抽水量之時間與空間上之分佈，利於往後進一步研究分析或資料應用之用途。

表 4-26 本研究所推估之濁水溪沖積扇範圍內非灌溉抽水量結果比較

單位：億噸

| | 本研究之用電量推估法 (非灌溉抽水量) | 本研究之水平衡分析法 (非灌溉抽水量) |
|---------------|------------------------|------------------------|
| 2012 年 1-6 月 | 6.98 | 4.24 |
| 2012 年 7-12 月 | 7.66 | 4.37 |
| 2012 年合計 | 14.64 | 8.61 |
| 2013 年 1-6 月 | 7.25 | 4.47 |
| 2013 年 7-12 月 | 7.99 | 4.43 |
| 2013 年合計 | 15.24 | 8.91 |
| 2014 年 1-6 月 | 7.22 | 4.12 |
| 2014 年 7-12 月 | 8.90 | 4.38 |
| 2014 年合計 | 16.12 | 8.50 |

第五章 結論與建議



本研究為建立區域性區域性地下水抽水量之估算方法，並將其應用於濁水溪沖積扇，根據本研究過程與結果得到幾點結論與建議，茲將結論與建議分別敘述如下：

5.1 結論

本研究之結論如下：

1. 本研究建立一套方法，結合 K-means 聚類法、類神經網路方法及抽水馬達用電量推估法，以估算一區域性抽水量。
2. 本研究所建立之用電量推估抽水量模式，以不同方式進行抽水量之評估，包含不分類水井及先以 K-means 聚類法及三種不同的類神經網路方法針對不同抽水效率($\frac{\text{抽水量}}{\text{用電量}}$)進行試驗水井分類，建立不同抽水量評估模式後，最後將該方法應用於濁水溪沖積扇，並且比較不同類神經網路方法之準確度。由前述所得之抽水效率分類結果，利用 2012 及 2014 年試驗水井資料，針對四種分類之抽水量推估模式分別進行參數檢定，所用參數檢定之優選模式為一非線性規劃 (Non-Linear Programing, NLP) 模式，乃採用 Lingo11 套裝軟體進行求解，得到各分類之非線性推估模式，亦推求不分類之抽水量推估模式的參數。
3. 因分類抽水量推估模式，須先取得抽水量與用電量資料計算出抽水效率才能加以分類，然而對於一般抽水井而言僅有月用電量資料，抽水量為待推估數值，故無法直接以 K-means 聚類法對一般抽水井進行分類，故本研究以倒傳遞類神經網路方法(BPNN)、即時回饋學習演算法(RTRL)及調適性網路模糊推論系統 (ANFIS)等三種方法，將馬達馬力(P)、出水管徑(D)、抽水揚程(L)當作模式輸入項，以分類類別作為輸出項，並以 K-means 聚類法之分類結果作為類神經網路模式訓練之基礎，建立三種抽水特性分類模式，以獲得較準確且良好之用電量推估抽水量模式，率定結果發現，相關係數(CC)及效率係數(CE)在經過分類後均提升且均方根誤差(RMSE)值降低，可表示先進行抽水效率分類之推估模式能獲得更準確的抽水量推估結果；比較三種類神經網路分類結果，又以 BPNN 結果最佳，RTRL 次之，ANFIS 較差，不分類推估模式最差，故 BPNN 用於抽水井效率分類應具有相當程度之準確度，因此，建議可以 BPNN 處理相關分類

問題。

4. 本研究所建立之用電量推估抽水量模式，可估算 2012 年灌溉抽水量為 **14.51** 億噸，2013 年灌溉抽水量為 **14.38** 億噸，2014 年灌溉抽水量為 **17.18** 億噸，2015 年灌溉抽水量為 **17.06** 億噸，2016 年 1 月至 4 月灌溉抽水量約為 **5.15** 億噸；本研究所建立水平衡分析法所估算之抽水量，2012 年地下水抽水量為 **14.83** 億噸，2013 年地下水抽水量為 **15.03** 億噸，2014 年地下水抽水量為 **14.85** 億噸；本研究於灌溉水井推估結果尚屬準確，適合運用於灌溉用水井之管理。
5. 本研究所建立之用電量推估抽水量模式，可估算 2012 年非灌溉抽水量為 **14.64** 億噸，2013 年灌溉抽水量為 **15.24** 億噸，2014 年灌溉抽水量為 **16.12** 億噸，2015 年灌溉抽水量為 **15.76** 億噸，2016 年 1 月至 4 月灌溉抽水量約為 **5.67** 億噸；本研究所建立水平衡分析法所估算之抽水量，2012 年地下水抽水量為 **8.61** 億噸，2013 年地下水抽水量為 **8.91** 億噸，2014 年地下水抽水量為 **8.50** 億噸；本研究於非灌溉水井推估結果，兩種方法差距甚大，建議可將兩種方法結合，以水平衡分析法推估抽水量，並利用用電量推估法所推得之抽水量比例及各水井位置資料來進行空間上之分配，以用電量推估法所推估抽水量之時間分布為基準，以獲得濁水溪沖積扇範圍內非灌溉抽水量之時間與空間上之分佈，利於往後進一步研究分析或資料應用之用途。
6. 本研究推估濁水溪沖積扇範圍內各鄉鎮地下水抽水量之結果，發現灌溉用水抽水量是主要抽水(抽水最大)，比較各標的各鄉鎮於枯水期(12月~4月)之抽水量，以芳苑鄉及二林鎮灌溉用水抽水量較高，西螺鎮、荊桐鄉及埤頭鄉工業用水抽水量較高，和美鎮、彰化市及溪湖鎮民生用水抽水量較高，芳苑鄉、大城鄉及麥寮鄉養殖用水抽水量較高，芳苑鄉及二崙鄉畜牧用水抽水量較高，麥寮鄉、二林鎮及溪湖鎮其他用水抽水量較高。




5.2 建議

本研究之建議如下所述：

1. 本研究可以很細緻地探討各個空間尺度下的抽水量(單口井、一村里、一鄉鎮或一縣)；而水平衡分析法僅能計算濁水溪沖積扇之總抽水量，無法取得抽水量之空間分布。本研究以兩種方式推估抽水量，可以將用電量推估法與水平衡分析法之抽水量推估結果平均，並利用用電量推估法之水井位置資料來進行空間上及時間上之分配，利於往後進一步研究分析或資料應用之用途。
2. 本研究推估之抽水井數量高達 21 萬口，惟有實測資料之試驗水井僅有 2012 年及 2014 年之彰雲地區試驗水井共 40 口 256 筆資料，所需推估之抽水井與試驗井之數量差距甚大，容易產生較大誤差，需要有更多的實測資料，俾利降低誤差，提高所估算抽水量之精確度與可信度。
3. 本研究所建立之推估模式為月為時距進行模擬，如需計算每日地下水抽水量，恐有偏估之情形，建議未來可以一日為時距進行模擬，以準確模擬每日地下水抽水量，降低誤差，另抽水量之結果可與當月降雨量紀錄進行比較，分析何種標的或鄉鎮在乾旱月份有超抽情形；亦可將時間尺度放大到年度，比較乾旱年抽水量是否大於其他年份，做為限水政策及地下水抽水管理政策參考。
4. 各標的用水井之平均馬達馬力大小不同，本研究均以 7.5HP 做為區分大馬力水井及非大馬力水井之依據，建議未來可依據不同標的訂定不同標準，以符合各標的之馬達馬力特性。
5. 本研究所建立之用電量推估抽水量模式及水平衡分析，所推估之非灌溉抽水量差距較大，建議後續探討是否為非灌溉水井與灌溉水井之水井特性或馬達馬力因素之影響，亦或者為水平衡分析方法是否較不適合運用於非灌溉用水井之推估，建議可探討造成誤差之原因。
6. 因各標的水井之平均深度不同，所位於之含水層也不同，本研究因未能取得個抽水井之井深，假設各標的水井均位於第一層含水層，建議後續如取得井深資料，可納入本抽水量推估模式。
7. 本研究因未取得 2015 年每日之地下水位，故無法計算 2015 年之水平衡分析，建議後續如取得相關資料，可比較 2015 年之用電量推估法及水平衡分析法知結果。

參考文獻

- 
- Aizaki H., Sato K. and Osari H., (2006), Contingent valuation approach in measuring the multifunctionality of agriculture and rural areas in Japan. *Paddy and Water Environment*, 4, pp.217–222.
- Bear, J., (1979), *Hydraulics of Groundwater*, New York : McGraw-Hill Book Co.
- Chu, H.J. and Chang, L.C., (2009). Optimal control algorithms and neural network for dynamic groundwater management. *Hydrological Processes*, 23, pp.2765–2773.
- Coppola, E.A., Szidarovszky, F., Davis, D., Spayd, S., Poulton, M.M. and Roman, E., (2007). Multiobjective analysis of a public wellfield using artificial neural networks. *Ground Water*, 45(1), pp.53–61.
- Dahan, O., McGraw, D., Adar, E., Pohll, G., Bohm, B., and Thomas, J.(2004). Multi-variable mixing cell model as a calibration and validation tool for hydrogeologic groundwater modeling. *Journal of Hydrology*, 293(1–4), pp.115–136.
- Dhar, A. and Datta, B., (2009). Saltwater intrusion management of coastal aquifers. I: linked simulation-optimization. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(12), pp.1263–1272.
- Hsu, N. S., Chiang, C. J., Wang, C. H., Liu, C. W., Huang, C. L., and Liu, H. J. (2013). Estimation of pumpage and recharge in alluvial fan topography under multiple irrigation practices. *Journal of Hydrology*, 479, pp.35–50.
- Ioannis, N., Daliakopoulos, P.C. and Ioannis, K., (2005). Groundwater level forecasting using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 309, pp.229–240.
- Karamouz, M., Tabari, M.M.R. and Kerachian, R., (2007). Application of genetic algorithms and artificial neural networks in conjunctive use of surface and groundwater resources. *Water International*, 32(1), pp.163–176.
- Kim, N. W., Chung, I. M., Won, Y. S., and Arnold, J. G. (2008). Development and application of the integrated SWAT–MODFLOW model. *Journal of Hydrology*, 356(1–2), pp.1–16.
- Kourakos, G. and Mantoglou, A., (2009). Pumping optimization of coastal aquifers based on evolutionary algorithms and surrogate modular neural network models. *Advances in Water Resources*, 32(4), pp.507–521.

- 
- MacQueen, J.B., (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations., *Proc. Fifth Berkeley Symp. on Math. Statist. and Prob., Vol. 1* (Univ. of Calif. Press, 1967), pp.281-297.
- Nikolos, I.K., Stergiadi, M., Papadopoulou, M.P. and Karatzas, G.P., (2008). Artificial neural networks as an alternative approach to groundwater numerical modeling and environmental design. *Hydrological Processes*, 22, pp.3337-3348.
- Parlos, A.G., O.T. Rais, & A.F. Atiya, (2000). Multi-step ahead prediction using dynamic recurrent neural networks. *Neural Networks*, vol.13, pp.765—786.
- Rao, S.V.N., Bhallamudi, S.M., Thandaveswara, B.S. and Mishra, G.C., (2004). Conjunctive use of surface and groundwater for coastal and deltaic systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(3), pp.255-267.
- Safavi, H.R., Darzi, F. and Mariño, M.A., (2009). Simulation-optimization modeling of conjunctive use of surface water and groundwater. *Water Resources Management*, 24, pp.1965-1988.
- Sheffer, N. A., Dafny, E., Gvirtzman, H., Navon, S., Frumkin, A., and Morin, E. (2010). Hydrometeorological daily recharge assessment model (DREAM) for the Western Mountain Aquifer, Israel: Model application and effects of temporal patterns. *Water Resources Research*, 46(5).
- The ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000. Artificial neural networks in hydrology. II: hydrologic applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), pp.124-137.
- 川源股份有限公司。泵浦技術文件。取自 <http://www.cmsa-pumps.com/>
- 王韋勳 (2012)。名竹盆地地下水流數值模式之建立與應用。國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 江崇榮、陳瑞娥、賴慈華、黃智昭 (2005)。濁水溪沖積扇地下水區之補注水源評估。第二屆資源工程研討會，86-91。
- 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥 (2006)。以地下水歷線分析法評估濁水溪沖積扇之地下水收支。經濟部中央地質調查所彙刊，19，61-89。
- 行政院農業委員會 (2015)。104 年「提升灌溉用水效率策略規劃與優化灌溉管理決策輔助機制」計畫。委託淡江大學水資源管理與政策研究中心執行。臺北市。
- 行政院農業委員會 (2016)。105 年度「農田水利事業輔導策略及灌區外農田水利

設施補助業務審查與督考」計畫。委託淡江大學水資源管理與政策研究中心執行。臺北市。

李冠緯 (2013)。利用經驗正交函數法檢定含水層水文地質參數。國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。

林再興、林崇亮 (2001)。濁水溪沖積扇地下水資源蘊藏量之研究。第四屆地下水資源與水質保護研討會，295-303。

林郁仲 (2006)。全域最佳解應用於地下水抽水源鑑定分析。國立交通大學環境工程研究所博士論文。

林聖婷 (2012)。濁水溪沖積扇補注量與抽水量空間分佈模式建立。國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。

吳富春 (2004)。水田生態環境微氣候模式及二氧化碳流通量模式分析。推廣水田生態環境保護及地下水涵養補注計畫成果報告，行政院農業委員會。

徐年盛、江崇榮、汪中和、劉振宇、劉宏仁、黃建霖 (2012)。多類灌溉型式地下水系統抽水量與補注量之估算。農業工程學報，58(1)，69-90。

徐年盛、汪中和、江崇榮、劉振宇、黃建霖、楊艾芸 (2009)。結合地下水平衡分析結果與氫氧同位素分析推估濁水溪沖積扇地下水各補注水源之水量。第七屆地下水資源及水質保護研討會，36-45。

許昊 (2010)。地下水補注量推估之研究—以濁水溪沖積扇為例。國立臺灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。


陳敬文、黃浩烈、徐年盛 (2013)。水稻深水灌溉最佳田埂高度之決定。農業工程學學報 59(2)，64-81。

陳希軍 (2013)。臺中盆地地下水流數值模式之建立。國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。

陳昶憲、黃尹龍、吳青俊、蔡曜隆 (2001)。應用倒傳遞與反傳遞類神經網路模式於洪流量之預測。臺灣水利，49(3)，65-77。

陳昶憲、楊朝仲、王益文 (1996)。類神經網路於烏溪流域洪流預報之應用。中華水土保持學報 27(4)，267-274。

陳昶憲、蔡國慶、黃尹龍 (2001)。模糊類神經網路應用於集水區出流量之預測。中國土木水利學刊，13(2)，395-404。

- 
- 曹以松、施嘉昌、徐年盛、鄭昌奇 (1989)。濁水溪平原地下水數學模式之評估與應用，農業工程研究中心研究報告。
- 張倉榮、高宏名、林玫珊 (2006)。水田區調洪減災生態功能之三維度量化分析與試驗研究。農業工程學報 52(4)，89-90。
- 張斐章、張麗秋 (2010)。類神經網路導論：原理與應用，滄海出版社。
- 馮寶蓮 (2006)。地下水井抽水推估之研究-以台南縣後壁鄉、安定鄉及高雄縣大樹鄉、林園鄉為例。國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程研究所碩士論文。
- 經濟部水利署 (2003)。雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心九十二年度工作推動計畫總報告。臺北市。
- 經濟部水利署 (2006)。雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心九十五年度工作推動計畫。臺北市。
- 經濟部水利署 (2012)。104 年用水統計年報彙編。臺北市。
- 經濟部水利署 (2011)。臺灣地區地下水觀測網整體計畫(81-97 年度)成果彙編-濁水溪沖積扇篇。臺北市。
- 溫志超 (2005)。「雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心九十四年度工作推動計畫」補助計畫-彰化雲林地區台西、麥寮、竹塘及溪湖四鄉鎮水井清查，經濟部水利署。
- 農業工程研究中心 (2004)。水田於農業及都會區域溫度和緩之評估。桃園市。
- 臺中市政府水利局 (2014)。臺中盆地地下水抽補滯洪功能可行性探討計畫。委託國立臺灣大學水工試驗所執行。臺中市。
- 歐靚芸 (2012)。結合聚類法與類神經網路發展颱風淹水預警系統。國立臺灣大學工學院土木工程學系碩士論文。
- 蔡明華 (2008)。台灣水田灌溉農業之三生功能價值。豐年 58(11)，26-30。
- 劉振宇 (2008)。水田三生機能效益評估及實例分析。農業水利九十七年度計畫成果發表討論會論文集，7-18。
- 謝堽煌、陳忠偉、葉信富、李振誥 (2007)。應用河道水位變化評估新虎尾溪地下水補注量之研究。農業工程學報，53(2)，50-60。

附錄一三種不同之類神經網路方法估算之灌溉抽水量

表附-1 濁水溪沖積扇範圍內 2012 年之灌溉抽水量推估結果(以 BPNN 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2012 年 1~6 月 | 2012 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 7.26 | 6.13 | 13.39 |
| 大馬力水井 | 0.07 | 0.06 | 0.13 |
| 無資料水井 | 0.09 | 0.08 | 0.17 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.65 | 0.18 | 0.83 |
| 合計 | 8.07 | 6.44 | 14.51 |

表附-2 濁水溪沖積扇範圍內 2013 年之灌溉抽水量推估結果(以 BPNN 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2013 年 1~6 月 | 2013 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 7.15 | 6.44 | 13.59 |
| 大馬力水井 | 0.07 | 0.06 | 0.13 |
| 無資料水井 | 0.08 | 0.06 | 0.14 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.34 | 0.18 | 0.52 |
| 合計 | 7.64 | 6.74 | 14.38 |

表附-3 濁水溪沖積扇範圍內 2014 年之灌溉抽水量推估結果(以 BPNN 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2014 年 1~6 月 | 2014 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 7.77 | 7.44 | 15.21 |
| 大馬力水井 | 0.07 | 0.05 | 0.12 |
| 無資料水井 | 0.08 | 0.06 | 0.14 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.71 | 1.00 | 1.71 |
| 合計 | 8.63 | 8.55 | 17.18 |

表附-4 濁水溪沖積扇範圍內 2015 年之灌溉抽水量推估結果(以 BPNN 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2015 年 1~6 月 | 2015 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 9.47 | 6.59 | 16.06 |
| 大馬力水井 | 0.09 | 0.05 | 0.14 |
| 無資料水井 | 0.09 | 0.07 | 0.16 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.42 | 0.28 | 0.7 |
| 合計 | 10.07 | 6.99 | 17.06 |

表附-5 濁水溪沖積扇範圍內 2016 年 1 月至 4 月之灌溉抽水量推估結果(以 BPNN 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|-------|--------------|---------------|------|
| | 2016 年 1~4 月 | 2016 年 5~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 5.03 | 無電量資料 | 5.03 |
| 大馬力水井 | 0.04 | 無電量資料 | 0.04 |
| 無資料水井 | 0.05 | 無電量資料 | 0.05 |
| 彰化水利會 | 0.03 | 無資料 | 0.03 |
| 合計 | 5.15 | - | 5.15 |

表附-6 濁水溪沖積扇範圍內 2012 年之灌溉抽水量推估結果(以 RTRL 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2012 年 1~6 月 | 2012 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 12.16 | 10.4 | 22.56 |
| 大馬力水井 | 0.07 | 0.06 | 0.13 |
| 無資料水井 | 0.09 | 0.08 | 0.17 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.65 | 0.18 | 0.83 |
| 合計 | 12.97 | 10.72 | 23.69 |

表附-7 濁水溪沖積扇範圍內 2013 年之灌溉抽水量推估結果(以 RTRL 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2013 年 1~6 月 | 2013 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 10.48 | 8.77 | 19.25 |
| 大馬力水井 | 0.07 | 0.06 | 0.13 |
| 無資料水井 | 0.08 | 0.07 | 0.15 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.34 | 0.18 | 0.52 |
| 合計 | 10.97 | 9.08 | 20.05 |

表附-8 濁水溪沖積扇範圍內 2014 年之灌溉抽水量推估結果(以 RTRL 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2014 年 1~6 月 | 2014 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 11.14 | 8.3 | 19.44 |
| 大馬力水井 | 0.07 | 0.05 | 0.12 |
| 無資料水井 | 0.08 | 0.06 | 0.14 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.71 | 1 | 1.71 |
| 合計 | 12 | 9.41 | 21.41 |

表附-9 濁水溪沖積扇範圍內 2015 年之灌溉抽水量推估結果(以 RTRL 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2015 年 1~6 月 | 2015 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 13.67 | 10.18 | 23.85 |
| 大馬力水井 | 0.09 | 0.05 | 0.14 |
| 無資料水井 | 0.10 | 0.08 | 0.18 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.42 | 0.28 | 0.70 |
| 合計 | 14.28 | 10.59 | 24.87 |

表附-10 濁水溪沖積扇範圍內 2016 年 1 月至 4 月之灌溉抽水量推估結果(以 RTRL 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|-------|--------------|---------------|------|
| | 2016 年 1~4 月 | 2016 年 5~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 7.09 | 無電量資料 | 7.09 |
| 大馬力水井 | 0.04 | 無電量資料 | 0.04 |
| 無資料水井 | 0.05 | 無電量資料 | 0.05 |
| 彰化水利會 | 0.03 | 無資料 | 0.03 |
| 合計 | 7.21 | - | 7.21 |

表附-11 濁水溪沖積扇範圍內 2012 年之灌溉抽水量推估結果(以 ANFIS 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2012 年 1~6 月 | 2012 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 12.48 | 12.79 | 25.27 |
| 大馬力水井 | 0.07 | 0.06 | 0.13 |
| 無資料水井 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.65 | 0.18 | 0.83 |
| 合計 | 13.3 | 13.13 | 26.43 |

表附-12 濁水溪沖積扇範圍內 2013 年之灌溉抽水量推估結果(以 ANFIS 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2013 年 1~6 月 | 2013 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 11.42 | 10.11 | 21.53 |
| 大馬力水井 | 0.07 | 0.06 | 0.13 |
| 無資料水井 | 0.09 | 0.08 | 0.17 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.34 | 0.18 | 0.52 |
| 合計 | 11.92 | 10.43 | 22.35 |

表附-13 濁水溪沖積扇範圍內 2014 年之灌溉抽水量推估結果(以 ANFIS 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2014 年 1~6 月 | 2014 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 11.74 | 9.69 | 21.43 |
| 大馬力水井 | 0.07 | 0.05 | 0.12 |
| 無資料水井 | 0.09 | 0.08 | 0.17 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.71 | 1 | 1.71 |
| 合計 | 12.61 | 10.82 | 23.43 |

表附-14 濁水溪沖積扇範圍內 2015 年之灌溉抽水量推估結果(以 ANFIS 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|----------|--------------|---------------|-------|
| | 2015 年 1~6 月 | 2015 年 7~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 15.5 | 10.45 | 25.95 |
| 大馬力水井 | 0.09 | 0.05 | 0.14 |
| 無資料水井 | 0.12 | 0.08 | 0.2 |
| 彰化、雲林水利會 | 0.42 | 0.28 | 0.7 |
| 合計 | 16.13 | 10.86 | 26.99 |

表附-15 濁水溪沖積扇範圍內 2016 年 1 月至 4 月之灌溉抽水量推估結果(以 ANFIS 分類)

| 方法 | 抽水量(億噸) | | |
|-------|--------------|---------------|------|
| | 2016 年 1~4 月 | 2016 年 5~12 月 | 小計 |
| 推估模式 | 8.03 | 無電量資料 | 8.03 |
| 大馬力水井 | 0.04 | 無電量資料 | 0.04 |
| 無資料水井 | 0.06 | 無電量資料 | 0.06 |
| 彰化水利會 | 0.03 | 無資料 | 0.03 |
| 合計 | 8.16 | - | 8.16 |

附錄二-各標的月平均抽水量(各鄉鎮)

表附-16 各鄉鎮灌溉用水月平均抽水量



| 鄉鎮 | 1 月平均 | 2 月平均 | 3 月平均 | 4 月平均 | 5 月平均 | 6 月平均 | 7 月平均 | 8 月平均 | 9 月平均 | 10 月平均 | 11 月平均 | 12 月平均 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 二水鄉 | 51101 | 55205 | 52038 | 53093 | 48090 | 57710 | 58871 | 51809 | 54027 | 59983 | 58215 | 50505 |
| 二林鎮 | 7025540 | 8799352 | 9843704 | 9060057 | 7329797 | 8564922 | 8712146 | 8200616 | 9589185 | 8728967 | 5287293 | 4910969 |
| 二崙鄉 | 2646369 | 4474420 | 4932195 | 4328400 | 3676954 | 3985828 | 4058043 | 3891912 | 4463117 | 4043162 | 2637724 | 1910916 |
| 口湖鄉 | 619703 | 1056686 | 1509485 | 1491143 | 1135260 | 998869 | 763193 | 640741 | 755321 | 759728 | 639094 | 547293 |
| 土庫鎮 | 4370024 | 6578247 | 6911227 | 5967572 | 4860791 | 4109797 | 3858230 | 3863224 | 4449226 | 4036175 | 3091595 | 3086915 |
| 大村鄉 | 18802 | 53169 | 54251 | 29856 | 25757 | 17337 | 16966 | 24708 | 25333 | 24463 | 21981 | 20296 |
| 大城鄉 | 3369183 | 4174513 | 4375508 | 4155161 | 3472935 | 3572759 | 3366671 | 3234301 | 3557210 | 3237526 | 2458595 | 2540657 |
| 大埤鄉 | 1555413 | 1542310 | 1480278 | 1451751 | 1212575 | 1278823 | 1420656 | 1408267 | 1571729 | 1262456 | 853134 | 1106517 |
| 元長鄉 | 6115840 | 8758520 | 8882882 | 7644609 | 5849295 | 4598905 | 4166054 | 4382745 | 5255564 | 4561873 | 3444115 | 4082509 |
| 斗六市 | 432268 | 502179 | 489472 | 450024 | 402553 | 417249 | 422693 | 401671 | 415039 | 397900 | 288269 | 295007 |
| 斗南鎮 | 707354 | 1035029 | 1054567 | 916353 | 843602 | 888782 | 867216 | 785584 | 817791 | 790260 | 696725 | 589492 |
| 水林鄉 | 4711852 | 6451963 | 7253899 | 6673231 | 4846199 | 4183517 | 2614057 | 2386568 | 3034508 | 2861740 | 1616384 | 1723506 |
| 北斗鎮 | 1671838 | 2101668 | 2167014 | 2010399 | 1808785 | 2053308 | 2350722 | 2283256 | 2392943 | 2442623 | 1874857 | 1384572 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| 北港鎮 | 1627463 | 3948989 | 3936424 | 3412810 | 3207131 | 1818936 | 1857586 | 1829701 | 1899546 | 1788115 | 1695769 | 1459000 |
| 古坑鄉 | 53633 | 72752 | 75755 | 72217 | 65155 | 71149 | 71948 | 67352 | 78351 | 82081 | 66303 | 50504 |
| 臺西鄉 | 1349849 | 1617156 | 2250580 | 2594441 | 2072649 | 1872799 | 1511634 | 1321493 | 1810348 | 1975350 | 1552408 | 1350831 |
| 四湖鄉 | 3403254 | 3960189 | 4615465 | 4244377 | 3231532 | 2934660 | 2661900 | 3411000 | 3915361 | 3591662 | 2834379 | 2620587 |
| 永靖鄉 | 2046668 | 2026215 | 1962542 | 1996747 | 2042416 | 2315448 | 2440906 | 2405342 | 2438505 | 2382839 | 2113470 | 1996203 |
| 田中鎮 | 701800 | 968518 | 969819 | 884614 | 832759 | 902862 | 957979 | 927813 | 970729 | 938940 | 855221 | 706294 |
| 田尾鄉 | 4046723 | 4132001 | 4141729 | 4184437 | 4237044 | 4698494 | 5073017 | 5029249 | 5156212 | 5111926 | 4602688 | 4216245 |
| 竹塘鄉 | 2046976 | 2963744 | 3128553 | 2674831 | 2267324 | 2641807 | 2813098 | 2632014 | 3006814 | 2636662 | 1701571 | 1489115 |
| 西螺鎮 | 3792537 | 3938178 | 4196842 | 4250018 | 4200165 | 4501408 | 4919310 | 4940663 | 5322847 | 5089762 | 3444300 | 3235012 |
| 伸港鄉 | 3319534 | 3246671 | 3231560 | 2878569 | 2815956 | 3111699 | 3348169 | 3228815 | 3096025 | 2797747 | 2261651 | 2859015 |
| 秀水鄉 | 2094180 | 2343211 | 2342901 | 2016135 | 1925161 | 2254108 | 2347339 | 2182041 | 2239598 | 2023083 | 1525399 | 1682029 |
| 和美鎮 | 2880262 | 3023697 | 3047614 | 2669344 | 2573419 | 3053435 | 3058743 | 3014204 | 2960327 | 2729925 | 2143282 | 2533182 |
| 東勢鄉 | 2254119 | 3667856 | 4907256 | 4632033 | 3746563 | 3459302 | 2861694 | 2737644 | 3379074 | 3139622 | 2445912 | 2075035 |
| 林內鄉 | 20478 | 26584 | 19858 | 20327 | 17659 | 19586 | 24206 | 18351 | 19716 | 22682 | 18690 | 14499 |
| 社頭鄉 | 646071 | 689989 | 645469 | 639972 | 621125 | 680644 | 750385 | 727621 | 727774 | 691753 | 552026 | 537423 |
| 芬園鄉 | 20815 | 21086 | 21826 | 22467 | 26344 | 26913 | 28005 | 28163 | 24695 | 23792 | 21355 | 20862 |
| 芳苑鄉 | 8808858 | 10337690 | 11191097 | 10782432 | 9919930 | 11020862 | 10849588 | 10058926 | 10667265 | 9413627 | 6959009 | 6857177 |

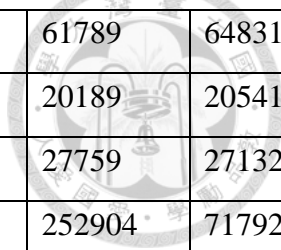
| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 虎尾鎮 | 2747202 | 4631028 | 5180146 | 4804615 | 4175188 | 3853378 | 3945422 | 3781777 | 4205195 | 4081205 | 3079606 | 2272588 |
| 員林鎮 | 94135 | 95174 | 86246 | 84227 | 67346 | 71630 | 93313 | 88219 | 100461 | 92623 | 58098 | 60320 |
| 埔心鄉 | 1376880 | 1801810 | 1821962 | 1567345 | 1425100 | 1587583 | 1676887 | 1627707 | 1670463 | 1545027 | 1314492 | 1224338 |
| 埔鹽鄉 | 5157618 | 5660510 | 5844823 | 5366202 | 4830444 | 5541324 | 6066567 | 5854590 | 6229444 | 5416691 | 3610079 | 3963178 |
| 埤頭鄉 | 2210432 | 3010060 | 3237596 | 2733592 | 2421956 | 2890231 | 3019376 | 2949923 | 3166289 | 2597603 | 1625633 | 1649177 |
| 崙背鄉 | 3132635 | 5902248 | 5939094 | 5538744 | 5274607 | 5340619 | 5460075 | 4388756 | 4626093 | 4784977 | 4118635 | 2651431 |
| 鹿港鎮 | 308443 | 324454 | 311425 | 290117 | 250797 | 306898 | 310558 | 298996 | 313801 | 264264 | 194227 | 229702 |
| 麥寮鄉 | 3793840 | 5285933 | 6908180 | 7088463 | 5801763 | 5665650 | 5261742 | 4430591 | 4813546 | 4813741 | 4012447 | 3584238 |
| 莿桐鄉 | 788051 | 1860663 | 1967985 | 1574052 | 1417700 | 1511034 | 1759483 | 1662460 | 1706241 | 1372829 | 1178534 | 746667 |
| 溪州鄉 | 2119859 | 3116257 | 3111730 | 2640249 | 2348774 | 2531074 | 2868752 | 2734608 | 2957674 | 2792675 | 1890485 | 1528451 |
| 溪湖鎮 | 2390192 | 3187768 | 3257858 | 2563412 | 2318331 | 2635192 | 2752750 | 2707351 | 2843663 | 2484873 | 1788907 | 1926915 |
| 彰化市 | 376901 | 403946 | 403989 | 387437 | 361204 | 472642 | 417184 | 409654 | 418570 | 388569 | 314228 | 354001 |
| 福興鄉 | 6559937 | 7139474 | 7215195 | 6942341 | 6460033 | 7582211 | 7851335 | 7323832 | 7716098 | 6708938 | 4735048 | 4897125 |
| 線西鄉 | 2283395 | 2322640 | 2367542 | 2252855 | 2295359 | 2630137 | 2849117 | 2649710 | 2663876 | 2155702 | 1886665 | 1978334 |
| 褒忠鄉 | 2320864 | 2833185 | 3010966 | 2748920 | 2067303 | 1910724 | 1626232 | 1583455 | 2069896 | 1968288 | 1334459 | 1318687 |

表附-17 各鄉鎮工業用水月平均抽水量



| 鄉鎮 | 1 月平均 | 2 月平均 | 3 月平均 | 4 月平均 | 5 月平均 | 6 月平均 | 7 月平均 | 8 月平均 | 9 月平均 | 10 月平均 | 11 月平均 | 12 月平均 |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 二林鎮 | 58262 | 54336 | 59997 | 57944 | 72835 | 64218 | 77565 | 83488 | 81153 | 61439 | 54864 | 64928 |
| 二崙鄉 | 42897 | 18625 | 33632 | 30258 | 33146 | 40400 | 64061 | 35127 | 125090 | 20292 | 35720 | 18438 |
| 口湖鄉 | 4550 | 8925 | 4400 | 5420 | 8672 | 26202 | 3417 | 3459 | 2986 | 2943 | 2058 | 2070 |
| 土庫鎮 | 35852 | 33497 | 34565 | 29351 | 27494 | 34733 | 48183 | 35922 | 38198 | 45427 | 43398 | 59586 |
| 大城鄉 | 55909 | 55979 | 59233 | 59019 | 73375 | 64964 | 33740 | 33583 | 38869 | 41326 | 42478 | 44335 |
| 大埤鄉 | 47325 | 43701 | 47192 | 55651 | 174255 | 308819 | 53446 | 60906 | 59620 | 39893 | 37885 | 32338 |
| 元長鄉 | 38006 | 36406 | 35316 | 32938 | 26413 | 27823 | 25006 | 23842 | 31485 | 31048 | 45343 | 48410 |
| 斗六市 | 23613 | 17075 | 17994 | 16874 | 15849 | 38442 | 39464 | 16698 | 16030 | 30835 | 34326 | 25476 |
| 斗南鎮 | 5653 | 7385 | 7362 | 9273 | 9729 | 9544 | 9549 | 10595 | 10608 | 8904 | 8908 | 4767 |
| 水林鄉 | 18661 | 18406 | 19919 | 20021 | 22661 | 23105 | 24331 | 24721 | 19351 | 19074 | 17095 | 17576 |
| 北斗鎮 | 12403 | 12195 | 11880 | 14442 | 9030 | 10624 | 10900 | 11316 | 11623 | 11872 | 11681 | 9446 |
| 北港鎮 | 58417 | 75531 | 66480 | 70523 | 64522 | 64429 | 72196 | 62047 | 69581 | 60394 | 66862 | 66499 |
| 古坑鄉 | 3841 | 3818 | 4073 | 4066 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 臺西鄉 | 15404 | 9611 | 12011 | 12447 | 18192 | 22542 | 18236 | 18092 | 20549 | 18330 | 14034 | 14550 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 四湖鄉 | 15354 | 14766 | 15900 | 16206 | 7491 | 8687 | 160721 | 129874 | 80926 | 29270 | 8760 | 19121 |
| 永靖鄉 | 27984 | 30229 | 37790 | 35786 | 24613 | 24041 | 20298 | 20527 | 14429 | 15152 | 11208 | 10972 |
| 田中鎮 | 50189 | 39562 | 48498 | 57376 | 49047 | 103703 | 102607 | 80472 | 70225 | 56814 | 52964 | 45250 |
| 田尾鄉 | 21964 | 23157 | 22062 | 23254 | 26897 | 28732 | 31056 | 29570 | 26709 | 24347 | 22820 | 21909 |
| 西螺鎮 | 189178 | 192020 | 206623 | 216791 | 368153 | 391597 | 348628 | 348003 | 259909 | 244929 | 396684 | 391200 |
| 伸港鄉 | 103700 | 103643 | 116952 | 114967 | 112875 | 121169 | 134216 | 116016 | 107606 | 94442 | 91259 | 96171 |
| 秀水鄉 | 1301 | 1355 | 1353 | 1657 | 1746 | 1909 | 1892 | 1765 | 1758 | 1381 | 1381 | 1351 |
| 和美鎮 | 115824 | 114149 | 130133 | 127296 | 110633 | 108205 | 197912 | 128907 | 131657 | 118363 | 102742 | 109421 |
| 東勢鄉 | 12851 | 12415 | 26596 | 17557 | 10681 | 12626 | 13207 | 14294 | 12620 | 10111 | 8698 | 9044 |
| 社頭鄉 | 43570 | 39168 | 38643 | 58820 | 85829 | 119451 | 55250 | 48660 | 51816 | 36780 | 35698 | 41880 |
| 芬園鄉 | 10 | 10 | 14 | 14 | 13 | 14 | 39 | 40 | 92 | 92 | 37 | 37 |
| 芳苑鄉 | 37169 | 38503 | 38671 | 46058 | 49355 | 58168 | 42689 | 44838 | 39768 | 33070 | 28715 | 37670 |
| 虎尾鎮 | 80844 | 74729 | 84022 | 86397 | 85367 | 86440 | 94392 | 93031 | 82387 | 84123 | 70898 | 67896 |
| 員林鎮 | 3095 | 3083 | 3282 | 3297 | 3619 | 3637 | 4030 | 4050 | 3562 | 3553 | 2857 | 2861 |
| 埔心鄉 | 102951 | 118218 | 120115 | 130078 | 103033 | 120988 | 125551 | 122432 | 119553 | 117352 | 105166 | 102559 |
| 埔鹽鄉 | 74983 | 64453 | 85184 | 85398 | 54855 | 51925 | 53553 | 53988 | 53924 | 64265 | 57872 | 60255 |
| 埤頭鄉 | 138838 | 121335 | 145759 | 161819 | 162281 | 165751 | 190060 | 177870 | 164285 | 144300 | 144155 | 143434 |



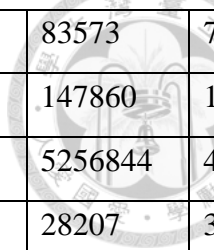
| | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 崙背鄉 | 53451 | 54180 | 55072 | 54989 | 54729 | 113346 | 126428 | 61022 | 52200 | 46605 | 61789 | 64831 |
| 鹿港鎮 | 24728 | 16478 | 21349 | 17796 | 15156 | 21727 | 18347 | 20434 | 19864 | 27299 | 20189 | 20541 |
| 麥寮鄉 | 27273 | 27755 | 30420 | 32394 | 40143 | 43465 | 46495 | 47180 | 37537 | 33007 | 27759 | 27132 |
| 莿桐鄉 | 260628 | 65950 | 254748 | 85135 | 229844 | 49228 | 248325 | 52909 | 271601 | 46970 | 252904 | 71792 |
| 溪州鄉 | 15961 | 15672 | 20099 | 20405 | 14877 | 15009 | 16274 | 16251 | 15511 | 15589 | 12837 | 13238 |
| 溪湖鎮 | 88481 | 90381 | 95151 | 93243 | 70553 | 63133 | 70627 | 79385 | 72661 | 70204 | 67404 | 75903 |
| 彰化市 | 22305 | 21968 | 24885 | 31255 | 21658 | 23856 | 24398 | 24996 | 21113 | 20516 | 19036 | 26659 |
| 福興鄉 | 52195 | 50009 | 50712 | 50548 | 47353 | 56571 | 59039 | 54659 | 48359 | 44095 | 41884 | 40792 |
| 線西鄉 | 36197 | 41152 | 46023 | 42797 | 27157 | 67846 | 20617 | 16620 | 17233 | 19114 | 18192 | 22955 |
| 褒忠鄉 | 21878 | 20944 | 21712 | 21801 | 23819 | 23319 | 22949 | 23170 | 24773 | 25141 | 22717 | 22533 |

表附-18 各鄉鎮養殖用水月平均抽水量



| 鄉鎮 | 1 月平均 | 2 月平均 | 3 月平均 | 4 月平均 | 5 月平均 | 6 月平均 | 7 月平均 | 8 月平均 | 9 月平均 | 10 月平均 | 11 月平均 | 12 月平均 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 二林鎮 | 852352 | 958842 | 937147 | 989584 | 913516 | 876044 | 951592 | 819059 | 816944 | 874999 | 880975 | 913023 |
| 二崙鄉 | 183789 | 195193 | 238807 | 278529 | 302210 | 337524 | 352510 | 302594 | 309967 | 232900 | 188326 | 180681 |
| 口湖鄉 | 3152832 | 3385503 | 3629902 | 4412260 | 4293544 | 4738748 | 5136988 | 5054750 | 5059783 | 4904929 | 4220424 | 3564078 |
| 土庫鎮 | 164168 | 160258 | 197523 | 209616 | 220213 | 237444 | 251975 | 235325 | 247350 | 206397 | 177460 | 182404 |
| 大城鄉 | 8465328 | 7874482 | 8491163 | 8972819 | 8374797 | 10173502 | 10250441 | 9624660 | 9541300 | 9204745 | 8538998 | 8856500 |
| 大埤鄉 | 11289 | 14158 | 17029 | 21147 | 22378 | 27166 | 27199 | 25749 | 25836 | 19161 | 13127 | 12037 |
| 元長鄉 | 251116 | 255417 | 278652 | 339290 | 332374 | 409237 | 334895 | 317986 | 289543 | 264374 | 234663 | 216365 |
| 斗六市 | 19090 | 19199 | 19482 | 19445 | 20971 | 21792 | 23563 | 23554 | 21717 | 21293 | 16486 | 16596 |
| 斗南鎮 | 50005 | 40620 | 45586 | 38559 | 41645 | 43808 | 57547 | 46825 | 52426 | 35876 | 45669 | 44287 |
| 水林鄉 | 420725 | 402547 | 472870 | 491760 | 516347 | 600972 | 648327 | 637041 | 620202 | 584530 | 458478 | 445987 |
| 北斗鎮 | 20485 | 20355 | 27083 | 32962 | 37861 | 39037 | 38919 | 37543 | 36521 | 31944 | 26706 | 20957 |
| 北港鎮 | 8338 | 13780 | 15974 | 18598 | 20059 | 22510 | 25285 | 16505 | 17268 | 11543 | 11686 | 9134 |
| 臺西鄉 | 4181047 | 4478574 | 4100297 | 4588827 | 4993142 | 5911578 | 6083709 | 5994217 | 5665110 | 5069739 | 3915252 | 4147307 |
| 四湖鄉 | 442169 | 444393 | 480302 | 494103 | 468076 | 568104 | 567527 | 577436 | 528472 | 471479 | 380436 | 362999 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 永靖鄉 | 32619 | 33496 | 35618 | 37542 | 39136 | 46456 | 47195 | 43928 | 38500 | 36162 | 29574 | 31918 |
| 田中鎮 | 11244 | 11777 | 12185 | 14027 | 9152 | 9250 | 9006 | 9093 | 9035 | 8991 | 8000 | 7935 |
| 田尾鄉 | 3412 | 3409 | 3092 | 3099 | 3117 | 3137 | 3301 | 3320 | 3143 | 3117 | 3671 | 3670 |
| 竹塘鄉 | 404472 | 423375 | 423791 | 505235 | 501687 | 531974 | 547125 | 459982 | 494491 | 486197 | 454880 | 460452 |
| 西螺鎮 | 80738 | 72641 | 89980 | 91847 | 112522 | 121743 | 115006 | 96032 | 90920 | 81754 | 68421 | 59527 |
| 伸港鄉 | 694497 | 823945 | 1006002 | 721368 | 569577 | 627910 | 707976 | 702896 | 611626 | 557604 | 497228 | 463856 |
| 秀水鄉 | 133369 | 143341 | 152016 | 157987 | 151461 | 167506 | 180245 | 180619 | 156214 | 139264 | 119790 | 134366 |
| 和美鎮 | 9289 | 11362 | 10816 | 10351 | 9827 | 9825 | 9827 | 10398 | 9704 | 9371 | 9820 | 10800 |
| 東勢鄉 | 351841 | 327817 | 335459 | 388276 | 412699 | 481452 | 580041 | 517307 | 482121 | 460124 | 426522 | 447017 |
| 社頭鄉 | 28224 | 27422 | 31487 | 31976 | 39194 | 39936 | 42135 | 42258 | 36953 | 37083 | 30738 | 30666 |
| 芬園鄉 | 6327 | 5816 | 7208 | 9726 | 13208 | 15566 | 15847 | 15432 | 12945 | 10027 | 7333 | 6499 |
| 芳苑鄉 | 8620924 | 8736105 | 7915667 | 8705167 | 7805901 | 9323022 | 10173320 | 8917430 | 9674747 | 10413612 | 9179751 | 9706523 |
| 虎尾鎮 | 114418 | 108095 | 109429 | 111485 | 104061 | 115945 | 171292 | 170342 | 171117 | 103767 | 136467 | 147868 |
| 員林鎮 | 3580 | 3582 | 2318 | 2325 | 3017 | 3037 | 3123 | 3144 | 3185 | 3159 | 3368 | 3369 |
| 埔心鄉 | 17838 | 19171 | 19164 | 15097 | 15912 | 13161 | 13077 | 12169 | 12083 | 14683 | 14572 | 16871 |
| 埔鹽鄉 | 370069 | 378182 | 441990 | 509181 | 477875 | 563460 | 635884 | 586591 | 579565 | 505452 | 420403 | 393241 |
| 埤頭鄉 | 27817 | 29137 | 30212 | 30852 | 32829 | 31004 | 37024 | 38731 | 35203 | 31438 | 25091 | 32160 |



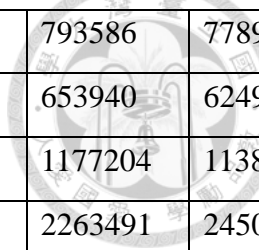
| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 崙背鄉 | 70219 | 85037 | 87399 | 95111 | 95328 | 110027 | 111545 | 105613 | 100943 | 95415 | 83573 | 78856 |
| 鹿港鎮 | 140174 | 168904 | 166294 | 152044 | 165057 | 237488 | 236812 | 245052 | 213836 | 208317 | 147860 | 137788 |
| 麥寮鄉 | 4398208 | 4575578 | 4412661 | 5404093 | 5237952 | 6024861 | 6697693 | 6557621 | 6515825 | 6074227 | 5256844 | 4755525 |
| 荊桐鄉 | 26083 | 26797 | 23945 | 28886 | 21112 | 24654 | 26999 | 28961 | 30514 | 28617 | 28207 | 31456 |
| 溪州鄉 | 4988 | 4963 | 4871 | 4871 | 6358 | 6436 | 7912 | 7957 | 6630 | 6592 | 4991 | 4968 |
| 溪湖鎮 | 32484 | 34614 | 35559 | 46618 | 72186 | 77211 | 73546 | 71957 | 79316 | 64274 | 57065 | 54663 |
| 彰化市 | 30080 | 30874 | 29801 | 34159 | 30792 | 34944 | 35939 | 36654 | 34254 | 32355 | 30672 | 33302 |
| 福興鄉 | 1853733 | 1864069 | 1994277 | 2448385 | 2336776 | 3170851 | 3209600 | 3109835 | 3198335 | 2619996 | 2038256 | 1959658 |
| 線西鄉 | 194606 | 236904 | 217051 | 252956 | 203887 | 244432 | 261881 | 257051 | 251793 | 221280 | 180530 | 187274 |
| 褒忠鄉 | 161831 | 180959 | 184400 | 198797 | 173473 | 194571 | 197526 | 194939 | 192567 | 192288 | 164970 | 158216 |

表附-19 各鄉鎮畜牧用水月平均抽水量



| 鄉鎮 | 1 月平均 | 2 月平均 | 3 月平均 | 4 月平均 | 5 月平均 | 6 月平均 | 7 月平均 | 8 月平均 | 9 月平均 | 10 月平均 | 11 月平均 | 12 月平均 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 二林鎮 | 1804228 | 1799182 | 2003387 | 2074006 | 2941152 | 3562588 | 4174681 | 3549223 | 3456743 | 2136498 | 1952645 | 1679626 |
| 二崙鄉 | 3522380 | 3238269 | 2790697 | 2490204 | 2546644 | 3058583 | 3356257 | 3012171 | 2659840 | 2077422 | 2545710 | 3116032 |
| 口湖鄉 | 423030 | 375855 | 436706 | 349066 | 479393 | 449153 | 442099 | 384440 | 387210 | 275087 | 256184 | 242048 |
| 土庫鎮 | 1290383 | 1208659 | 1122240 | 994149 | 961524 | 1218966 | 1367172 | 1329133 | 1137657 | 977896 | 1065106 | 1244373 |
| 大城鄉 | 2295346 | 2124242 | 2323002 | 2663506 | 3174031 | 4466678 | 4762482 | 4249810 | 3451980 | 2565714 | 2176302 | 2285153 |
| 大埤鄉 | 601819 | 500340 | 532613 | 605168 | 727544 | 981260 | 1113420 | 1059668 | 845380 | 607591 | 506080 | 555910 |
| 元長鄉 | 895732 | 796466 | 850008 | 914436 | 968851 | 1176918 | 1318693 | 1296105 | 1117049 | 860462 | 863409 | 887054 |
| 斗六市 | 146793 | 139764 | 152463 | 178726 | 177929 | 205695 | 215885 | 219504 | 199254 | 191852 | 150998 | 138646 |
| 斗南鎮 | 356535 | 399042 | 435946 | 443253 | 618744 | 648178 | 740397 | 610669 | 661132 | 407941 | 397185 | 413458 |
| 水林鄉 | 619805 | 598659 | 533256 | 458885 | 558194 | 751817 | 768922 | 705445 | 603899 | 429065 | 412496 | 529820 |
| 北斗鎮 | 158353 | 165086 | 175437 | 254926 | 310209 | 457311 | 497355 | 466353 | 442342 | 289035 | 199049 | 121711 |
| 北港鎮 | 131428 | 136759 | 142196 | 187711 | 163184 | 266300 | 258684 | 246971 | 227525 | 146800 | 129872 | 134714 |
| 古坑鄉 | 35574 | 33663 | 35086 | 36165 | 53540 | 78909 | 66135 | 42891 | 50990 | 46725 | 34424 | 40325 |
| 臺西鄉 | 760279 | 730378 | 762715 | 835869 | 1015415 | 1205891 | 1157070 | 1118521 | 1152376 | 954763 | 801373 | 874823 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 四湖鄉 | 659697 | 589553 | 590355 | 635056 | 733087 | 818675 | 839385 | 810032 | 642331 | 456242 | 461030 | 563211 |
| 永靖鄉 | 459939 | 485117 | 432034 | 441913 | 477047 | 601748 | 624572 | 552871 | 520865 | 421706 | 401158 | 430450 |
| 田中鎮 | 74867 | 88105 | 87762 | 110049 | 115580 | 155618 | 166693 | 154887 | 143806 | 102633 | 78970 | 66647 |
| 田尾鄉 | 647534 | 565478 | 463251 | 502489 | 548202 | 715841 | 859196 | 753543 | 812543 | 590739 | 532866 | 590016 |
| 竹塘鄉 | 1090326 | 1018807 | 1147445 | 1680456 | 2222702 | 2882590 | 2860440 | 2684813 | 2415882 | 1483892 | 1094997 | 1046125 |
| 西螺鎮 | 554242 | 526730 | 551151 | 526887 | 548373 | 688371 | 798695 | 784664 | 607627 | 519367 | 461320 | 513563 |
| 伸港鄉 | 178705 | 196874 | 190571 | 230305 | 277178 | 373892 | 459759 | 420115 | 280048 | 178268 | 149765 | 164261 |
| 秀水鄉 | 302957 | 334081 | 362094 | 428909 | 525504 | 609557 | 567570 | 506387 | 419072 | 306453 | 261959 | 260025 |
| 和美鎮 | 121998 | 118961 | 125519 | 177735 | 164688 | 273403 | 292986 | 174877 | 191306 | 214823 | 143396 | 92872 |
| 東勢鄉 | 1292457 | 1265650 | 1356105 | 1473621 | 1582457 | 1953614 | 2080225 | 1979386 | 1888393 | 1566744 | 1381786 | 1449672 |
| 林內鄉 | 12814 | 13179 | 15401 | 15050 | 13147 | 19453 | 19557 | 17512 | 18042 | 14927 | 14718 | 11375 |
| 社頭鄉 | 206847 | 145123 | 242026 | 158351 | 312427 | 225770 | 501708 | 330215 | 505333 | 190704 | 248835 | 204673 |
| 芬園鄉 | 3418 | 3256 | 6552 | 10970 | 42885 | 74242 | 41781 | 23278 | 21478 | 9025 | 2302 | 2796 |
| 芳苑鄉 | 4633912 | 4846314 | 5059651 | 6457430 | 8287692 | 11022792 | 11705856 | 10834859 | 8977257 | 6220228 | 5082231 | 4755580 |
| 虎尾鎮 | 1139743 | 1157067 | 1073847 | 1079952 | 1047358 | 1264427 | 1346113 | 1390395 | 1273636 | 946761 | 838264 | 895710 |
| 員林鎮 | 539 | 539 | 732 | 734 | 800 | 805 | 767 | 771 | 657 | 654 | 563 | 563 |
| 埔心鄉 | 326082 | 302501 | 322731 | 233365 | 327036 | 293504 | 492638 | 278147 | 452984 | 191839 | 276075 | 220758 |



| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 埔鹽鄉 | 841525 | 873237 | 855292 | 895120 | 1145111 | 1199854 | 1480350 | 1227984 | 1300894 | 868903 | 793586 | 778939 |
| 埤頭鄉 | 578986 | 529557 | 614922 | 789466 | 787464 | 1033697 | 1089531 | 1103384 | 932430 | 692810 | 653940 | 624953 |
| 崙背鄉 | 1137124 | 1220454 | 1164050 | 1265979 | 1313940 | 1679741 | 1922554 | 1767164 | 1719590 | 1160976 | 1177204 | 1138761 |
| 麥寮鄉 | 2641600 | 2867877 | 2669745 | 2848654 | 2435597 | 2867822 | 3163941 | 3124174 | 2953293 | 2433834 | 2263491 | 2450280 |
| 荊桐鄉 | 192382 | 222674 | 223195 | 219013 | 216101 | 220694 | 242615 | 233353 | 222999 | 204313 | 186112 | 186315 |
| 溪州鄉 | 652411 | 612617 | 589319 | 563093 | 552071 | 720712 | 753622 | 738959 | 648822 | 547752 | 530561 | 586837 |
| 溪湖鎮 | 317144 | 371031 | 336739 | 323818 | 336865 | 370854 | 456143 | 434188 | 413175 | 350960 | 330089 | 409202 |
| 彰化市 | 55543 | 55576 | 67145 | 79703 | 90980 | 107938 | 77503 | 76468 | 70255 | 64349 | 52539 | 53839 |
| 福興鄉 | 399300 | 424283 | 437336 | 538041 | 664945 | 855645 | 988465 | 933558 | 822164 | 530486 | 458103 | 423073 |
| 線西鄉 | 234109 | 256043 | 244071 | 239995 | 266471 | 320209 | 502340 | 451915 | 390932 | 250548 | 197389 | 210803 |
| 褒忠鄉 | 1217586 | 1265764 | 1009677 | 875313 | 774056 | 899462 | 1011222 | 939530 | 768874 | 713365 | 830472 | 1093525 |

表附-20 各鄉鎮民生用水月平均抽水量



| 鄉鎮 | 1 月平均 | 2 月平均 | 3 月平均 | 4 月平均 | 5 月平均 | 6 月平均 | 7 月平均 | 8 月平均 | 9 月平均 | 10 月平均 | 11 月平均 | 12 月平均 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 二水鄉 | 68037 | 66953 | 66009 | 66420 | 67770 | 72590 | 73836 | 70466 | 66639 | 63953 | 61852 | 60026 |
| 二林鎮 | 2514569 | 2601183 | 2583275 | 2684715 | 3068438 | 3461908 | 3728656 | 3520351 | 3220110 | 2743735 | 2538786 | 2487943 |
| 二崙鄉 | 766215 | 731794 | 744702 | 802986 | 954132 | 1885254 | 1440495 | 1116711 | 955494 | 830653 | 796723 | 774211 |
| 口湖鄉 | 114579 | 136924 | 126790 | 135327 | 138751 | 155833 | 170554 | 173551 | 158048 | 143519 | 121444 | 116677 |
| 土庫鎮 | 355947 | 402366 | 436860 | 453475 | 437359 | 540231 | 525531 | 487317 | 461722 | 380206 | 361312 | 375441 |
| 大村鄉 | 17446 | 17259 | 15742 | 17496 | 16898 | 18594 | 19267 | 20187 | 19129 | 18296 | 17113 | 16780 |
| 大城鄉 | 326402 | 324541 | 331258 | 342684 | 483701 | 543899 | 431646 | 424521 | 391255 | 352454 | 345866 | 357408 |
| 大埤鄉 | 106476 | 102353 | 102403 | 111912 | 117013 | 141451 | 146243 | 133296 | 126671 | 107881 | 104487 | 107793 |
| 元長鄉 | 584132 | 588060 | 649476 | 694405 | 692021 | 808765 | 819008 | 796716 | 721075 | 608075 | 578554 | 597408 |
| 斗六市 | 46816 | 58308 | 57496 | 62267 | 53610 | 59967 | 63752 | 62028 | 59543 | 55141 | 52212 | 49962 |
| 斗南鎮 | 112897 | 114102 | 121264 | 128640 | 140617 | 157240 | 166360 | 158978 | 150660 | 139992 | 122348 | 117525 |
| 水林鄉 | 166815 | 190968 | 204517 | 206518 | 213589 | 323605 | 291514 | 246686 | 199625 | 200058 | 180357 | 164158 |
| 北斗鎮 | 478042 | 502818 | 505241 | 549243 | 566383 | 663451 | 678075 | 661995 | 631689 | 551314 | 515032 | 484746 |
| 北港鎮 | 140037 | 141316 | 137898 | 157258 | 166376 | 210371 | 221554 | 203645 | 202326 | 152799 | 145810 | 140456 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 古坑鄉 | 49514 | 48482 | 47408 | 48191 | 51070 | 53596 | 58999 | 59794 | 57377 | 55263 | 51551 | 51911 |
| 臺西鄉 | 258065 | 276388 | 282228 | 319180 | 341555 | 418948 | 473613 | 426894 | 394559 | 323032 | 284552 | 279431 |
| 四湖鄉 | 168106 | 164834 | 199414 | 198647 | 204233 | 223422 | 242820 | 225842 | 212568 | 182737 | 161594 | 173388 |
| 永靖鄉 | 1286687 | 1325703 | 1378448 | 1444014 | 1578209 | 1761847 | 1867401 | 1761446 | 1667833 | 1444497 | 1364921 | 1294613 |
| 田中鎮 | 316686 | 316844 | 336913 | 345905 | 378229 | 450683 | 445231 | 409188 | 401047 | 354874 | 365988 | 306297 |
| 田尾鄉 | 1144347 | 1177108 | 1176649 | 1199548 | 1289519 | 1384590 | 1524503 | 1513127 | 1374155 | 1277550 | 1127427 | 1136618 |
| 竹塘鄉 | 680951 | 684397 | 698762 | 770092 | 821445 | 1063830 | 1060574 | 1000195 | 914733 | 737356 | 695293 | 683892 |
| 西螺鎮 | 616936 | 644925 | 714428 | 786607 | 869596 | 970130 | 1064730 | 1008339 | 908861 | 834006 | 686168 | 658800 |
| 伸港鄉 | 2010790 | 2149245 | 2237005 | 2223285 | 2455913 | 2521708 | 2756530 | 2777338 | 2333071 | 2273488 | 2031911 | 2038180 |
| 秀水鄉 | 1614468 | 1783932 | 1836435 | 1968646 | 2098040 | 2410082 | 2542774 | 2471050 | 2205733 | 1886303 | 1705127 | 1743464 |
| 和美鎮 | 3352122 | 3595658 | 3785911 | 3972386 | 3944129 | 4476546 | 4800853 | 4620124 | 4436392 | 3751518 | 3550156 | 3327324 |
| 東勢鄉 | 402180 | 417919 | 439817 | 490580 | 502579 | 559125 | 605888 | 579060 | 549777 | 440237 | 404428 | 438401 |
| 林內鄉 | 18891 | 18438 | 16982 | 16749 | 20600 | 22288 | 23833 | 23071 | 18982 | 18016 | 17164 | 17366 |
| 社頭鄉 | 819745 | 835414 | 866976 | 901901 | 1047138 | 1158311 | 1196074 | 1162949 | 1053886 | 935732 | 849335 | 869735 |
| 芬園鄉 | 632590 | 636907 | 680693 | 688013 | 820181 | 887760 | 876187 | 869039 | 765581 | 718682 | 655038 | 645476 |
| 花壇鄉 | 20340 | 23335 | 23918 | 27314 | 24306 | 28508 | 27804 | 23748 | 19066 | 14785 | 14593 | 17466 |
| 芳苑鄉 | 1747969 | 1820304 | 1852591 | 1974529 | 2236336 | 2608066 | 2652696 | 2473201 | 2282206 | 1914822 | 1734308 | 1736749 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 虎尾鎮 | 444882 | 447907 | 481633 | 541572 | 551433 | 614447 | 678546 | 617915 | 572320 | 491785 | 449723 | 489876 |
| 員林鎮 | 259166 | 259438 | 271043 | 282173 | 319871 | 344609 | 401596 | 388923 | 345501 | 324647 | 269684 | 270680 |
| 埔心鄉 | 1041218 | 1086484 | 1088777 | 1174871 | 1148349 | 1414891 | 1443707 | 1361662 | 1332554 | 1101794 | 1056730 | 1060821 |
| 埔鹽鄉 | 2099943 | 2227898 | 2270493 | 2303996 | 2323814 | 2650919 | 2815629 | 2684437 | 2424450 | 2308282 | 2021952 | 2086049 |
| 埤頭鄉 | 2429224 | 2383533 | 2449708 | 2662833 | 2878436 | 3379897 | 3423404 | 3233600 | 2934548 | 2471942 | 2380606 | 2447939 |
| 崙背鄉 | 240007 | 270341 | 267589 | 354594 | 369716 | 420413 | 447034 | 429034 | 400687 | 307122 | 279036 | 246284 |
| 鹿港鎮 | 158587 | 158964 | 149277 | 155955 | 161287 | 213800 | 205640 | 185790 | 175014 | 143200 | 135094 | 153516 |
| 麥寮鄉 | 856599 | 948097 | 941360 | 1049272 | 1059055 | 1244422 | 1410218 | 1370886 | 1251225 | 1082817 | 935838 | 898660 |
| 莿桐鄉 | 208062 | 218958 | 241075 | 265380 | 253642 | 299445 | 305997 | 283561 | 279476 | 235906 | 218444 | 208120 |
| 溪州鄉 | 595207 | 596162 | 623175 | 623258 | 705078 | 919945 | 843730 | 790472 | 777466 | 635833 | 601326 | 592354 |
| 溪湖鎮 | 2525681 | 2703953 | 2711653 | 2864411 | 2835219 | 3399303 | 3600708 | 3361007 | 3219560 | 2722774 | 2614899 | 2644980 |
| 彰化市 | 2799018 | 2910889 | 3084021 | 3430749 | 3441700 | 4004060 | 4096358 | 3869879 | 3607217 | 3042756 | 2876296 | 2857449 |
| 福興鄉 | 1340141 | 1434141 | 1447804 | 1557958 | 1620147 | 1830108 | 1970849 | 1865538 | 1662366 | 1413213 | 1348009 | 1379563 |
| 線西鄉 | 2039448 | 2126630 | 2221182 | 2259168 | 2472996 | 2584834 | 2850845 | 2857966 | 2430803 | 2365963 | 2061656 | 2073889 |
| 褒忠鄉 | 178940 | 180682 | 206248 | 219566 | 226565 | 242280 | 255611 | 251551 | 219456 | 201773 | 182158 | 184765 |

表附-21 各鄉鎮其他用水月平均抽水量



| 鄉鎮 | 1 月平均 | 2 月平均 | 3 月平均 | 4 月平均 | 5 月平均 | 6 月平均 | 7 月平均 | 8 月平均 | 9 月平均 | 10 月平均 | 11 月平均 | 12 月平均 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 二水鄉 | 1344 | 1593 | 1373 | 1904 | 1639 | 2155 | 2195 | 2908 | 2206 | 2319 | 2078 | 1995 |
| 二林鎮 | 249127 | 273853 | 298806 | 278310 | 307232 | 386888 | 439957 | 375496 | 352218 | 326769 | 293061 | 261177 |
| 二崙鄉 | 112877 | 103118 | 128208 | 132367 | 218788 | 381708 | 274906 | 229217 | 181950 | 178239 | 120314 | 112847 |
| 口湖鄉 | 24550 | 26308 | 24719 | 28359 | 27890 | 29243 | 38803 | 41535 | 35842 | 33813 | 30636 | 28046 |
| 土庫鎮 | 56500 | 55366 | 50509 | 46176 | 63706 | 206392 | 95930 | 52792 | 50757 | 49740 | 57372 | 51708 |
| 大城鄉 | 9968 | 9627 | 10819 | 12461 | 12704 | 15036 | 9923 | 10626 | 10481 | 10453 | 10551 | 10950 |
| 大埤鄉 | 23378 | 22960 | 26932 | 26198 | 24808 | 30080 | 27868 | 28382 | 28333 | 28860 | 27036 | 24384 |
| 元長鄉 | 51519 | 52549 | 59344 | 60479 | 62860 | 71112 | 71513 | 67827 | 66248 | 60641 | 52269 | 51637 |
| 斗南鎮 | 66910 | 57972 | 58114 | 54194 | 147860 | 367005 | 184781 | 120133 | 83740 | 81967 | 296210 | 106547 |
| 水林鄉 | 8735 | 7994 | 8336 | 9295 | 9955 | 13545 | 13619 | 13558 | 12561 | 9086 | 8172 | 9210 |
| 北斗鎮 | 135100 | 137783 | 156380 | 174511 | 157511 | 184372 | 188307 | 177161 | 162871 | 149402 | 138632 | 124810 |
| 北港鎮 | 123 | 366 | 361 | 278 | 349 | 156 | 158 | 148 | 146 | 103 | 103 | 98 |
| 古坑鄉 | 26471 | 31031 | 32806 | 27413 | 22680 | 25861 | 23012 | 14567 | 19667 | 19940 | 17267 | 14422 |
| 臺西鄉 | 2950 | 3120 | 2950 | 3423 | 3357 | 3679 | 3743 | 3921 | 4311 | 3941 | 2958 | 2786 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 四湖鄉 | 30882 | 33569 | 35063 | 34479 | 31174 | 32834 | 33320 | 32850 | 33295 | 32247 | 34707 | 33016 |
| 永靖鄉 | 32773 | 33950 | 35560 | 37188 | 41134 | 44284 | 44997 | 43841 | 34571 | 32575 | 27452 | 27526 |
| 田中鎮 | 6428 | 6420 | 6537 | 6471 | 6644 | 7050 | 7102 | 6943 | 6629 | 6361 | 6208 | 6156 |
| 田尾鄉 | 82185 | 80229 | 86558 | 89133 | 92701 | 98381 | 101802 | 99200 | 91121 | 89129 | 82907 | 81759 |
| 竹塘鄉 | 3463 | 3437 | 2758 | 3275 | 3005 | 4411 | 4471 | 3754 | 4358 | 3272 | 3026 | 2859 |
| 西螺鎮 | 39599 | 39878 | 37343 | 49474 | 50631 | 69879 | 65749 | 61781 | 60806 | 50791 | 49620 | 43393 |
| 伸港鄉 | 45573 | 44443 | 46449 | 46214 | 18607 | 19827 | 19386 | 21421 | 20304 | 18987 | 18708 | 25543 |
| 秀水鄉 | 40304 | 41214 | 59750 | 62586 | 73930 | 75430 | 114661 | 113658 | 94552 | 70560 | 48205 | 41580 |
| 和美鎮 | 62897 | 59516 | 66108 | 73916 | 56103 | 59642 | 68270 | 66605 | 67965 | 63859 | 59106 | 56474 |
| 東勢鄉 | 6252 | 6103 | 5148 | 5137 | 5808 | 5879 | 6327 | 6525 | 5922 | 5786 | 6515 | 6654 |
| 社頭鄉 | 25677 | 24972 | 26777 | 32683 | 31864 | 34206 | 36089 | 33381 | 33591 | 30196 | 29529 | 28568 |
| 芬園鄉 | 5 | 5 | 37 | 37 | - | - | 2 | 2 | 3 | 3 | - | - |
| 花壇鄉 | 5083 | 4910 | 4928 | 5813 | 5828 | 7752 | 7615 | 6456 | 6406 | 4842 | 4836 | 5227 |
| 芳苑鄉 | 113030 | 98723 | 107299 | 123483 | 133632 | 187580 | 142262 | 136753 | 125246 | 104568 | 92587 | 88987 |
| 虎尾鎮 | 70548 | 72382 | 72340 | 75223 | 72068 | 104777 | 99626 | 87317 | 75026 | 73223 | 63424 | 69929 |
| 員林鎮 | 4322 | 4258 | 4268 | 4003 | 4196 | 4567 | 4549 | 4248 | 4238 | 4117 | 4112 | 4211 |
| 埔心鄉 | 50003 | 49577 | 50958 | 58522 | 42446 | 49160 | 49133 | 46742 | 46439 | 41536 | 40733 | 41132 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 埔鹽鄉 | 49042 | 51661 | 58853 | 66403 | 69350 | 81354 | 92522 | 90094 | 74446 | 67509 | 58780 | 53239 |
| 埤頭鄉 | 68785 | 67142 | 79402 | 81647 | 88575 | 86524 | 88411 | 91559 | 84355 | 74921 | 60696 | 62928 |
| 崙背鄉 | 2093 | 2070 | 1707 | 1715 | 1891 | 1915 | 2256 | 2301 | 1604 | 1572 | 1653 | 1654 |
| 鹿港鎮 | 2267 | 2437 | 2483 | 2783 | 2707 | 3197 | 3142 | 3102 | 3087 | 2671 | 2652 | 2348 |
| 麥寮鄉 | 194580 | 195143 | 195436 | 216931 | 204668 | 224817 | 264546 | 262726 | 235691 | 226690 | 195303 | 186903 |
| 莿桐鄉 | 49567 | 49058 | 51106 | 45745 | 33634 | 134599 | 199536 | 78457 | 64535 | 55793 | 88411 | 60885 |
| 溪州鄉 | 11702 | 11573 | 13754 | 14426 | 12022 | 13530 | 45333 | 24490 | 38209 | 21304 | 26783 | 19293 |
| 溪湖鎮 | 214329 | 215454 | 221537 | 235385 | 198627 | 310955 | 276828 | 259232 | 264272 | 233419 | 266215 | 231076 |
| 彰化市 | 88401 | 88470 | 92684 | 101304 | 59412 | 59153 | 57735 | 58905 | 62535 | 60019 | 57495 | 54637 |
| 福興鄉 | 116012 | 113693 | 117752 | 129701 | 107116 | 114170 | 117597 | 116841 | 117445 | 110686 | 108905 | 114736 |
| 線西鄉 | 7056 | 7185 | 7976 | 7963 | 8091 | 8056 | 8404 | 8489 | 9004 | 9015 | 8440 | 8340 |
| 褒忠鄉 | 607 | 602 | 622 | 474 | 1258 | 1174 | 1478 | 1898 | 1087 | 1328 | 1007 | 578 |