

國立交通大學

土木工程研究所

碩士論文

應用地理資訊系統與因子分析方法於地下水補
注潛勢評估—以濁水溪沖積扇為例

**Assessing the Groundwater Recharge Potential
Using Geographic Information System and
Factor Analysis**

- Case Study of Choshuihsi Alluvial Fan

研究生：陳冠宇

指導教授：張良正 博士

中華民國九十九年四月

應用地理資訊系統與因子分析方法於地下水補
注潛勢評估—以濁水溪沖積扇為例

**Assessing the Groundwater Recharge Potential
Using Geographic Information System and
Factor Analysis
- Case Study of Choshuihsi Alluvial Fan**

研究生：陳冠宇

Student : Kuan Y. Chen

指導教授：張良正

Advisor : Liang C. Chang



**Submitted to Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Civil Engineering
April 2010
Hsinchu, Taiwan, Republic of China**

中華民國九十九年四月

應用地理資訊系統與因子分析方法於地下水補注潛勢評估—以濁水溪沖積扇為例

學生：陳冠宇

指導教授：張良正 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

由於地下水在台灣地區水資源供應上扮演著極重要的角色，因此地下水資源的保育一直是個重要的議題，其中地下水補注為影響整個地下水系統的關鍵因素之一。因此，本研究乃結合地下水補注因子分析與地理資訊系統(GIS)，以評估地下水補注潛勢的空間分布並劃分高補注區域。

前述地下水補注因子分析考量之因子，包括土地利用、表層土壤種類、河系密度、透水係數、平均年降雨量、降雨與地下水位變化相關性、單位蓄水量變化等七項因子。而補注潛勢的計算則分為三個步驟，包括各因子細項分數的給定、因子間權重的訂定以及補注潛勢總分之計算。其中因子間權重的訂定乃基於 Shaban et al. (2006)提出之因子分析方法，繪製因子邏輯關係圖以給定因子間權重，而補注潛勢總分乃是各因子分數加權後之總合。前述因子細項分數的給定及補注潛勢總分之計算等皆應用 GIS 軟體輔助執行與展示。

本研究進一步將前述方法實際應用於濁水溪沖積扇，結果顯示扇頂區域擁有較高之補注潛勢，且由扇頂至扇尾逐漸遞減。其中高補注區與以工

研院能源與資源研究所於 1996 年使用施蘭卜吉排列(Schlumberger Array)之地電阻探測法及觀測井鑽探資料所推估之補注區界線相當接近。此結果驗證了本研究提出之方法對地下水補注潛勢評估是個可靠有效的方法，亦可作為地下水資源相關管理之輔助工具。



Assessing the Groundwater Recharge Potential Using Geographic Information System and Factor Analysis - Case Study of Choshuihsi Alluvial Fan

Student : Kuan-Yu Chen

Advisor : Dr. Liang-Cheng Chang

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

Since groundwater resources play a vital role in regional water supply, groundwater protection and conservation is an important issue in Taiwan. A systematic approach to assessing high recharge areas is a key factor in groundwater conservation. Therefore, this study proposes a systematic procedure that combines a factor-based method and geographic information system (GIS) to determine the spatial distribution of recharge potential and define high groundwater recharge areas.

This study selects seven factors to determine recharge potential: land use, surface soil type, drainage density, average annual rainfall, the correlation between rainfall and groundwater level variation, the variation of unit aquifer storage, and hydraulic conductivity. Calculating the recharge potential requires three steps; defining all factor scores, determining the weighting of factors, and summing the weighted factor scores. The purpose of the first step is to define the recharge score for each factor. A high factor score value represents high recharge potential for that factor. Second, the determination of weighting among factors was based on Shaban et al.'s factor analysis method, in that a diagram of logical relationship among factors is defined and the factor weights are computed based on the diagram. After determining the recharge score of each factor and its weighting, the total recharge score was obtained by summing all weighted factor scores. A high total score represents a high recharge potential. This study uses a GIS system for analysis, and all the values, including recharge potential, were spatially distributed.

This study applies the proposed method to Choshuihsi Alluvial Fan. Results show that the proximal area has a high recharge potential that decreases in the distal area. These results are similar to the results of prior studies using Resistivity Image Profile of the Schlumberger Array and the field

investigations conducted by the Industrial Technology Research Institute of Taiwan. This case study demonstrates that the proposed procedure is a reliable and efficient method of measuring groundwater recharge potential, and is therefore a useful tool for groundwater resource management.



謝誌

首先感謝恩師 張良正教授於學生碩士班修業期間，給予學術上的指導與邏輯思考之培養，學生才得以順利完成學業，在日常中的待人處事哲學更是讓學生受用無窮。感謝口試委員 江崇榮副所長、葉昭憲教授以及蘇惠珍教授於口試時給予的寶貴意見，讓學生論文能更趨完善，在此致上衷心謝意。感謝 史天元教授教導地理資訊系統專業知識，於課堂上還請來交大防災中心慧蓉姐替我們示範講解。因分組製作期末報告的緣故，認識了工研院佳惠姐、測量組同學恩銘、逸如、建成，感謝他們於學業上的幫助。感謝 林峰田教授讓我旁聽地理資訊系統課程，雖然後來因有課衝堂，無法新竹台北來回跑，但還是很高興上過您的課。感謝 王承德教授偷偷用學妹的MSN跟我聊近況，真的很感謝您。感謝 鄭玉旭教授，在大學時期帶我們上山做專題實驗，讓學生有了第一次撰寫專題論文的經驗。口試後，還使用Facebook的聊天室詢問我近況，謝謝您。感謝 鄧慰先教授，由於大學通識課程修過您的地理資訊系統概論，奠定了學生GIS的基礎，並且有了深厚的興趣。

在交大的歲月裡，感謝水利組學長陳文哥、彬哥、貓哥、生哥、朱爺、蘇哥、輝哥、君儀、柏成、為善、昱維、韋圻、瀚聖、阿牛在學業以及論文上的大力協助與勉勵，很懷念大夥一同去好樂迪唱歌的歡樂時光。感謝資訊組學長沈入、昊志、猛虎、昱德以及結構組學長怡廷的照顧。感謝資

訊組同學阿暉、志銘、十元、潘姐、地球、天恩、紅豆以及水利組同學阿海的扶持。感謝資訊組學弟妹雲直、阿十、阿卡以及水利組學弟妹阜峻、深惠、小魚、阿布的相伴與鼓勵。感謝其他研究室曾經給予過幫助的同學們。感謝大學學伴恬恬於口試前的信心加持和提供「兔斯基跳NOBODY」的影片讓我放鬆心情，口試後甚至還幫我慶祝，真的非常感動。感謝幼稚園到現在仍有聯絡的青梅竹馬維倩的鼓勵，祝妳在挪威新婚快樂。注意看看簽證國籍是否被挪威政府偷改為中國，最近鬧蠻大的新聞。感謝FarmVille的農友們，讓我能夠短時間內達成遊戲任務，省下時間來做研究。感謝Mafia Wars的黑手黨兄弟們，在我做研究沒時間玩而被偷襲時，幫我擋刀擋槍，搶劫還會分贓給我。感謝封神無敵的盟友們，能忍受我這長老為了做研究消失那麼久，甚至還會幫我加油打氣。感謝瑪奇可愛的公會長，在我久久登入一次，還是很熱情的跟我打招呼，並且詢問近況。感謝龜有公園前派出所的兩津勘吉以及綜藝二人傳的神仙老爸，由於你們的搞笑演出，讓研究室都充滿了我的笑聲。研究所生涯有了你們才會如此的歡樂和充滿活力，認識你們真好。

感謝因協助老師計畫，認識的研究助理全哥、俊明、祐誠和彥勳以及行政助理逸儒在計畫以及論文上的幫助、崧旭的楊順能經理和王韋力主任、互動國際的洪家鴻高級專員和陳伯銜技術經理在GIS技術上的協助。其中特別感謝楊經理與王主任於我申請研發替代役時，對我的大力推薦以及

對我的肯定。雖然受限於研發替代役名額，無機會於服役期間進入貴公司，但希望以後仍有機會一起合作或工作。感謝在擔任老師系統分析專班助教時認識的陳米山建築師對我的勉勵與建議，也提供我對鼻子過敏蠻有效果的噴液劑，甚至介紹我認識他的家庭醫生。

感謝擔任工地主任的六叔，在我大學放假期間讓我去打工。感謝七叔曾在我對論文不知所措時，請我去農工中心聊聊，並提供了我多個研究方向與建議。感謝天上聖母、觀世音菩薩、福德正神、保生大帝等眾神明的庇祐，讓我能順利完成碩士學位。最令我驚訝的是，口試日期竟然和保生大帝生日是同一天，當天母親大人立刻早起到廣濟宮向保生大帝祈禱我能口試順利。最後，最要感謝的是家人，爸爸、媽媽以及妹妹，從小到大無論發生什麼事情，最關心我的肯定是家人。在研究所這段時間，由於很少有機會回家，媽媽和妹妹數次來陪伴我好幾天，讓我覺得非常窩心。爸、媽、妹，我真的好愛好愛你們。這篇謝誌是在母親節完成的，因此特別祝福媽媽母親節快樂，身體健康，天天都是好心情。

2010.05.09 小宇 謹致於國立交通大學土木工程研究所

目錄

摘要	I
Abstract	III
謝誌	V
目錄	VIII
表目錄	XI
圖目錄	XIII
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究目的	1
1.3 文獻回顧	2
第二章 研究步驟	8
第三章 研究方法	10
3.1 潛勢評估因子與權重	10
3.2 地下水補注潛勢評估流程	20
3.3 地下水補注潛勢因子介紹	24
3.3.1 地層內因	24
3.3.2 水文外因	26
3.3.3 綜合因素	27
3.4 補注潛勢各因子計分方式	28

第四章 濁水溪沖積扇地下水補注潛勢評估.....	34
4.1 區域概述.....	34
4.2 資料蒐集與處理.....	54
4.2.1 土地利用.....	55
4.2.2 表層土壤種類.....	57
4.2.3 降雨與地下水位變化相關性.....	58
4.2.4 平均年降雨量.....	65
4.2.5 單位蓄水量變化.....	67
4.2.6 透水係數.....	71
4.2.7 河系.....	73
4.3 因子分數圖層處理.....	74
4.3.1 土地利用.....	74
4.3.2 表層土壤種類.....	75
4.3.3 降雨與地下水位變化相關性.....	78
4.3.4 平均年降雨量.....	79
4.3.5 單位蓄水量變化.....	80
4.3.6 透水係數.....	81
4.3.7 河系密度.....	82
4.4 補注潛勢評估.....	83

第五章 結論與建議.....	89
5.1 結論.....	89
5.2 建議.....	90
參考文獻.....	91
附錄 A 地理資訊系統簡介.....	95



表目錄

表 3.1-1、D 值之範圍及分數等級.....	12
表 3.1-2、R 值之範圍及分數等級.....	12
表 3.1-3、A 值之範圍及分數等級.....	13
表 3.1-4、S 值之範圍及分數等級.....	14
表 3.1-5、T 值之範圍及分數等級.....	14
表 3.1-6、I 值之範圍及分數等級.....	15
表 3.1-7、C 值之範圍及分數等級.....	15
表 3.1-8、常用水文地質參數之權重表.....	16
表 3.1-9、地下水補注潛勢影響因子之權重表(Shaban et al., 2006)	19
表 3.1-10、地下水補注潛勢因子影響能力評估(Shaban et al., 2006)	19
表 3.3-1、地下水補注主要影響因子示意表.....	24
表 3.4-1、地下水補注潛勢因子權重計算表.....	31
表 3.4-2、地下水補注潛勢因子分數表.....	32
表 4.1-1、濁水沖積扇地下水觀測井歸層表.....	52
表 4.2-1、圖資及數據來源表.....	54
表 4.2-2、圖資製作工具.....	55
表 4.2-3、95 及 96 年國土利用調查委託製作範圍表.....	56
表 4.2-4、各雨量站徐昇氏網格之控制面積.....	61

表 4.2-5、各雨量站徐昇氏網格之控制面積(續).....	62
表 4.2-6、各井之儲水係數與單位蓄水量變化.....	69
表 4.3-2、表層土壤種類計劃分類表.....	76
表 4.4-1、地下水補注潛勢分數分級表.....	84



圖目錄

圖 2.1-1、研究步驟流程圖	9
圖 3.1-1、在拘限含水層及自由含水層之地下水位深度	12
圖 3.1-2、地下水補注潛勢相互影響因子概念圖(Shaban et al., 2006)	18
圖 3.2-1、地下水補注潛勢評估作業程序	23
圖 3.4-1、地下水補注潛勢因子關係圖	30
圖 4.1-1、濁水溪沖積扇地質地表河川及水文地質剖面位置圖(中央地質調查所, 1999)	37
圖 4.1-2、濁水溪沖積扇水文地質剖面 1(全興-田中)(中央地質調查所, 1999)	38
圖 4.1-3、濁水溪沖積扇水文地質剖面 2(漢寶-田中)(中央地質調查所, 1999)	38
圖 4.1-4、濁水溪沖積扇水文地質剖面 3(芳苑-二水)(中央地質調查所, 1999)	39
圖 4.1-5、濁水溪沖積扇水文地質剖面 4(西港-田中)(中央地質調查所, 1999)	39
圖 4.1-6、濁水溪沖積扇水文地質剖面 5(海豐-觸口)(中央地質調查所, 1999)	40
圖 4.1-7、濁水溪沖積扇水文地質剖面 6(海園-石榴)(中央地質調查	

所，1999).....	40
圖 4.1-8、濁水溪沖積扇水文地質剖面 7 (箔子-土庫) (中央地質調查所，1999).....	41
圖 4.1-9、濁水溪沖積扇水文地質剖面 8 (宜梧-東和) (中央地質調查所，1999).....	41
圖 4.1-10、濁水溪沖積扇水文地質剖面 9 (大溝-古坑) (中央地質調查所，1999).....	42
圖 4.1-11、濁水溪沖積扇水文地質剖面 10 (東石-崁腳) (中央地質調查所，1999).....	42
圖 4.1-12、濁水溪沖積扇水文地質剖面 11 (全興-東石) (中央地質調查所，1999).....	43
圖 4.1-13、濁水溪沖積扇水文地質剖面 12 (花壇-東榮) (中央地質調查所，1999).....	43
圖 4.1-14、濁水溪沖積扇概念分層.....	44
圖 4.1-15、濁水溪沖積扇垂直水文地質剖面與流網圖(江崇榮，2006)...	47
圖 4.1-16、濁水溪沖積扇地下水分區示意圖(江崇榮，2005).....	49
圖 4.1-17、地下水各含水層補注來源示意圖(江崇榮，2006).....	50
圖 4.1-18、濁水溪沖積扇地下水觀測網站井分布圖.....	53
圖 4.2-1、濁水溪沖積扇土地利用研究分類圖層.....	56

圖 4.2-2、表層土壤種類原始圖層	58
圖 4.2-3、雨量站位置圖	59
圖 4.2-4、降雨與地下水位變化相關性因子所選取之地下水井分布圖	60
圖 4.2-5、豐榮(1)地下水位上升量與各區平均降雨量線性迴歸(a)平原 區(b)山區(c)全區	63
圖 4.2-6、各區降雨與受壓地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較圖 ..	64
圖 4.2-7、各區降雨與非受壓地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較 圖	64
圖 4.2-8、降雨與地下水位變化相關係數等值圖	65
圖 4.2-9、本研究選取之雨量站	66
圖 4.2-10、本研究選取雨量站年雨量等值線圖(mm)	67
圖 4.2-11、單位蓄水量變化因子所選用之地下水井分布圖(江崇榮， 2006)	70
圖 4.2-12、單位蓄水量變化等值圖	71
圖 4.2-13、含水層一(F1)42 口地下水觀測站分布圖	72
圖 4.2-14、濁水溪沖積扇含水層一(F1)透水係數等值線圖	73
圖 4.2-15、濁水河流域河系圖	74
圖 4.3-1、加權後土地利用潛勢分數分布圖	75
圖 4.3-2、加權後表層土壤種類潛勢分數分布圖	77
圖 4.3-3、加權後降雨與地下水位變化相關性潛勢分數分布圖	78

圖 4.3-4、1993~2008 年加權後平均年降雨量潛勢分數分布圖.....	79
圖 4.3-5、加權後單位蓄水量變化潛勢分數分布圖.....	80
圖 4.3-6、濁水溪沖積扇含水層一加權後透水係數潛勢分數分布圖.....	81
圖 4.3-7、加權後河系密度潛勢分數分布圖.....	82
圖 4.4-1、地下水補注潛勢總分分級圖.....	85
圖 4.4-2、地下水補注潛勢總分分級以及鄉鎮邊界圖.....	86
圖 4.4-3、50 分以上補注區界線與地電阻探測法研判之界線對比圖.....	87
圖 4.4-4、本研究與地電阻探測法研判之補注區範圍對比圖.....	88



第一章 緒論

1.1 前言

由於地下水在臺灣地區水資源供應上扮演著極重要的角色，因此地下水資源的保育一直是個重要的議題，因此經濟部自民國 81 年起至 97 年止，執行「臺灣地區地下水觀測網整體計畫」，執行期程分三期，於臺灣九個地下水區及恒春和澎湖地區進行水文地質調查研究及地下水觀測井建置工作，已完成建立臺灣地區水文地質基本資料、完善之地下水監測系統、開發水文地質資料庫。水文地質調查研究共完成 332 口（岩心總長度 67231 公尺）水文地質鑽探進行岩心分析研究並以水文地質資料庫儲存和處理各項調查分析結果。

地下水補注為影響整個地下水系統的關鍵因素之一，其推估方法相當複雜，方法亦相當多樣，本研究屬於半定量之地下水補注潛勢評估，乃結合地下水補注因子分析方法與地理資訊系統(GIS)，提出一套有系統之方式以評估地下水補注潛勢的空間分布，並劃分高補注區域。

1.2 研究目的

本研究主要以因子分析方法進行補注潛勢評估，而由於各因子可透過地理資訊系統進行圖層化，可進行空間分析以及展示成果，故將因子分析方法與地理資訊系統結合，並提出一套有系統的地下水補注潛勢評估流

程，實際應用於濁水溪沖積扇劃定地下水高補注區邊界。

1.3 文獻回顧

文獻回顧主要分為兩個類別，一是與潛勢評估相關之文獻，另一為與潛勢評估應用於地下水之相關文獻進行探討比較。

一、潛勢評估相關文獻

DRASTIC 模式為一地下水污染潛勢評估模式，為美國水井協會配合美國環保署於 1985 年所提出，用以評估地區之污染潛勢，計算區域受到污染的可能性大小，高污染潛勢代表該區域客觀上較易受到污染。在 DRASTIC 模式中，乃考慮七項水文地質參數(地下水位深度、淨補注量、含水層介質、土壤介質、地形坡度、未飽和層影響、水力傳導係數)，結合地理資訊系統評估一地區受污染潛勢之相對大小。張良正(1999)曾採用 DRASTIC 模式進行濁水溪沖積扇與屏東平原之地下水污染潛勢評估，該模式同時考量七項水文地質參數，以評估該地區受污染潛勢之大小。由於 DRASTIC 評估模式中所考慮之水文地質參數有七項，因此將這兩個地區以 2 公里 × 2 公里的格網進行空間切割，並針對這七項參數來給定各網格資料，再參考與修正 DRASTIC 評估模式中所對應之每個參數的權重，經加總後即可得到濁水溪沖積扇及屏東平原每個格網的總分，此分數即代表各網格之污染潛勢；之後再利用 MAPINFO 顯示出在這兩個地區的水文地質狀況下，所造成之 DRASTIC 污染潛勢評估指標分佈圖。

其他類似 DRASTIC 模式以因子為基礎分析潛勢之文獻有，王敦儀(2001) 以土壤沖蝕指標模式 (SEIM) 為理論基礎，配合各地降雨、地形、土壤、覆蓋及土地利用等相關資料，運用 Surfer 6.0 與 ArcView GIS 軟體建立台灣地區土壤沖蝕潛勢圖，分析全島各地之土壤沖蝕潛勢。陳建富(2004) 針對行政院原住民族委員會自 1998~2001 年完成台灣全島 150 處之調查部落社區中抽取 21 處潛勢災害危險區，以多變量不安定指數分析及倒傳遞類神經網路系統進行其環境潛勢災害風險評估模式之推導建置。戴君翰(2006) 選定 12 項坡地社區環境潛勢災害影響因子，進行獨立性、交互性與融合性之統計檢定分析，再結合倒傳遞類神經網路與多變量不安定指數統計分析法進行複相關迴歸及其受損風險評估模式之推導建立，最後整合 GPS/GIS/RS 技術，完成一套適用於台灣南投地區內坡地社區環境潛勢災害資料庫系統。侯春帆(2005) 以陳有蘭溪為崩塌潛勢研究對象，選定六個因子，包括坡度、坡向、高程、地質、土地使用區分、距離河道距離，各因子分別與現地之實際崩塌資料進行圖層套疊並透過不安定指數法將各分級因子進行統計分析其中之潛感評分及各因子潛感權重，再將各權重值以套疊方式，計算出總潛感值。陳柏帆(2006) 採用溪流長度、有效集水區面積、流域內邊坡坡度與坡向、地質、溪床平均坡度與潛在崩塌比等七因子，因子間權重均假設為 1，配合地理資訊系統進行土石流潛勢之判定。黃靖柏(2008) 利用地理資訊系統結合統計分析法中的邏輯斯迴

歸來進行集水區之崩塌潛勢評估的模擬。選定集水區面積、河流長度、集水區長度、集水區寬度、平均坡度、地質參數及道路長度等七種地形因子並建立成地形因子資料庫，接著再把資料庫代入邏輯斯迴歸的模式中，利用 60 筆資料做訓練，40 筆資料做為驗證，建立一套邏輯斯迴歸之判別模式。由上述文獻可歸納出二種因子間權重之作法，其一是因子間權重已經固定或均為 1，其二是以統計或類神經網路等方式決定因子間之權重。

二、潛勢評估應用於地下水之相關文獻

在地下水補注潛勢評估方面，有相當多文獻類似 DRASTIC 模式以因子為潛勢分析之基礎。Mukherjee (1996) 提出許多影響地下水補注之因素，包括地形、岩石種類、地質結構、風化程度、裂隙寬度、原生與次生孔隙率、坡度、河系、土地利用、地表覆蓋以及氣候條件等因素皆相互控制著該區域之地下水補注過程與流動方向。就目前常見之現地水文地質試驗與地球物理探勘調查往往只著重於單一影響因素對地下水補注做評估，往往無法同時考慮到不同條件之影響，相對地其調查資料之可信度將大幅降低 (Murthy, 2000)。Jasrotia et al. (2007) 利用遙感探測技術 (Remote Sensing) 與地理資訊系統 (Geographic information system, GIS) 等技術，建構一平台做為地下水人工補注潛勢區域 (Potential zone for artificial recharge) 劃分之用。其劃分依據乃參考兩大類資料進行分析，第一類地表地質相關資料，大部分皆為衛星影像資料處理後得到，包含岩性、地形、土地利用/土地覆蓋圖層、

水文土壤質地、坡度；第二類為含水層參數，其來源為現地資料，包含地下水位深度、導水係數、水力傳導係數、蓄水係數、井之比容量及入滲能力。再將此兩大類資料藉由地理資訊系統(GIS)之空間分析與整合後產出地下水人工補注潛勢區圖層，配合河系網絡(Drainage network)圖層進行套疊，以此作為執行補注地下水之依據，並用以驗證此圖層之正確性。最後進一步將此地下水人工補注潛勢圖層之結果配合地形資料找出最適合補注的場址，並建立一最後圖層作為最終成果之展現。此二篇文獻研究區域均屬於岩石地形，故採用之因子無法直接套用於本研究，且無說明因子間權重如何給定。

亦有以單一指標推估補注潛勢者，如 Mondal et al. (2004)以降雨與地下水位深度關係得到一相關係數，相關係數越大者代表補注潛勢能力越佳。本研究參考其作法並加以擴充，作為本研究地下水補注潛勢因子之一一降雨與地下水位變化相關性。而 Braun et al. (2003)則進行兩個層次的圖層處理以推估補注潛勢，首先歸納出降雨(Precipitation)、溫度(Temperature)、土壤種類(Soils)、與土地覆蓋(Land cover)等四項影響地下水補注的顯著因子，再利用地理資訊系統(GIS)將上述顯著因子之圖層進行空間分析再產生三張圖層，分別為滲透(Percolation)、地表逕流(Surface runoff)與根域(Root zone)三張圖層，各圖層個別依影響地下水補注潛勢的能力分為一到十分，最後產出的地下水補注潛勢圖乃由此三張圖層的分數

加總即可得到，再依此判斷與劃定研究區域之地下水補注潛勢區域。其作法並無考慮到三圖層影響補注潛勢之程度，即三圖層間之權重問題，而直接分數加總，相當於因子間權重為 1。

Shaban et al. (2006)以岩性(Lithology)、河系(Drainage)、線型構造(Lineaments)、土地利用/覆蓋(Land use/Land cover)、岩溶區域(Karstic domains)等五項影響地下水補注潛勢之重要顯著因子評估黎巴嫩沿海喀斯特地形山區之地下水補注潛勢。相較於其他文獻，Shaban 等人特別提出了一套「因子邏輯關係圖」的概念，以訂定因子間之權重。本研究即採用其方法，將於 3.1 節詳細說明。葉信富等人(2008)採用岩性、土地利用/覆蓋、線型構造、河系以及坡度等五項影響地下水補注潛勢之重要顯著因子應用於知本溪與金崙河流域之地下水補注潛勢評估，其因子權重之決定方式與 Shaban et al. (2006)近似。

江崇榮等人(2005)利用氙、溶氧及硝酸態氮做為地下水之示踪劑，利用三者於水層中之濃度變化進而推估出地下水補注區之分布，其初步研究指出濁水溪沖積扇之主要補注來源，以扇頂為中心，包括八卦台地及斗六丘陵之局部，總面積約 285 平方公里，佔全地下水區面積之 13.7%。

林俊男(2000)考量八個地下水補注潛勢因子，以鄉鎮為單位推估濁水溪沖積扇內各鄉鎮之地下水補注潛勢，其中八個因子包括增加一公尺水頭之補注率、地表入滲潛力、定水頭邊界流失率、土地利用地表透水率、平

均年降雨量、稻作灌溉計畫水量、農業用地百分比、降雨日數。本研究則以 1 公里見方網格為單位推估地下水補注潛勢，採用之因子亦與其不相同。

張良正(1998)對屏東平原之地下水補注進行評估與分級，以飽和入滲率與地下水位敏感度之乘積推估地下水補注潛勢並以此結果做為屏東平原區域地下水補注分級之依據。進一步藉由 MODFLOW 模式計算屏東地區地下水位對於地表入滲之敏感度，並依此敏感度分析結果配合前述地表土壤飽和入滲率評估區域補注潛勢與分級。

本研究將參考上述文獻評估地下水補注潛勢之方法，進行研究區域之地下水補注潛勢評估；在補注潛勢因子之細部評分上，將參考 DRASTIC 之評分方法，對於補注潛勢因子間對於地下水補注潛勢之影響權重，則參考 Shaban et al.(2006)提出之方法，而在空間分析上則應用 GIS 之空間分析功能，綜合前述地下水補注潛勢影響因子之評分標準，估算研究區域之地下水補注潛勢。

第二章 研究步驟

本研究之研究步驟如圖2.1-1所示。第一階段是資料蒐集及彙整，主要蒐集濁水溪沖積扇水文地質調查、地質鑽探、地下水水位、地下水水質、土地利用、土壤圖、雨量及河川水系等資料。另外，再彙整國內外地下水補注及保育相關報告與文獻。

第二階段為地下水補注潛勢流程建立，參考DRASTIC架構，考量土地利用、表層土壤種類、年平均降雨量、透水係數、單位蓄水量變化及降雨量與地下水位變化相關性等因子，給定相關權重，建立地下水補注潛勢評估流程。

第三階段是圖資處理及建立，依照「地下水補注潛勢流程」所確立之潛勢因子進行圖資的處理與建立。能申請取得之圖層即向相關單位申請，包括土地利用、表層土壤種類、河系等，並使用GIS軟體進行網格交集、地下水區切割等空間分析處理；無現成圖資的因子包括透水係數、單位蓄水量變化、降雨與地下水位變化相關性、平均年降雨量，則由本研究蒐集相關數據，內插處理後並建立因子圖層，亦需進行網格交集、地下水區切割等空間分析處理。

第四階段為濁水溪沖積扇地下水高補注區劃分，乃根據地下水補注潛勢評估流程計算後之補注潛勢分數，推估濁水溪沖積扇之地下水高補注區。

第五階段為劃分結果檢討與比較，乃將劃分結果與工業技術研究院劃分之補注區界線進行比較。以上為本研究所採用之研究步驟，至於各階段中所應用的主要分析方法將於下一章節進一步說明。



圖 2.1-1、研究步驟流程圖

第三章 研究方法

本研究建立一套完整的地下水補注潛勢之評估流程，並將之應用於濁水溪沖積扇之地下水補注潛勢評估。本章節將說明地下水補注潛勢之評估流程。首先於 3.1 節說明本研究所採用之方法。3.2 節說明地下水補注潛勢評估流程。3.3 節進一步說明本研究所採用之補注潛勢因子。3.4 節再透過因果分析方式，分析補注潛勢因子間相互關係，給予各補注潛勢因子互相間之權重分數。各因子本身之補注潛勢分數圖層，則透過地理資訊系統對各補注潛勢因子進行空間分析建立。

本研究最後再將各因子之潛勢分數圖層，以因子互相間之權重分數進行整合，得到濁水溪沖積扇總體之補注潛勢分數圖層，以劃分研究區域之地下水主要補注區。

3.1 潛勢評估因子與權重

本研究的課題乃是地下水補注，而地下水補注的研究又可分為兩個層次，一個乃是半定量的補注潛勢評估，另一個乃是定量的補注量推估，補注潛勢可用以描述一個地區客觀上是否容易補注，然而實際上仍需有如降雨等補注來源才能產生地下水補注，因此補注潛勢並不直接等同於補注量。在潛勢評估方面，最具代表性乃是以 DRASTIC 為代表的一系列以因子權重分析為基礎的研究。本研究參考 DRASTIC 的精神，進行補注潛勢評估。因此，以下將針對 DRASTIC 做進一步介紹。

DRASTIC 地下水污染潛勢評估系統是美國水井協會配合美國環保署於 1985 年所提出，原本乃用以評估地區之污染潛勢，計算區域受到污染的可能性大小，高污染潛勢代表該區域客觀上較易受到污染。原 DRASTIC 模式中，乃考慮七項水文地質參數，以評估一地區受污染潛勢之相對大小。由於此七項水文地質參數均可以圖層方式表示，故可結合地理資訊系統(GIS)，將一地區之污染潛勢以圖形顯示。DRASTIC 模式除對一般性污染物提出考慮水文地質參數之權重外，尚針對農業行為提出農業權重。經由 DRASTIC 模式所得之指標值本身並無不是污染發生機會之絕對值，其只在顯示污染潛勢(發生機會)之相對大小。

1. DRASTIC 之水文地質參數及其評分

上述提到水文地質參數有七項，即為 DRASTIC 名稱命名之由來：地下水位深度(Depth to water, D)、淨補注量(Net recharge, R)、含水層介質(Aquifer media, A)、土壤介質(Soil media, S)、地形坡度(Topography, T)、未飽和層影響(Impact of vadose zone, I)與含水層水力傳導特性(Conductivity of the aquifer, C)。此七項水文地質參數皆可用地圖形式來表現。DRASTIC 系統將考慮之七個水文地質參數分別轉換成 0~10 分之分數等級。分別說明如下：

(1). D (地下水位深度)

在受壓含水層中，D 值為地面至含水層頂部之深度；在自由含水層，

D 表示地面至地下水位之深度(圖 3.1-1)。一般而言，D 值愈小，則地下水受污染之可能性愈高，其所對應的分數也較高。可從表 3.1-1 得知在實際應用上，D 值範圍及其對應之分數等級。

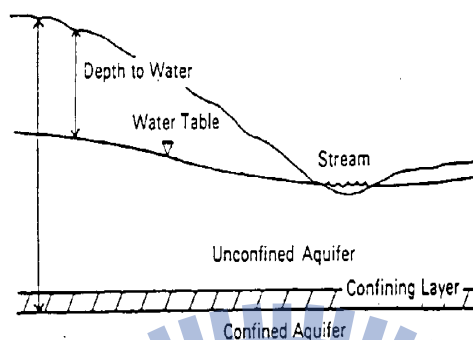


圖 3.1-1、在拘限含水層及自由含水層之地下水位深度

(2). R (淨補注量)

污染物質進入地層後，主要係受水之攜帶而移動，故來自地表之補注水量提供了污染物於含水層中傳輸及擴散之能力。其關係可用表 3.1-2 表示。

表 3.1-1、D 值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
呎	公尺	
0~5	0~1.5	10
5~15	1.5~4.5	9
15~30	4.5~9.0	7
30~50	9.0~15	5
50~75	15~22.5	3
75~100	22.5~30	2
100+	30+	1

表 3.1-2、R 值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
呎	公尺	
0~2	0~0.6	1
2~4	0.6~1.2	3
4~7	1.2~2.1	6
7~10	2.1~3.0	8
10+	3.0+	9

(3). A (含水層介質)

含水層介質之性質決定地下水於其間的流動能力，更影響到污染物之傳輸及擴散。大體而言，介質之顆粒愈大或裂縫孔隙愈多，則其滲透性佳且遲滯力愈差，污染可能性就愈高。所對應的分數也相對地高。表 3.1-3 表示主要介質種類及其分數等級。

表 3.1-3、A 值之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)	典型分數等級 (typical Rating)
塊狀頁岩(Massive shale)	1-3	2
變質/火成岩(Metamorphic/igneous)	2-5	3
風化之變質/火成岩 (Weathered metamorphic/igneous)	3-5	4
薄層砂岩、石灰岩、頁岩層 (Thin bedded sandstone, limestone, shale sequences)	5-9	6
塊狀砂岩(Massive sandstone)	4-9	6
塊狀石灰岩(Massive limestone)	4-9	6
砂及礫石(Sand and gravel)	6-9	8
玄武岩(Basalt)	2-10	9
喀斯特石灰岩(Karst limestone)	9-10	10

(4). S (土壤介質)

S 主要指未飽和層最上部生物作用明顯之部份。在 DRASTIC 系統中，一般可指地表 3 呎(約 1 公尺)以內之表土風化層。S 值對污染潛勢之影響主要決定於粘土種類，膨脹/收縮能力，土壤顆粒大小，以及有機質含量，應用上可利用表 3.1-4，來決定其所對應的分數。

表 3.1-4、S 值之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)
薄或無(Thin or Absent)	10
砂礫(Gravel)	10
砂(Sand)	9
收縮及結塊粘土 (Shrinking and/or Aggregated clay)	7
砂質壤土(Sandy loam)	6
壤土(Loam)	5
粉質壤土(Silty loam)	4
粘質壤土(Clay loam)	3
非收縮及非結塊粘土 (Nonshrinking and nonaggregated clay)	1

(5). T (地形坡度)

地表坡度表污染物將很快為地表逕流所帶走，或能有足夠停留時間以入滲至土層中。入滲機會大，則坡度所導致之污染可能性就高。應用上可利用表 3.1-5，來決定其所對應的分數。

表 3.1-5、T 值之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)
0~2	10
2~6	9
6~12	5
12~18	3
18+	1

(6). I (未飽和層影響)

此處之未飽和層於受壓含水層，其影響包括未飽和層及覆於該含水層以上之飽和層；於自由含水層指地下水位以上之未飽和層。生物分解、中

和、過濾、化學反應、揮發及延散作用等均是於未飽和層中可能發生之過程。此外，此層並影響到污染物傳輸之時間及量。實際應用可利用表 3.1-6。

表 3.1-6、I 值之範圍及分數等級

範圍 (Range)	分數等級 (Rating)	典型分數等級 (Typical Rating)
坩/粘土(Silt/Clay)	1-2	1
頁岩(Shale)	2-5	3
石灰岩(Limestone)	2-7	6
砂岩(Sandstone)	4-8	6
層狀石灰岩、砂岩、頁岩 (Bedded limestone, sandstone, shale)	4-8	6
含坩土及黏土之砂與礫石 (Sand and gravel with significant silt and clay)	4-8	6
變質岩/火成岩(Metamorphic/igneous)	2-8	4
砂及礫石(Sand and gravel)	6-9	8
玄武岩(Basalt)	2-10	9
喀斯特石灰岩(Karst limestone)	8-10	10

(7). C (含水層水力傳導特性)

水力傳導係數愈大，污染物愈易自污染源被移走，則地下水受污染之潛能愈大，應用上可利用表 3.1-7。

表 3.1-7、C 值之範圍及分數等級

範圍(Range)		分數等級 (Rating)
Gpd/ ft ²	Cmd/m ²	
1-100	<4	1
100-300	4-12	2
300-700	12-28	4
700-1000	28-40	6
1000-2000	40-80	8
2000+	80+	10

DRASTIC 系統中除對一般性污染物提出所考慮水文地質參數之一般性權重外，另外農業耕作之施肥及農藥施放方式著重於表土層，對地下水所可造成污染之途徑較明確，故針對農業行為提出農業權重(表 3.1-8)。

表 3.1-8、常用水文地質參數之權重表

水 文 地 質 參 數	一般權重	農業權重
D (Depth to water table)	5	5
R (Net recharge)	4	4
A (Aquifer media)	3	3
S (Soil media)	2	5
T (Topography)	1	3
I (Impact of vadose zone)	5	4
C (Hydraulic Conductivity of the aquifer)	3	2

2. DRASTIC 污染評估指標之決定

決定上述七個水文地質參數之分數值(Rating)及權重值(weighting)後，其相應之乘積和即為 DRASTIC 污染評估指標值，如式 3.1-1 所示：

$$DRASTIC = D_w D_r + R_w R_r + A_w A_r + S_w S_r + T_w T_r + I_w I_r + C_w C_r \quad (\text{式 3.1-1})$$

下標 r 代表分數值(Rating)

下標 w 代表權重值(weighting)

然而前述 DRASTIC 並無客觀之各因子間權重之計算方式，乃直接以使用者經驗給定，因此本研究參考 Shaban 等人因子權重決定之方法，先決定各個因子間之因果關係後再據以計算權重。以下將對 Shaban 等人的作法做介紹。

Shaban et al. (2006)以岩性(Lithology)、河系(Drainage)、線型構造(Lineaments)、土地利用/覆蓋(Land use/Land cover)、岩溶區域(Karstic domains)等五項影響地下水補注潛勢之重要顯著因子評估黎巴嫩沿海喀斯特地形山區之地下水補注潛勢及全區之補注量。並依照此五個影響因子間的主要影響關係與次要影響關係訂定因子間之權重比例。

根據圖 3.1-2 地下水補注潛勢相互影響因子概念圖給予判定，如各項因子間存在主要影響關係(實線部份)，則給予 1.0 分之權重值；如各項因子間存在次要影響關係(虛線部份)，則給予 0.5 分之權重值。之後再將各因子進行分級，各分級皆有其權重分數(Weight)，最高為 10 分，最低為 1 分，如表 3.1-9 所示。接著再把之前各因子所代表的權重比例(Rate)與因子內部之分級所代表權重(Weight)乘積即可得到該因子內部分級對地下水補注潛勢之影響能力，如表 3.1-10 所示。

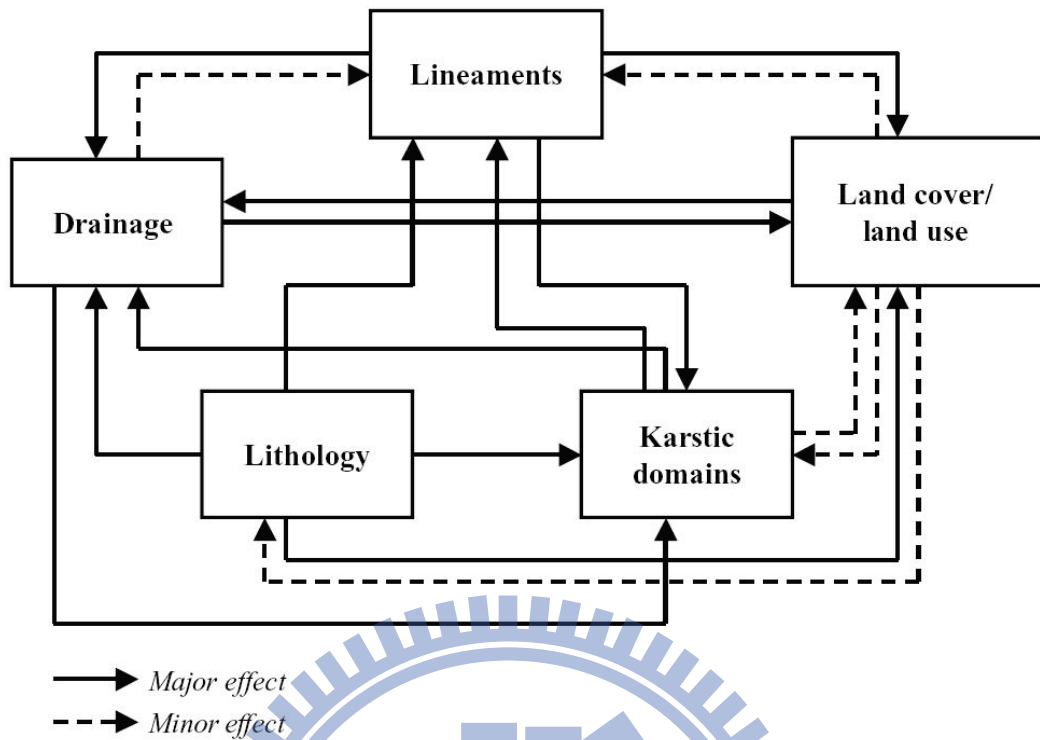


圖 3.1-2、地下水補注潛勢相互影響因子概念圖(Shaban et al., 2006)



表 3.1-9、地下水補注潛勢影響因子之權重表(Shaban et al., 2006)

Factor	Descriptive level	Proposed weight of effect	Domain of effect
Lineaments	Very high	10	>40 (lineament per 25 km ²)
	High	8	35-40
	High-moderate	6.5	30-35
	Moderate	5	25-30
	Non indicative	5	<25
Drainage	High	8	>75 (segment per 25 km ²)
	High-moderate	6.5	75-60
	Moderate	5	60-40
	Moderate-low	3.5	40-30
	Low	2	<30
Lithology	Very high	10	40-50%
	High	8	28-35%
	Moderate	5	10-20%
	Low	2	5-10%
	Very low	1	<5%
Karst	Very high	10	Distinct with lapiez
	High	8	Distinct with sinkholes
	High-moderate	6.5	Developed karst
	Moderate	5	Apparent karst
	Non indicative	5	No karst
Land cover/land use	High-moderate	6.5	Dense vegetation, rural and excavated land
	Moderate	5	Sparse vegetation
	Moderate-low	3.5	Scattered settlements, thin soil cover
	Low	2	Moderately thick soil
	Very low	1	Dense human settlements, compacted soil

表 3.1-10、地下水補注潛勢因子影響能力評估(Shaban et al., 2006)

Factor	Descriptive scale	Weight (a) (1-10)	Rate (b) (1-4)	Weighted rating (a×b)	Total rating
Lineaments	Very high	10	3	30	104
	High	8		24	
	High-moderate	6.5		20	
	Moderate	5		15	
	Non indicative	5		15	
Drainage	High	8	2.5	20	63
	High-moderate	6.5		16	
	Moderate	5		13	
	Moderate-low	3.5		9	
	Low	2		5	
Lithology	Very high	10	4	40	104
	High	8		32	
	Moderate	5		20	
	Low	2		8	
	Very low	1		4	
Karstic domains	Very high	10	2.5	25	87
	High	8		20	
	High-moderate	6.5		16	
	Moderate	5		13	
	Non indicative	5		13	
Land cover/Land use	High-moderate	6.5	2.5	16	46
	Moderate	5		13	
	Moderate-low	3.5		9	
	Low	2		5	
	Very low	1		3	

3.2 地下水補注潛勢評估流程

本研究將針對濁水溪沖積扇之水文地質特性，參考地下水補注潛勢研究之相關文獻，整合地理資訊系統(GIS)，提出地下水補注潛勢評估流程，以此流程為基礎進行濁水溪沖積扇地下水補注潛勢分析，流程架構如圖 3.2-1 所示。

在地下水補注潛勢因子部分，本研究考量「土地利用」、「表層土壤種類」、「降雨與地下水位變化相關性」、「河系密度」、「平均年降雨量」、「單位蓄水量變化」以及「透水係數」等七項主要影響因子(如表 3.2-1 所示)。而各影響因子相對權重之決定，後續將於 3.3 節進一步說明。

本研究將針對濁水溪沖積扇之水文地質特性，參考與地下水補注潛勢相關之研究報告與文獻資料，提出地下水補注潛勢評估流程，並以其進行濁水溪沖積扇地下水補注潛勢分析，補注潛勢評估流程如圖 3.2-1 所示。在建立地下水補注潛勢因子方面，乃參考相關文獻資料，配合濁水溪沖積扇之水文地質特性所訂定。

圖 3.2-1 主要說明地下水補注潛勢評估流程，首先為「選定地下水補注潛勢因子與因子資料蒐集」，在補注潛勢因子選定部份，主要為參考研究區域相關文獻資料以及配合研究區域之水文地質特性所訂定，而在補注潛勢因子之資料收集方面乃針對研究區域蒐集點位資料、圖層資料等，接著再將所蒐集之各因子資料建立 GIS 圖層。在進行地下水補注潛式評估

前，本研究以一公里見方之網格對研究區域各補注潛勢因子之 GIS 圖層進行空間切割，因此本計畫進行地下水補注潛勢評估時，將以一公里見方之網格作為基本評估單位。

在「選定地下水補注潛勢因子與因子資料蒐集」之後，接著為兩個可同時進行的步驟，分別為「繪製補注潛勢因子關係邏輯圖」與「給定補注潛勢因子細部分類分數」。「繪製補注潛勢因子關係邏輯圖」乃是基於補注潛勢因子間的因果邏輯關係繪製關係圖，再根據此關係圖作為下一步驟「計算補注潛勢因子間之權重」之基礎，補注潛勢因子間的因果關係圖將於 3.4 節說明。「給定補注潛勢因子細部分類分數」是將補注潛勢因子根據其資料型態或特性再進行細部分類，並依照各細部分類對補注潛勢影響程度給定分數。

「計算補注潛勢因子間之權重」乃根據因子關係邏輯圖計算補注潛勢因子間之權重。「計算各網格之補注潛勢因子分數」步驟須依因子的圖層資料型態進行處理，因子圖層型態可分為面及點兩種型態。若因子的圖層型態屬於面圖層，則需依照因子內各細部分類面積佔一網格之比例乘上各細部分類之分數，再將各細部分類之分數加總即可得到該網格對應於該因子之潛勢分數(式 3.2-1)。若因子的資料型態屬於點型態，由於因子資料是由點位資料直接內插到各網格，因此將各網格上之資料對照因子細部分類分數表即可得到各網格的分數。

最後「以補注潛勢因子間之權重加權累加各因子分數」則是將各地下水補注潛勢因子在網格上之分數乘上各因子影響地下水補注潛勢之權重之後，再將各因子之分數加總即可得到該網格之補注潛勢總分(如式 3.2-2 所示)。

$$AWA_{cno}(i) = \frac{\sum_{j=1}^{M_{cno}} Area(j) \times RF_{cno,i}(j)}{\sum_{j=1}^{M_{cno}} Area(j)} \dots\dots\dots(式 3.2-1)$$

$$TRF_{cno} = \sum_{i=1}^N \omega(i) \times AWA_{cno}(i) \dots\dots\dots(式 3.2-2)$$

$AWA_{cno}(i)$ ：代表第 i 種補注潛勢因子網格圖層中，第 cno 個網格之因子潛勢分數。

$RF_{cno,i}(j)$ ：代表第 i 種補注潛勢因子網格圖層中，第 cno 個網格內之第 j 種細部分類分數。

$Area(j)$ ：代表第 j 種細部分類區塊的面積。

M_{cno} ：代表在第 cno 個網格內的區塊數量。

$\omega(i)$ ：代表第 i 種補注潛勢因子的權重數值。

N ：代表補注潛勢因子個數。

TRF_{cno} ：代表在第 cno 個網格內的整體補注潛勢分數。

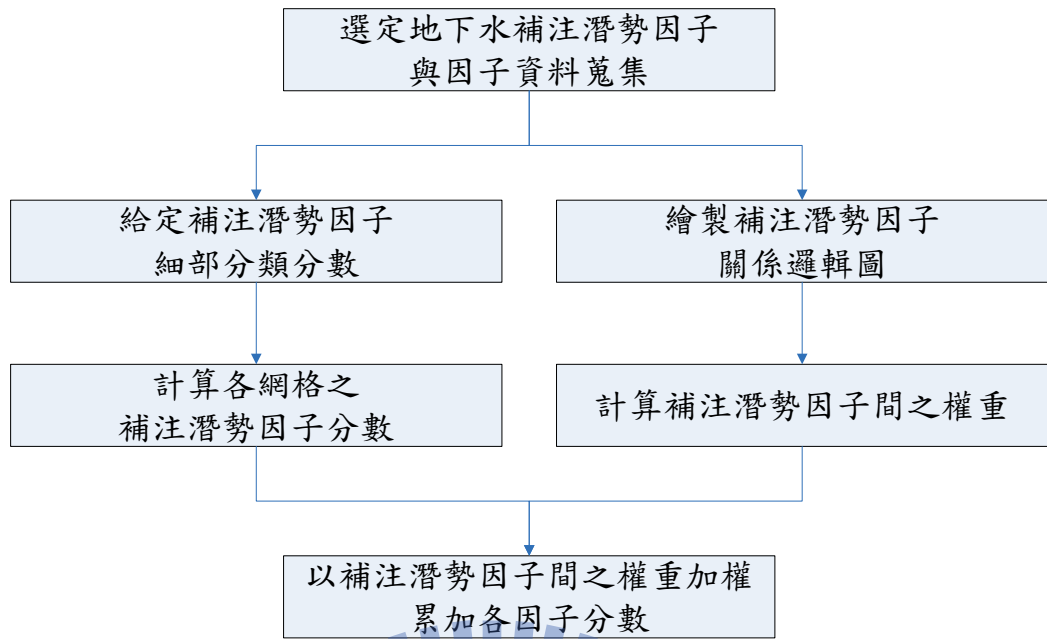


圖 3.2-1、地下水補注潛勢評估作業程序



3.3 地下水補注潛勢因子介紹

本研究根據前述考量之七項地下水補注潛勢因子可依據其性質大致區分為三大種類(如表 3.3-1 所示)，第一類為地層內因，包含土地利用、表層土壤種類以及透水係數；第二類為水文外因，包含河系密度和平均年降雨量；第三類為綜合因素，包含降雨與地下水位變化相關性、單位蓄水量變化。本節將針對各個補注潛勢因子做介紹以及說明其使用原因。

表 3.3-1、地下水補注主要影響因子示意表

因子種類	潛勢因子	說明
地層內因	土地利用	地表土地使用性質、植被覆蓋。
	表層土壤種類	表層土壤種類分布狀況。
	透水係數	透水係數 K 值。
水文外因	平均年降雨量	長期平均年降雨量。
	河系密度	每一網格內河川所佔面積比例。
綜合因素	降雨與地下水位變化相關性	降雨事件期間「降雨量」與「地下水位上升量」迴歸統計之 R^2 。
	單位蓄水量變化	長期地下水位變化(標準差)與儲水係數之乘積。

3.3.1 地層內因

此類因子為地表與淺層含水層本身對補注量之大小有顯著影響之因子，本研究選定的有土地利用、表層土壤種類、透水係數以及河系密度等，以下將分別介紹各因子並說明採用之原因。

一、土地利用

土地利用是影響地下水補注過程中很重要之因素，此因素包括居住區域分佈以及植被覆蓋。人造建築物如房屋、道路以及堤防等都阻礙了地下水補注(Bou Kheir et al., 2003)，雖然高密度植被覆蓋會增加蒸散率，減少水滲透至地表，但有研究指出另外三項見解，(1)植物根部的生化分解有助於鬆散岩石或土壤，使得水更容易滲透地表，(2)植被區帶可避免土壤水分直接蒸發，(3)植物根部有吸附水分能力，可減少水分隨逕流帶走，故植被覆蓋仍是有效提供地下水補注(Shaban et al., 2006)。Bromley et al. (1997)亦指土地利用/覆蓋改變導致地下水補注量之差異，故如降雨量和蒸發散量應考慮其時變性。Leduc et al. (2001)則利用地下水位變化量推估土地利用或植被改變所造成之地下水補注量差值。綜合考量前述文獻之結論，本研究將土地利用納入地下水補注潛勢因子。

二、表層土壤種類

表層土壤種類主要是以顆粒大小的不同來劃分，粒徑大小會造成土石間的孔隙大小不同，同時也會影響降雨入滲到地下水中的效率。許多學者均以此作為地下水補注潛勢評估因子，如 Murthy (2000)、Jaiswal et al. (2003)等，故本研究亦將表層土壤種類納入地下水補注潛勢因子。

三、透水係數

透水係數 K (hydraulic conductivity)之大小反應了土壤中水分流動之難

易程度，因此其亦將影響降雨對含水層之補注，所以本研究將透水係數亦列為補注潛勢評估因子之一。

四、河系密度

濁水溪沖積扇地下水補注主要來源為降雨與河川補注，故本研究亦將河系密度納入地下水補注潛勢因子。本研究應用 Greenbaum (1985) 定義之河系長度密度值(Drainage-length density)，每單位面積河系之總長度。河系長度密度值與地下水補注有顯著之相關性，河系長度密度值越高之區域代表越多地下水補注量。許多學者均以此作為地下水補注潛勢評估因子，如 Krishnamurthy et al. (1996)、Edet et al. (1998)、Murthy (2000)、Shahid et al. (2000)、Jaiswal et al. (2003)、Sener et al. (2005)、Yeh et al. (2008)等。

3.3.2 水文外因

水文外因是指對補注量有直接影響之外在因素，在此為平均年降雨量，以下將進一步對此做說明。

台灣位在歐亞大陸及太平洋的交界處，獨特的地理位置加上季風、颱風及周遭海流的交互影響，使台灣的降雨一直有著複雜的變化型態。地下水的補注來源主要以天然降雨入滲為主，許多學者均以此作為地下水補注潛勢評估因子，如 Murthy (2000)、Sener et al. (2005)等。故本研究亦將年平均年降雨量納入地下水補注潛勢因子。

3.3.3 綜合因素

綜合因素為除了前述可直接量測或經由現地調查與試驗取得之水文地質相關因子外，其他能綜合反映補注量大小但需再經由人工分析始可求得之相關因子。本研究目前以降雨與地下水位變化相關性及單位蓄水量變化等因子考量之，以下將對此兩因子進一步說明：

一、降雨與地下水位變化相關性

此補注潛勢因子乃是經由迴歸統計方式，探討地下水位變化是否受降雨之影響，其概念為先求得各降雨事件發生期間之「降雨量」與「地下水位上升量」，再以所得之多組降雨量與地下水位上升量進行線性迴歸。迴歸所得之相關係數 R^2 (R-squared value) 代表降雨對地下水位變化之影響程度，因此當此相關係數越高則補注潛勢分數亦相關較高。

二、單位蓄水量變化

儲水係數為含水層蓄水量估算重要參數，藉由儲水係數可評估含水層補注潛勢之高低，本研究針對蒐集之儲水係數進行分析，於濁水溪沖積扇上游補注區擁有較高之儲水係數。

各含水層蓄水量之增減，主要是由扇頂非受壓地下水層地下水面之升降，亦即非受壓含水層地下水飽和含水體積之增減來儲存或支出；其餘受壓含水層部分則屬於彈性蓄水，其蓄水量變化極小。若考慮受壓地下水層，假設其儲水係數約 1.91×10^{-4} ，其低估水量僅約 1% 左右(江崇榮等，

2004b)。

在同樣補注水量之下，非受壓含水層由於土層蓄水能力較受壓含水層高，即比出水量大於儲水係數，前者之水位變化將較後者小，因此為反映系統所受外來補注量的大小，本研究以「單位蓄水量變化」代表之，即地下水位變化之標準差與儲水係數相乘所得，藉由此變化來反應前述之情況。

3.4 補注潛勢各因子計分方式

每項補注潛勢因子對地下水補注而言，其影響效力並非皆佔有相同比例，根據 Shaban et al. (2006)之研究，各項潛勢因子之間，具有相依相存之關係。因此本研究將參考 Shaban et al. (2006)與 Yeh et al. (2008)等方式，估算不同補注潛勢因子間權重比例。圖 3.4-1 為補注潛勢影響因子間的因果關係示意圖，其中補注潛勢影響因子互以實線或虛線連接，實線代表主要影響，而虛線則代表次要影響，箭頭方代表被影響方，箭尾方向則代表影響方。

舉例說明，「降雨與地下水位變化相關性」及「單位蓄水量變化」之間有主要影響關係，其方向由「降雨與地下水位變化相關性」指往「單位蓄水量變化」，代表「降雨與地下水位變化相關性」為因，「單位蓄水量變化」為果。若由物理現象來探討，假設降雨與地下水位變化相關性高時，地下水位將明顯受到雨量之影響，進而明顯地影響其地下水之蓄水量變

化。例如當一區域雨量豐沛時，其長期地下水位會較為穩定，若有雨季與旱季之分則其水位變動則較大，因此「降雨與地下水位變化相關性」因子為高相關性時，會影響地下水位之標準差，而「單位蓄水量變化」為地下水位標準差與比出水量之乘積，因此將到影響，故「降雨與地下水位變化相關性」對於「單位蓄水量變化」的關係視為主要影響。

在「單位蓄水量變化」對「降雨與地下水位變化相關性」為次要影響部分，「單位蓄水量變化」為因，「降雨與地下水位變化相關性」為果。

「單位蓄水量變化」為地下水位標準差與儲水係數之乘積，而此兩項中僅儲水係數會影響到地下水位，但對於「降雨與地下水位變化相關性」因子而言，此兩項因素皆無法對其明確而直接的影響。比較前述兩種例子，其影響程度有所差異，故分為主要影響與次要影響兩種。

由圖 3.4-1 可以明顯表示各項影響補注潛勢因子間之影響關係，為探討不同影響因子影響力的大小比例，本研究因為主要影響給予較大的權重值，在此給予 1.0 之權重值，而次要影響則給予 0.5 之權重值。計算主要影響箭尾個數與次要影響箭尾個數即可累計該影響因子的影響權重。以「土地利用」因子為例，其有一個主要影響箭尾與一個次要影響箭尾，因此其權重值即為 1.5。之後再將各因子之權重除以各因子之權重加總後即可得到各因子之權重百分比，表 3.4-1 即為補注潛勢因子權重計算表。完成定義各潛勢因子之間的權重後，接下來將定義補注潛勢因子內部分類之

分數。在一個補注潛勢因子之分類中，對於影響地下水補注潛勢最重要者給予 100 分，次要者則視影響地下水補注潛勢之大小適度調降分數，以此類推定義因子內部所有分類之分數，例如土地利用之權重百分比為 12%，因此在土地利用因子中，影響地下水補注之分類最高分為 100 分，加權後為 12 分(100×12%)，而河川為土地利用因子中影響濁水溪沖積扇地下水補注最重要的分類，因此河川之分數即為 12 分，其餘分類依照影響地下水補注潛勢的高低給予分數。表 3.4-2 為補注潛勢因子分數表。

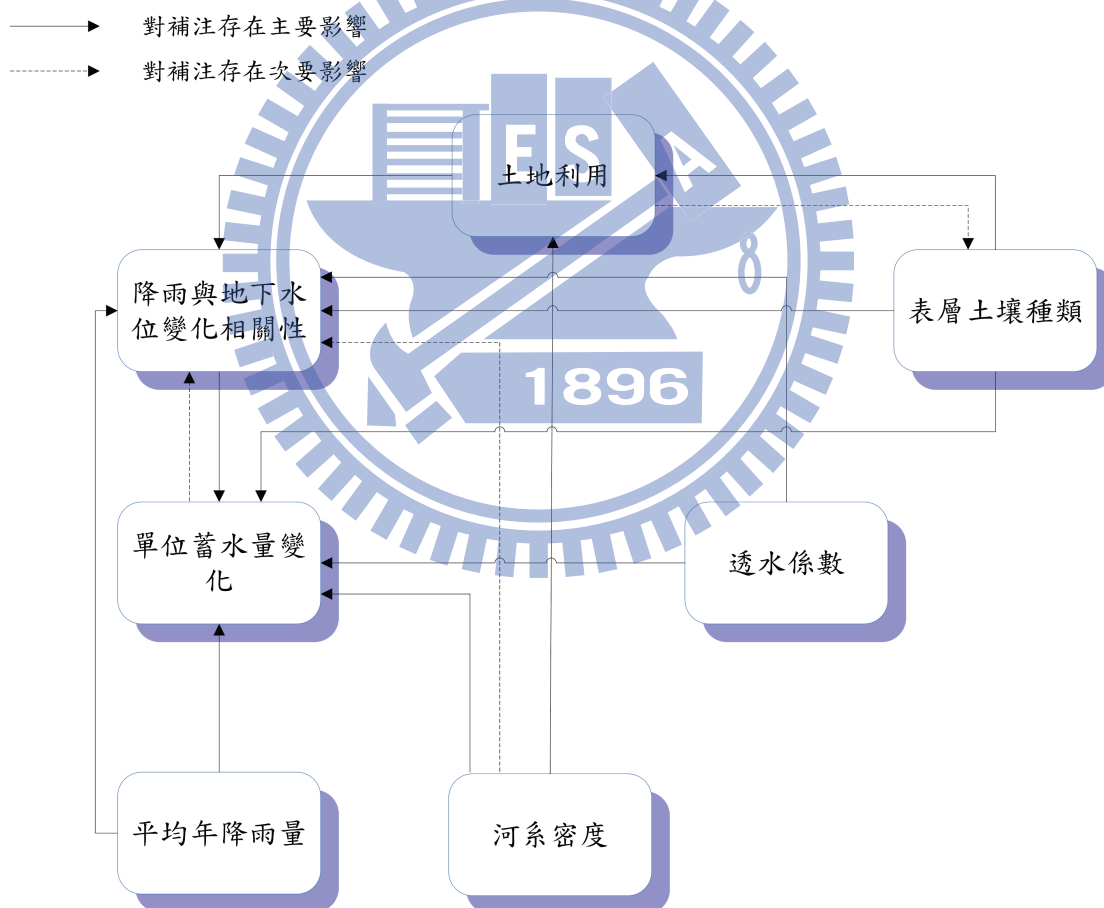


圖 3.4-1、地下水補注潛勢因子關係圖

表 3.4-1、地下水補注潛勢因子權重計算表

地下水補注潛勢因子	計算方式	權重值	權重百分比
土地利用	$1(1)+1(0.5)=1.5$	1.5	12%
表層土壤種類	$3(1)=3.0$	3.0	24%
降雨與地下水位變化相關性	$1(1)=1.0$	1.0	8%
平均年降雨量	$2(1)=2.0$	2.0	16%
單位蓄水量變化	$1(0.5)=0.5$	0.5	4%
透水係數	$2(1)=2.0$	2.0	16%
河系密度	$2(1)+1(0.5)=2.5$	2.5	20%
	總分	12.5	100%
主要影響(1.0)，次要影響(0.5)			

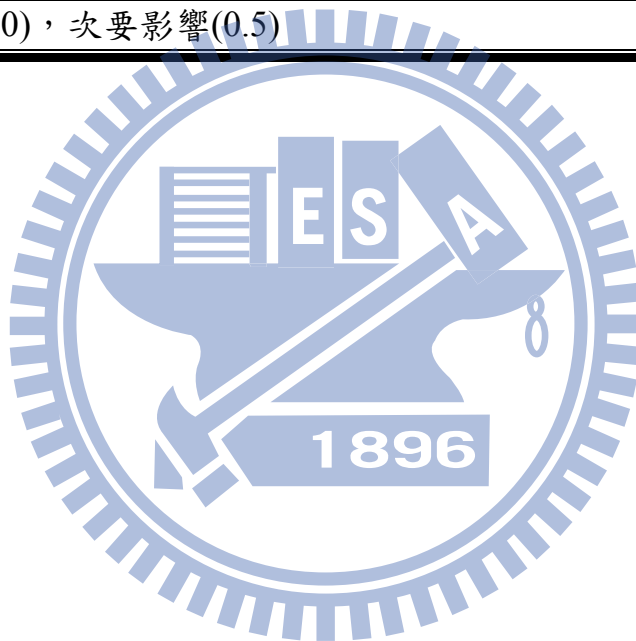
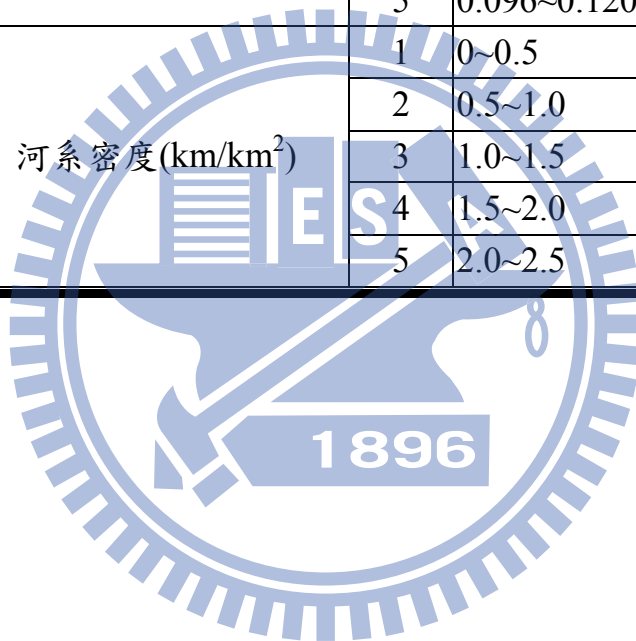


表 3.4-2、地下水補注潛勢因子分數表

地下水補注潛勢因子	代碼	分類與範圍	分數
土地利用	7	不透水區	0
	6	裸露地	20
	5	林地	40
	4	灌木荒地	60
	3	綠地	70
	2	農耕地	90
	1	河川	100
表層土壤種類	10	粘土	10
	9	玢質粘土	20
	8	粘壤土	30
	6	壤土	40
	7	砂質粘壤土	40
	5	玢土	50
	4	極細砂土	60
	3	壤質細砂土	70
	2	細砂土	80
	1	粗砂土	90
	11	石礫	100
降雨與地下水位變化 相關性	1	0.22~0.36	20
	2	0.36~0.50	40
	3	0.50~0.64	60
	4	0.64~0.78	80
	5	0.78~0.92	100
平均年降雨量(mm)	1	1000~1240	20
	2	1240~1480	40
	3	1480~1720	60
	4	1720~1960	80
	5	1960~2200	100

地下水補注潛勢因子	代碼	分類與範圍	分數
單位蓄水量變化	1	0~0.2	20
	2	0.2~0.4	40
	3	0.4~0.6	60
	4	0.6~0.8	80
	5	0.8~1.0	100
透水係數	1	0~0.024	20
	2	0.024~0.048	40
	3	0.048~0.072	60
	4	0.072~0.096	80
	5	0.096~0.120	100
河系密度(km/km ²)	1	0~0.5	20
	2	0.5~1.0	40
	3	1.0~1.5	60
	4	1.5~2.0	80
	5	2.0~2.5	100



第四章 濁水溪沖積扇地下水補注潛勢評估

本研究將第三章提出之地下水補注潛勢流程實際應用於濁水溪沖積扇。首先於 4.1 節針對研究區域濁水溪沖積扇做區域範圍、水文地質架構、地下水概念分層、地下水流系統等介紹，接著 4.2 節說明資料收集與前置處理的過程，4.3 節進行各補注因子分數圖層之處理說明，最後 4.4 節將 4.3 節各因子加權後之分數加總，得到濁水溪沖積扇總體之補注潛勢分數圖層，依照分數加以分級，並劃分地下水高補注區。

4.1 區域概述

由於以往十幾年來「台灣地區地下水觀測站網建置整體計畫」的執行，已有相當豐富的研究與成果，以下將對濁水溪沖積扇區域範圍、水文地質架構、地下水概念分層、地下水流系統及水文地質參數進行描述。

一、區域範圍

濁水溪沖積扇地下水區位於臺灣西部海岸之中段，北起烏溪，南至北港溪南岸，東以八卦台地及斗六丘陵山脊線為界，並沿兩丘陵間之隘口向東擴及竹山、名間一帶，西臨臺灣海峽，面積約 1,800 平方公里。本沖積扇最主要之溪流為濁水溪，其主流發源自中央山脈西翼、合歡山以南與玉山北側之間地區，向西切穿雪山—玉山帶、麓山帶與八卦—斗六丘陵區，在丘陵區西側形成沖積扇系統，主流流經沖積扇之中央，向西注入臺灣海峽。其他位於沖積扇之河川，自北而南尚有舊濁水溪、新虎尾溪、舊虎尾

溪及北港溪等。濁水溪沖積扇地勢平緩，高程約介於海拔 0~100 公尺之間。

二、水文地質架構

中央地質調查所於 88 年完成臺灣地區地下水觀測網第一期計畫濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告中，以濁水溪沖積扇 72 站之地層柱狀圖，完成水文地質剖面 1 至 12，深度至 300 公尺左右，其平面分布圖如圖 4.1-1 所示；並依據其岩性作地層的對比，以瞭解其地下水含水層分布的情形，並進一步劃分出濁水溪沖積扇概念分層，包括含水層一(F1)、阻水層一(T1)、含水層二(F2)、阻水層二(T2)、含水層三(F3)、阻水層三(T3)以及含水層四(F4)。

在上述十二個剖面中，濁水溪以北的彰化縣為 4 個剖面線及以南的雲林縣為 6 個剖面以及 2 個南北縱向剖面線，自北向南分別為：全興、線西、頂番、東芳、花壇、員林、田中等觀測站為第一剖面，漢寶、洛津、文昌、好修、溪湖、田中等觀測站為第二剖面，芳苑、路上、趙甲、原斗、溪州、柑園、田中等觀測站為第三剖面，西港、潭乾、永安、竹塘、合興、田尾、田中等觀測站為第四剖面，海豐、後安、興化、豐榮、港後、九隆、西螺、蔴桐、六合、烏塗、觸口等觀測站為第五剖面，海園、安南、馬光、田洋、芳草、虎尾、虎溪、石榴等觀測站為第六剖面，箔子、飛沙、明德、番溝、元長、宏崙、土庫等觀測站為第七剖面，宜梧、口湖、蔡厝、東光、番溝、舊庄、嘉興、東和等觀測站為第八剖面，大溝、水林、北港、崙子、溫厝、

古坑等觀測站為第九剖面，東石、瓊埔、安合、新港、東榮、三和、崁腳等觀測站為第十剖面。而濁水溪沖積扇主要有 2 個南北縱向剖面線，第十一剖面線觀測站為全興、線西、洛津、漢寶、芳苑、西港、後安、海園、飛沙、口湖、宜梧、東石等觀測站，第十二剖面線觀測站為花壇、好修、西湖、合興、永安、港後、馬光、田洋、安崙、土庫、舊庄、東榮等觀測站。圖 4.1-2 到圖 4.1-13 為濁水溪沖積扇 12 個地質剖面圖。



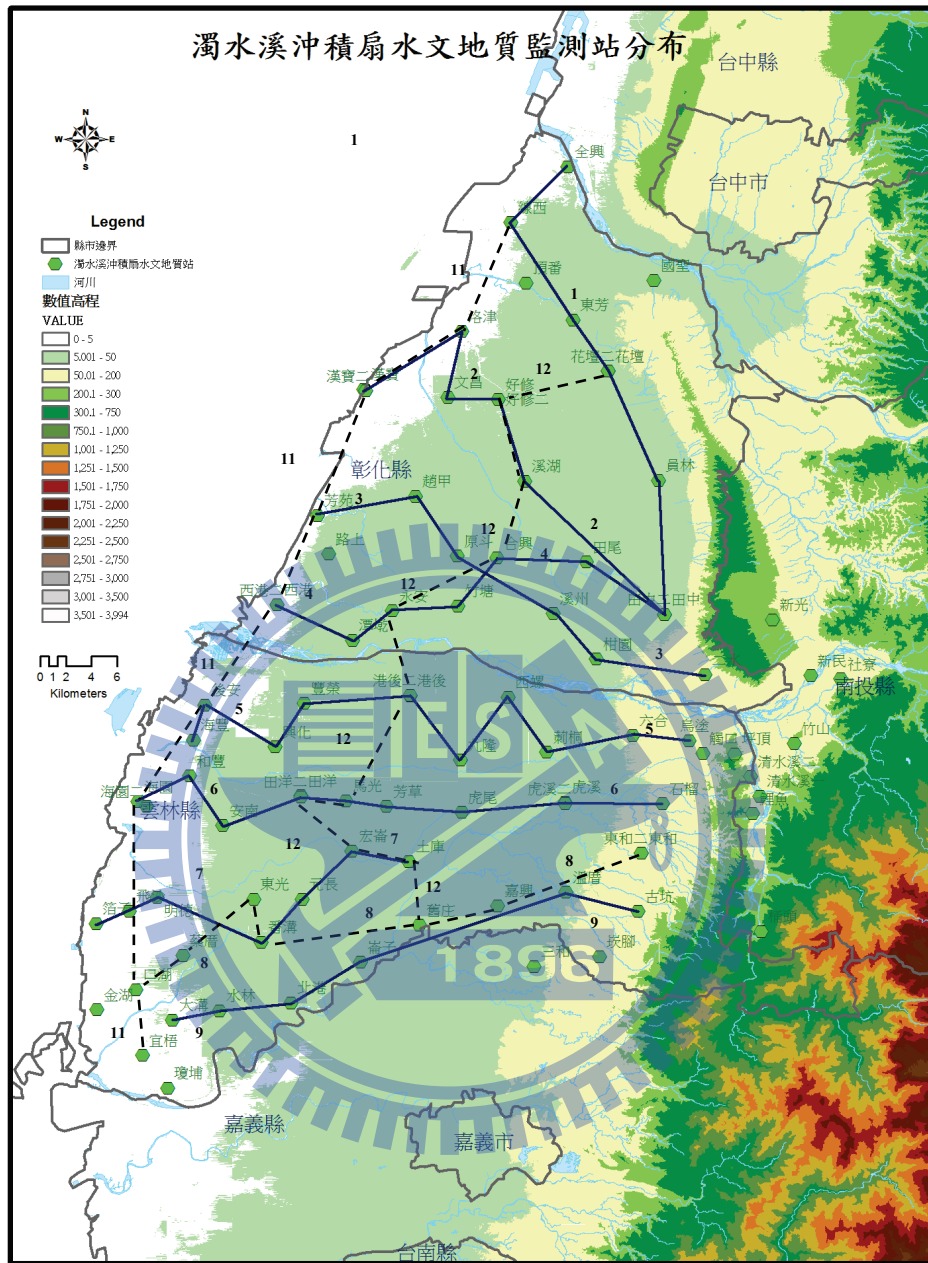


圖 4.1-1、濁水溪沖積扇地質地表河川及水文地質剖面位置圖(中央地質調查所，1999)

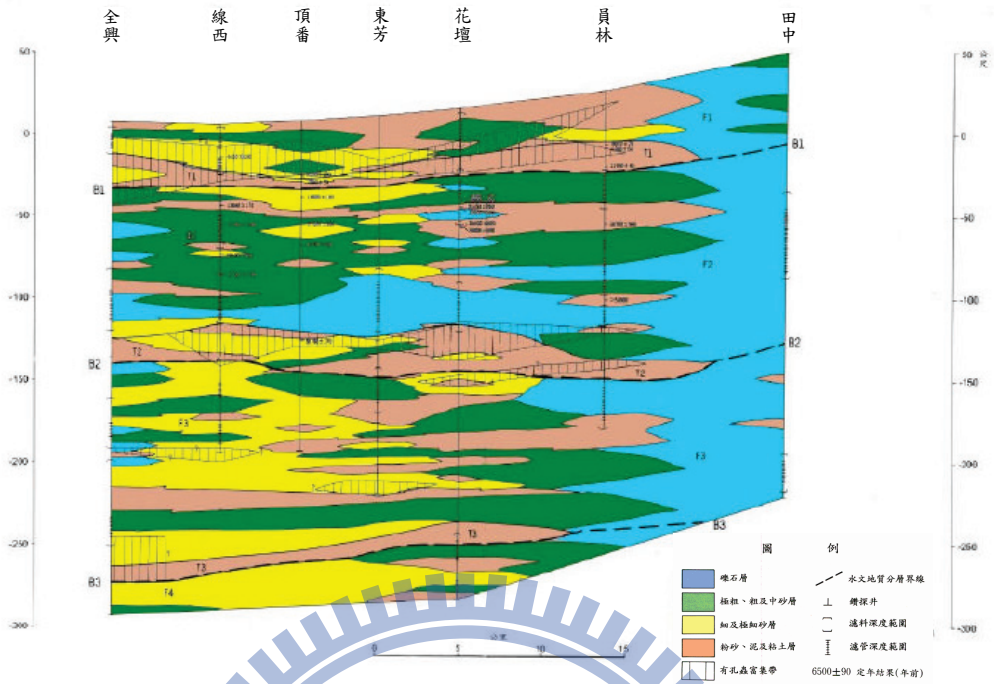


圖 4.1-2、濁水溪沖積扇水文地質剖面 1(全興-田中)(中央地質調查所，1999)

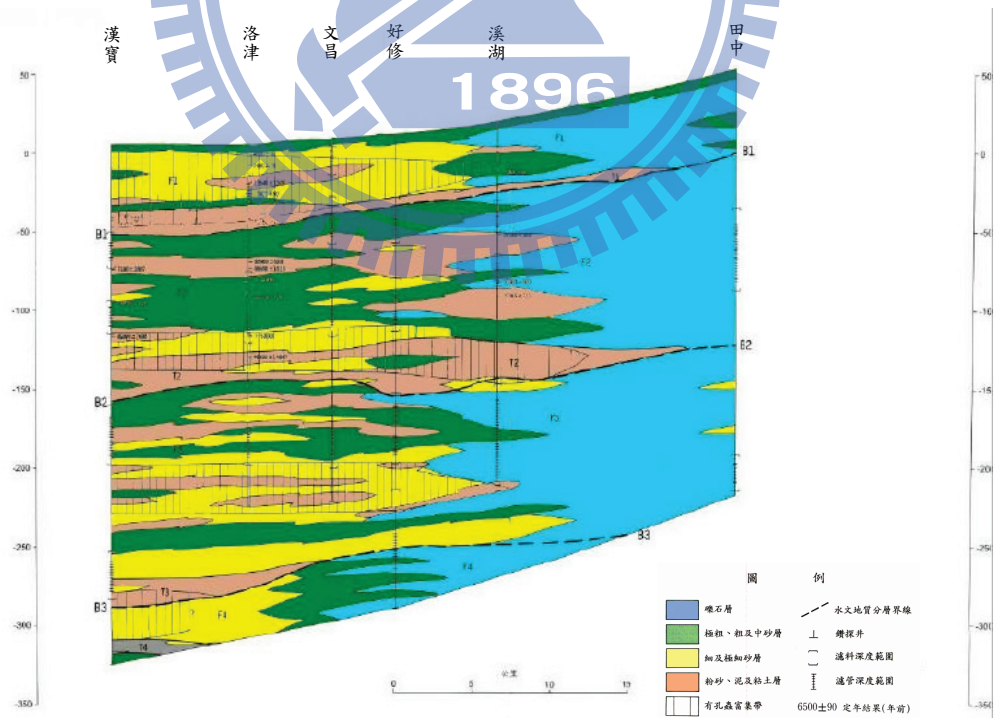


圖 4.1-3、濁水溪沖積扇水文地質剖面 2(漢寶-田中)(中央地質調查所，1999)

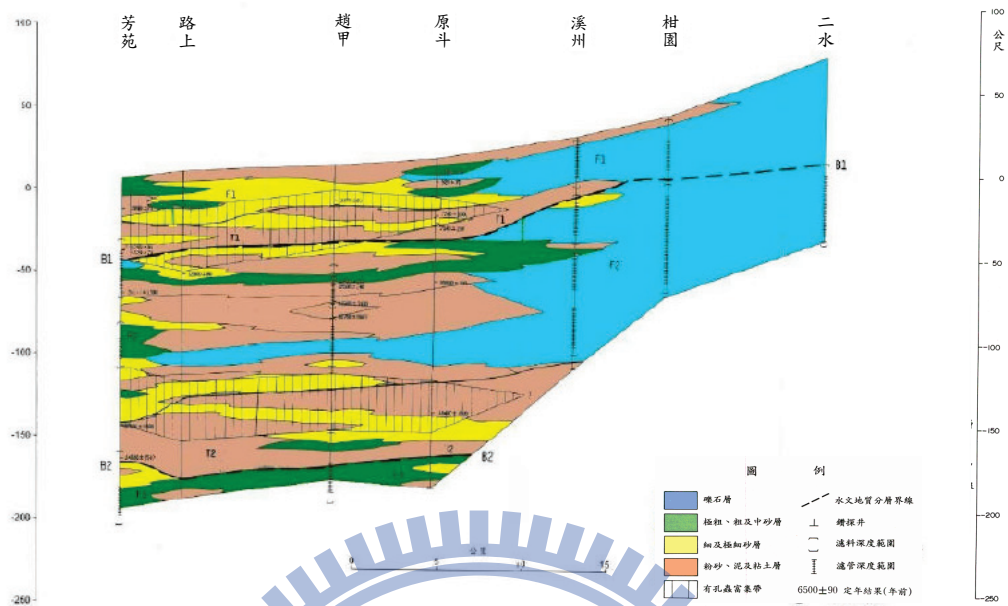


圖 4.1-4、濁水溪沖積扇水文地質剖面 3 (芳苑-二水)(中央地質調查所，1999)

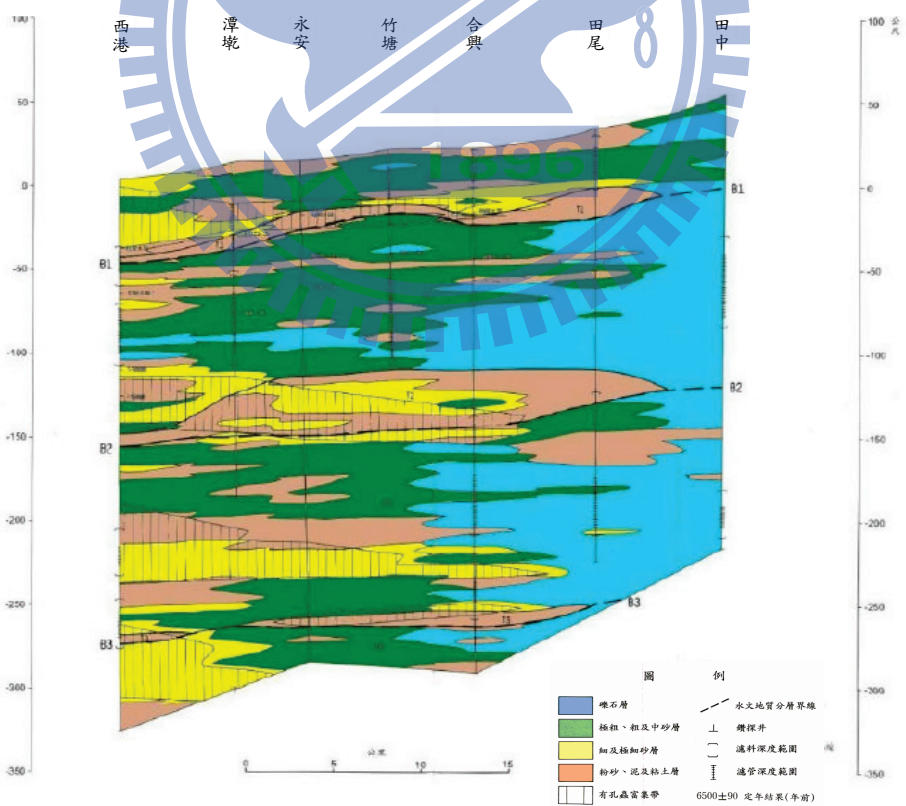


圖 4.1-5、濁水溪沖積扇水文地質剖面 4 (西港-田中)(中央地質調查所，1999)

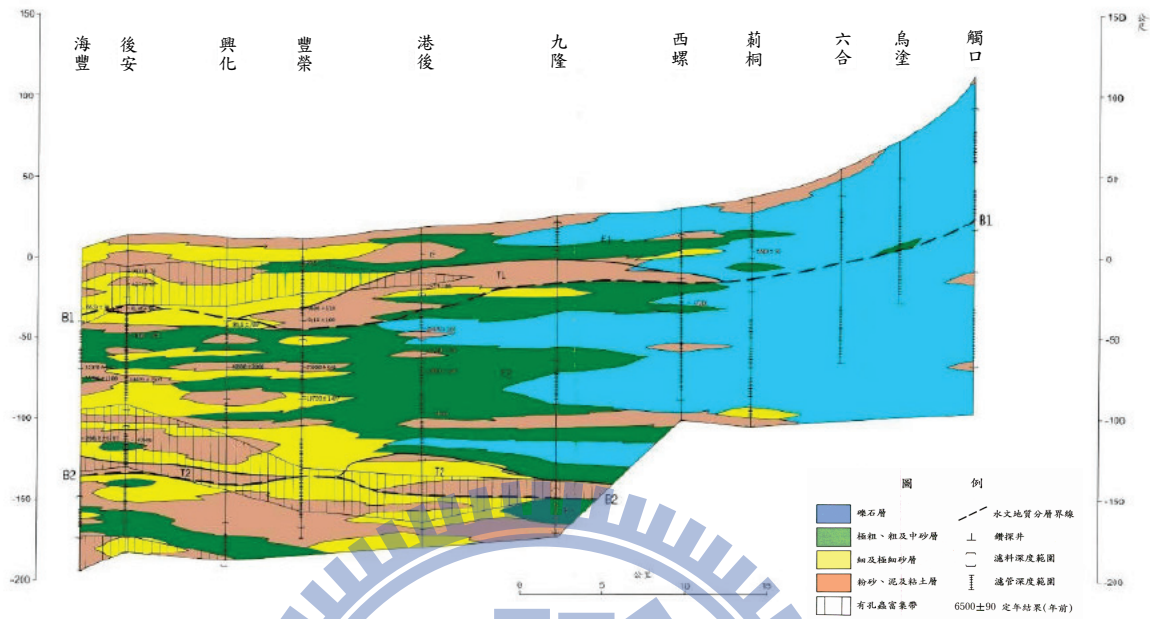


圖 4.1-6、濁水溪沖積扇水文地質剖面 5 (海豐-觸口)(中央地質調查所，1999)

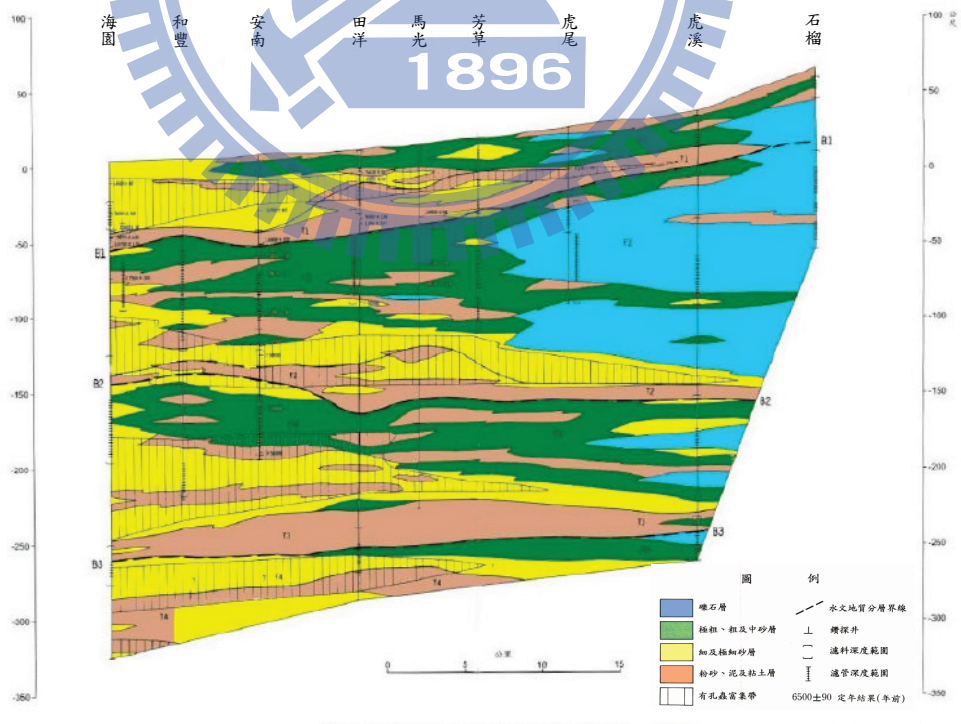


圖 4.1-7、濁水溪沖積扇水文地質剖面 6 (海園-石榴)(中央地質調查所，1999)

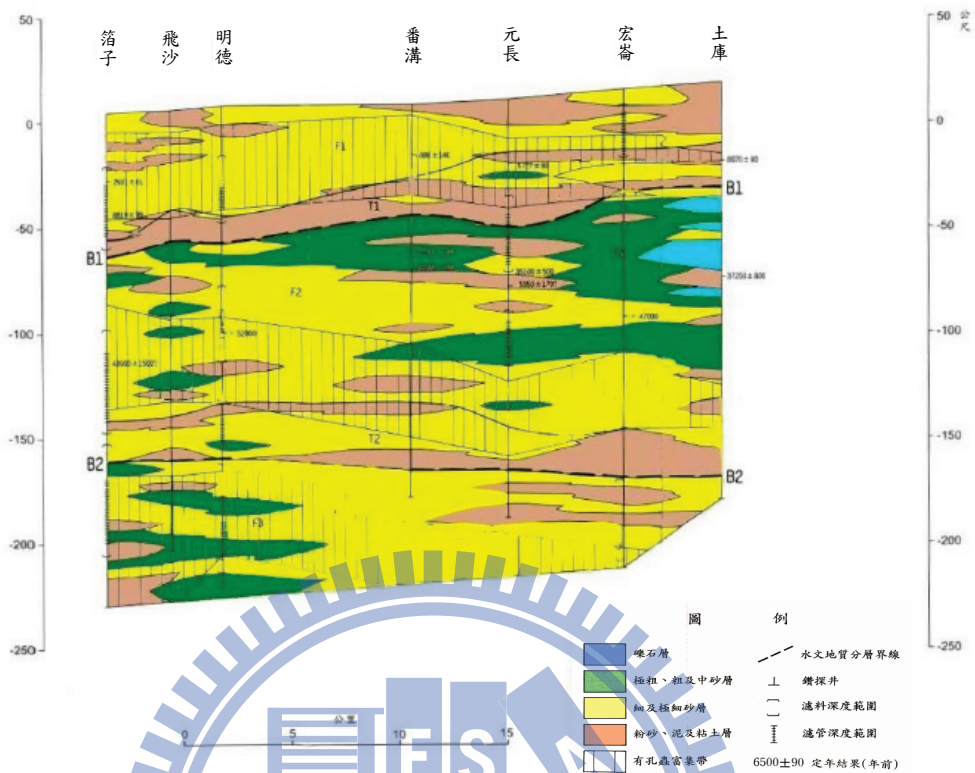


圖 4.1-8、濁水溪沖積扇水文地質剖面 7(箔子-土庫)(中央地質調查所，1999)

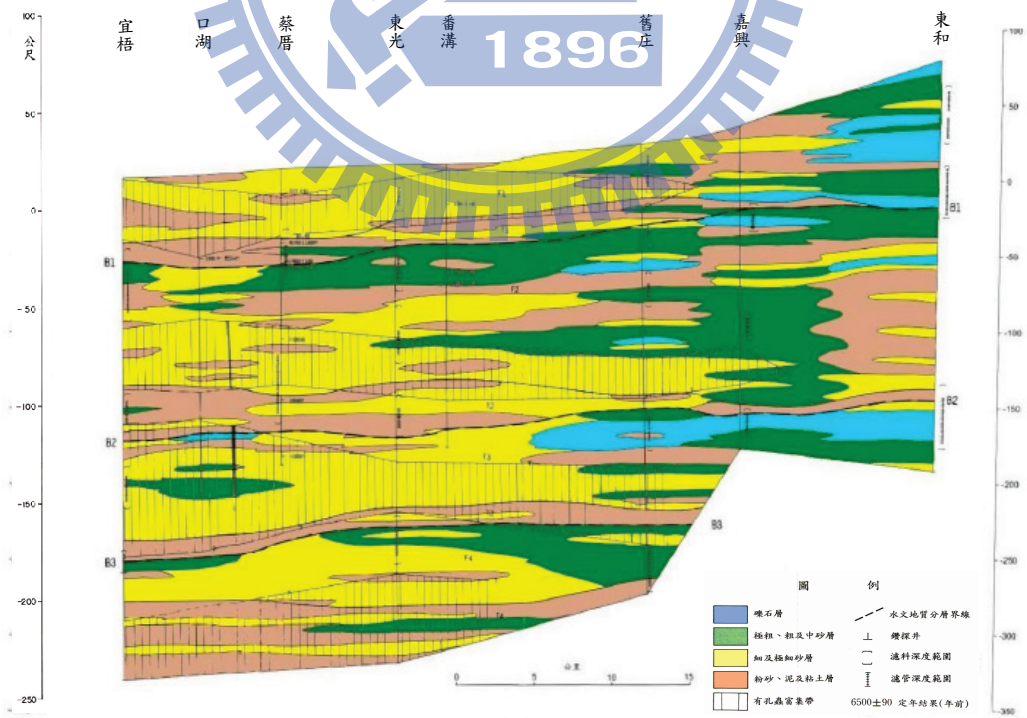


圖 4.1-9、濁水溪沖積扇水文地質剖面 8(宜梧-東和)(中央地質調查所，1999)

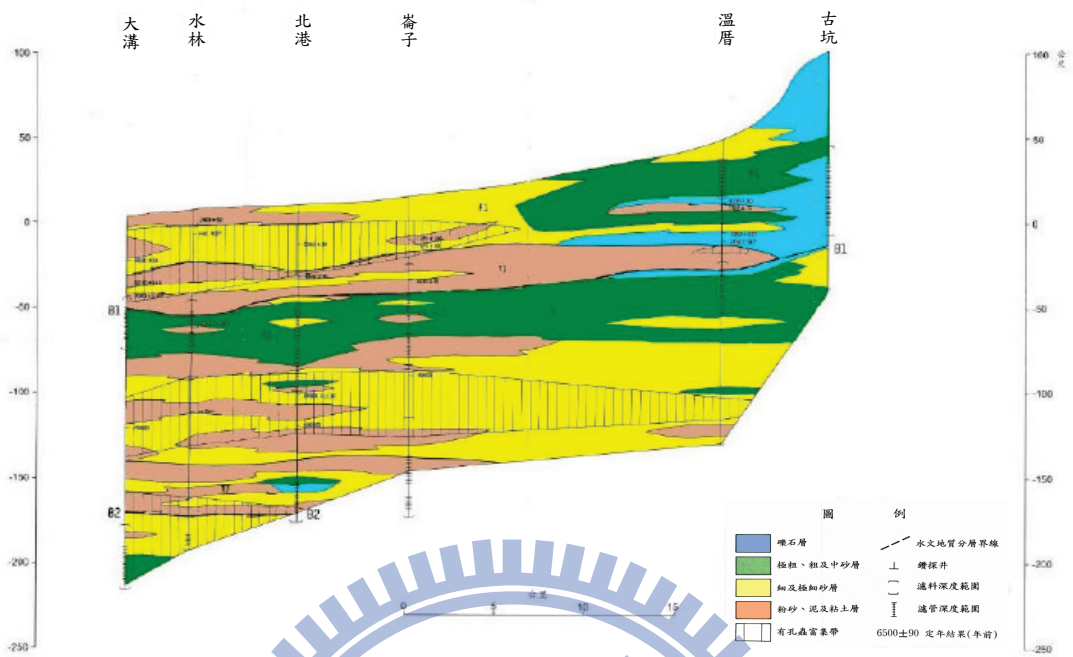


圖 4.1-10、濁水溪沖積扇水文地質剖面 9 (大溝-古坑)(中央地質調查所，1999)

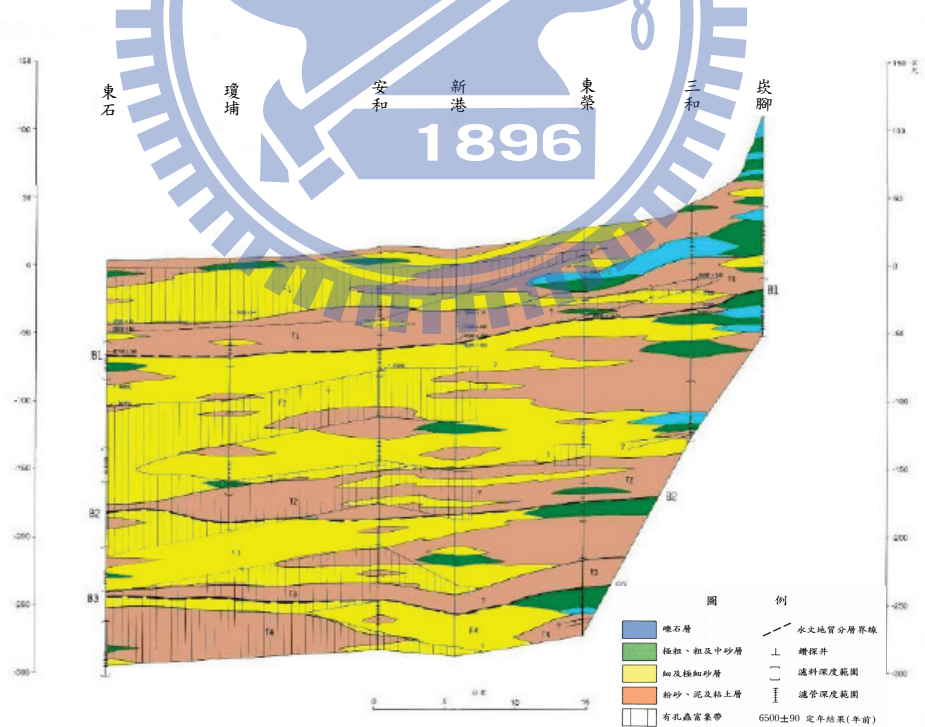


圖 4.1-11、濁水溪沖積扇水文地質剖面 10 (東石-崁腳)(中央地質調查所，1999)

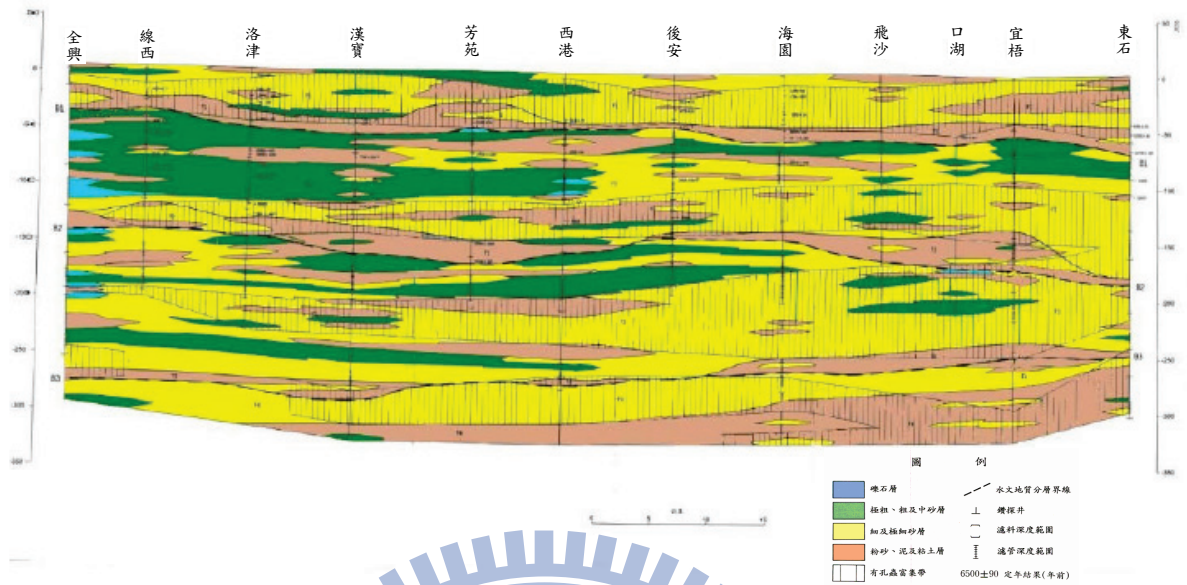


圖 4.1-12、濁水溪沖積扇水文地質剖面 11(全興-東石)(中央地質調查所，1999)

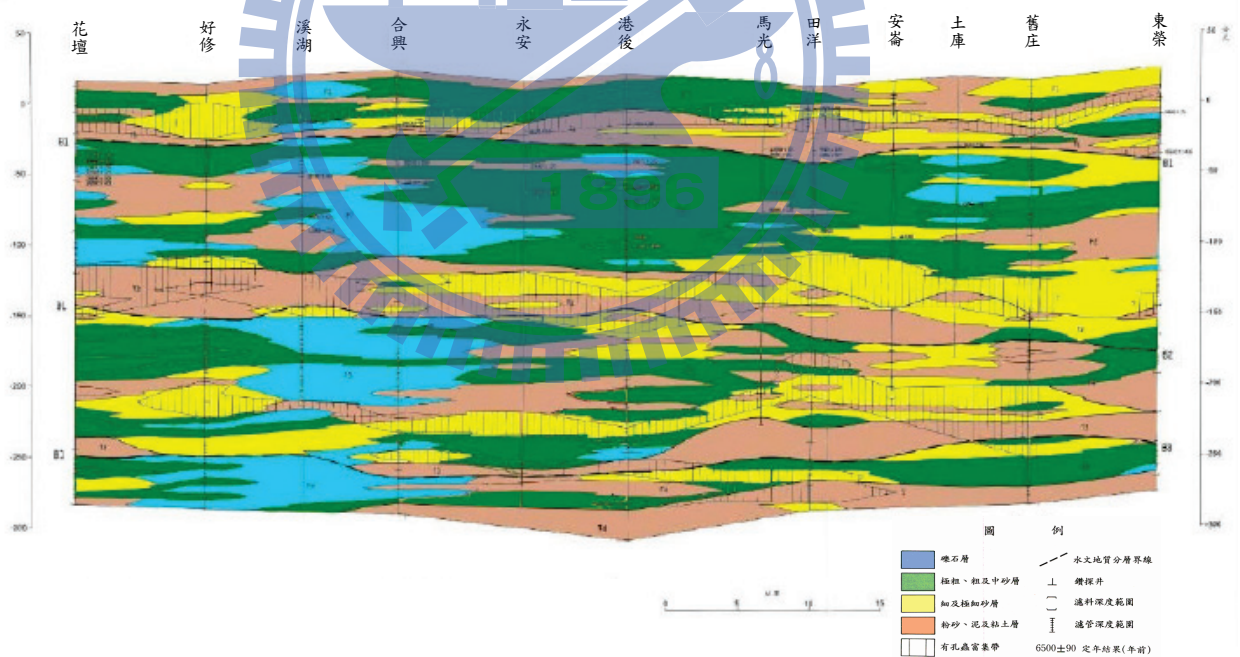


圖 4.1-13、濁水溪沖積扇水文地質剖面 12(花壇-東榮)(中央地質調查所，1999)

三、地下水含水層概念分層

濁水溪沖積扇由上而下可劃分四個含水層，三個阻水層，如圖 4.1-14 所示。而含水層二分布範圍涵蓋全區，厚度最大，內夾有二至三層延展範圍大之泥層，因此可將含水層二再劃分為含水層二之一及含水層二之二。以下茲將四個含水層岩性分布變化說明如下：

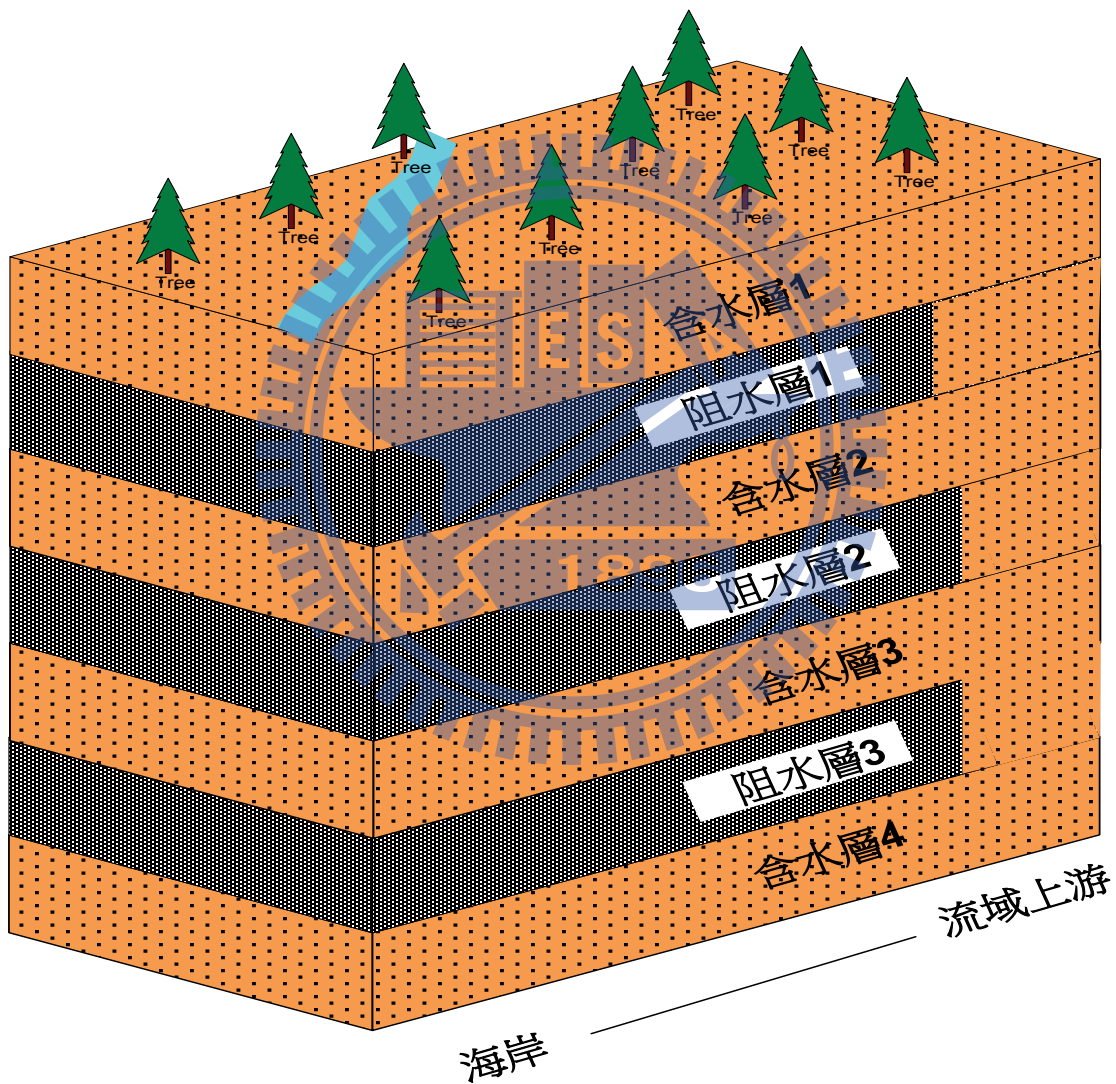


圖 4.1-14、濁水溪沖積扇概念分層

(1) 含水層一(F1)

含水層一為濁水溪沖積扇分區水文地質系統之表層，其分布範圍涵蓋

全區，從地表起最深約 103 公尺，厚度從 19-103 公尺不等，平均厚度約 42 公尺。本層於沖積扇頂附近以礫石層和粗砂層為主，地層厚度較大；經扇央及扇尾其岩性漸次變相為細砂層和泥層，含水層表面及內部常有延展良好之厚泥層分布，造成地下水局部受壓或分段之現象。

(2) 含水層二(F2-1、F2-2)

其分布範圍涵蓋全區，深度介於在地表下 35-217 公尺之間，厚度從 76-145 公尺不等，平均厚度約 95 公尺，為各含水層中厚度最大者。沖積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。扇央及扇尾地層材料粒徑變細，惟仍有粗砂或礫石層之存在，顯示含水層二在蓄水及供水上之重要性。含水層二內夾有二至三層延展範圍較大之泥層，因此以次區域性之阻水層界劃含水層二為含水層二之一及含水層二之二。

(3) 含水層三(F3)

含水層三位於阻水層二以下，其分布範圍涵蓋全區，深度在 140-275 公尺之間，厚度界於 42-122 公尺之間，變異頗大，主要因濁水溪以北含水層遠比以南發達所致，全區平均厚約 86 公尺，規模略小於含水層二。

(4) 含水層四(F4)

含水層四位於阻水層三以下，由於其平均深度大於 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，以

此少量資料難以對含水層四及阻水層四明確之描述。基本上扇頂附近仍以礫石層及粗砂層分布為主，往扇央及扇尾則變相為細砂為主。其分布深度約界於 238-313 公尺間，厚度界於 6-51 公尺間，平均厚約 24 公尺，是各含水層中厚度最小者。

將濁水溪沖積扇之地下水觀測井之井深度、水文地質資料剖面圖及前人所分析之分層資料進一步初步判斷，其各觀測井位於所屬含水層分布如表 4.1-1 所示。

四、地下水流系統

欲瞭解地下水的補注來源，必須先知道其水位的消長情形，這需由流域歷年來地下水水位觀測資料分析而得。監測井觀測所得地下水水位高低，即代表了地下水量的多寡。水位的空間分布則描述了地下水的流向，水位由高處往低處流動。將其地下水觀測紀錄畫出等水位圖，可以確定地下水流網、地下水分區與邊界、補注區域及補注水源。蒐集越多空間上的水位觀測資料，可以越瞭解現場流況，而越多不同時間的觀測則可以描述不同時間補注量的變化情形。由水文地質的架構與地下水流系統的建立，我們可以對於流域含水層的水文循環做出一個基本的概念模式。

濁水溪沖積扇各區之地面水文及入滲的特性皆不一致，降雨量之空間分布與多寡會影響入滲的特性，也會對地表逕流造成顯著的變化，大體而言，降雨量會從沿海至內陸逐漸增加，而在時間之分布上，雨季是介於 4

月至9月之間，主要透過地表入滲補注地下水，補注區域為扇頂非受壓區與非扇頂非受壓區；另一個地下水主要補注來源為河川透過河床入滲補注，由水文地質分布判斷，河水是由上游集水區河床滲漏後由礫石層補注至地下水。利用地下水流網以判別雨水與河水如何補注至地下水，圖4.1-15為濁水溪地下水層的垂直流網圖(江崇榮，2006)。濁水溪沖積扇頂附近由厚礫石層組成，各地下水層互相連通，為各層之共同補注區，等水位線與地下水流線顯示了地下水主要源於此共同補注區，然後向沿海流動。等水位線及地下水流線同時也顯示了平原降雨及山區流下之河水和伏流水透過東側扇頂各非受壓含水層補注至地下水層中，由此確定了扇頂非受壓含水層為地下水主要補注區域，地下水由此流入後向西往沿海流動。

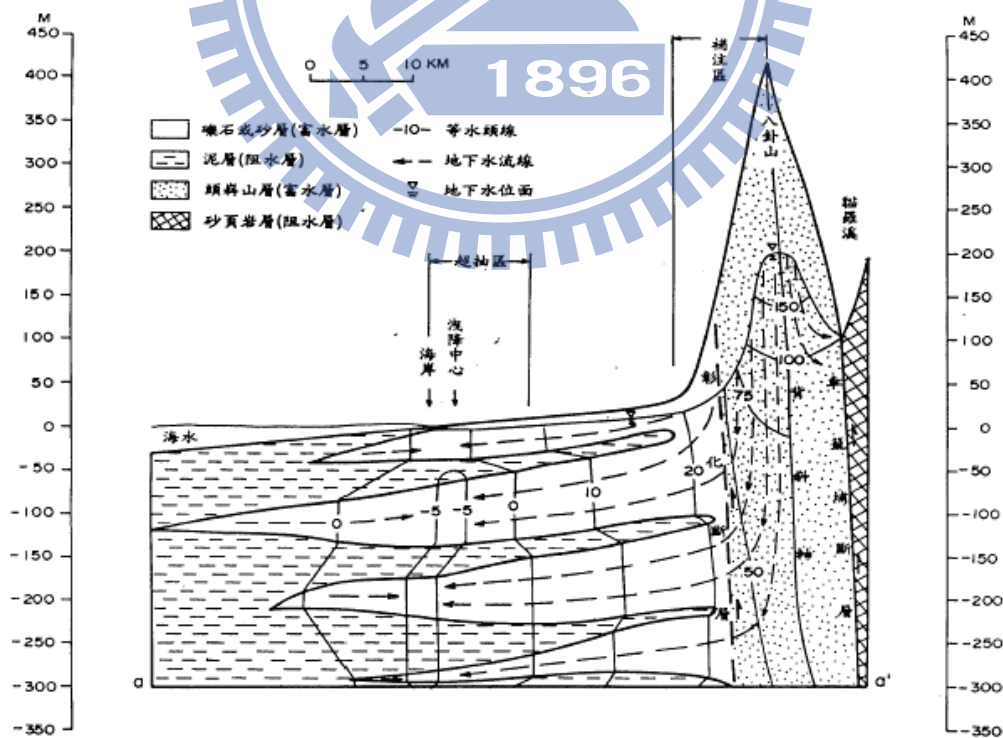


圖 4.1-15、濁水溪沖積扇垂直水文地質剖面與流網圖(江崇榮，2006)

利用地下水流線及地下水氧同位素分布，可將濁水溪沖積扇地下水流系統劃分成烏溪分區、員林花壇分區、濁水溪分區與北港溪分區 (江崇榮等，2005)，示意如圖 4.1-16。各分區除了受到降雨補注外，還有河水與區外地下水補注；烏溪分區之河水補注源為烏溪，員林花壇分區之河水補注源為洋仔厝溪，濁水溪分區之河水補注源為濁水溪，北港溪分區之河水補注源則為北港溪；員林花壇分區之區外地下水補注源為八卦山，北港溪分區之區外地下水補注源則為斗六丘陵。

考量濁水溪沖積扇地下水系統中不同含水層間交互作用下之補注機制，如圖 4.1-17 所示。 Q_{rain} 代表雨水年補注量， Q_{river} 代表河水年補注量， $Q_{gw}^{O.R.}$ 代表區外地下水補注量(山區伏流水之補注量)，三者相加即為地下水年補注量 Q_r 。由於濁水溪沖積扇之扇頂為由深達將近三百公尺之礫石層所組成，各含水層間在此區連通而無分層，因此山區地表逕流入滲之地下水可由此處流入區內而補注至四個含水層中。第一含水層之地下水補注來源主要為雨水 Q_{rain} 、河水 Q_{river} 與區外地下水補注量 $Q_{gw}^{O.R.}$ ；雨水 Q_{rain} 、河水 Q_{river} 與區外地下水補注量 $Q_{gw}^{O.R.-F1}$ 於第一含水層混和後再滲漏至第二含水層，因此第二含水層之地下水補注來源為區外地下水補注量 $Q_{gw}^{O.R.-F2}$ 與第一含水層之地下水 Q_{F1-2} ；第二含水層之地下水受到各補注源混合後再滲漏至第三含水層，因此第三含水層之地下水補注來源為區外地下水補注量 $Q_{gw}^{O.R.-F3}$ 與第二含水層之地下水 Q_{F2-3} ；同理可知，第四含水層之地下水來源為區外地下

水補注量 $Q_{gw}^{O.R.-F4}$ 與第三含水層之地下水 Q_{F3-4} °

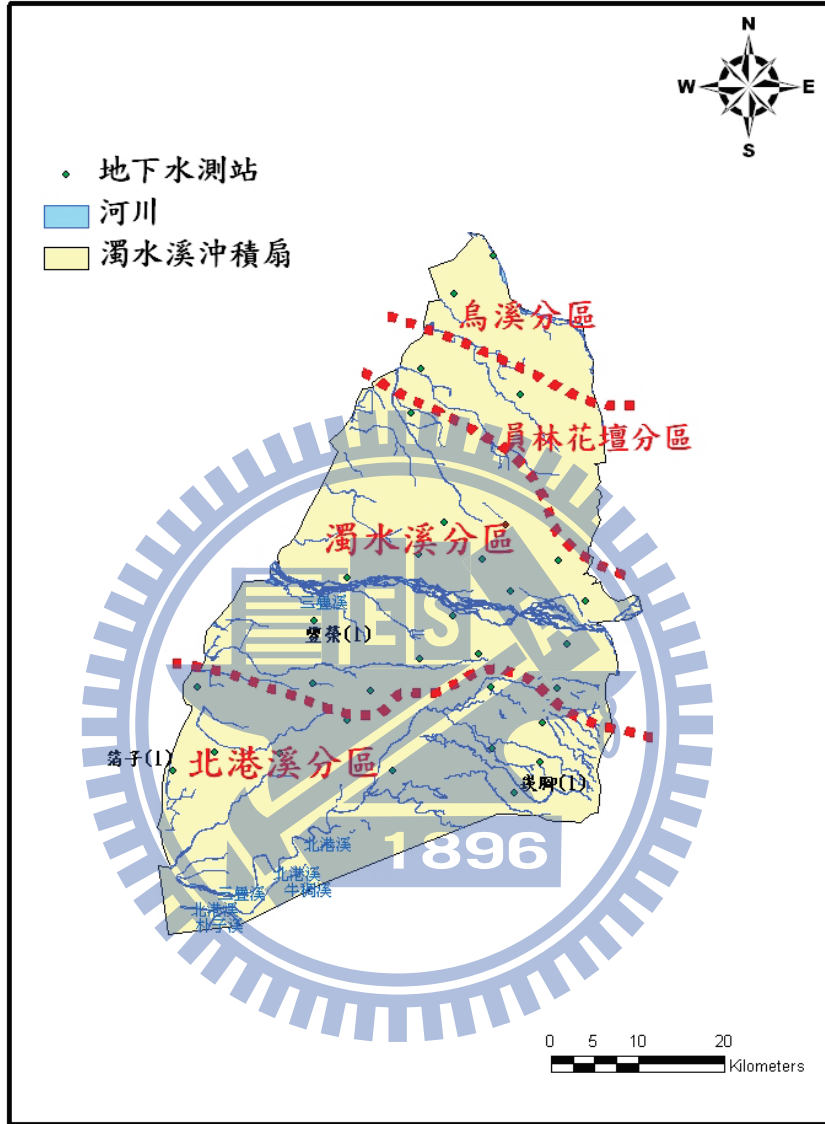


圖 4.1-16、濁水溪沖積扇地下水分區示意圖(江崇榮，2005)

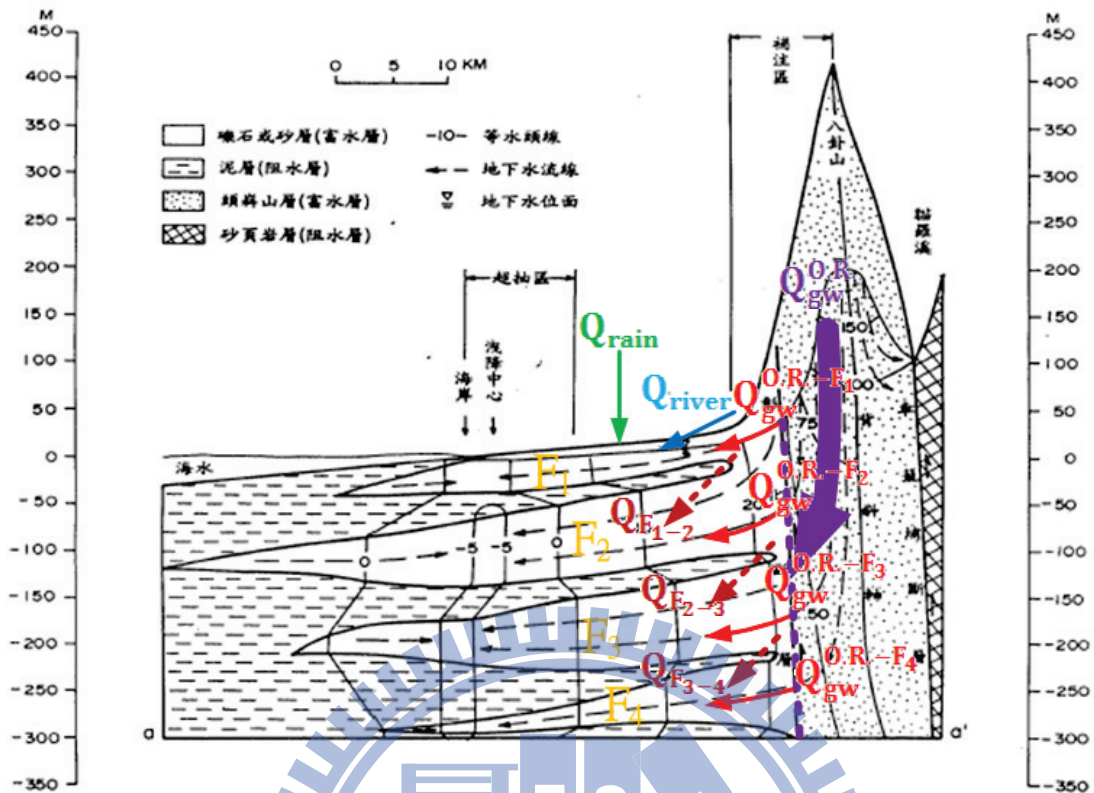


圖 4.1-17、地下水各含水層補注來源示意圖(江崇榮，2006)

五、地下水觀測

濁水溪沖積扇地區上游河川與相關之地質條件不利建置水庫，仰賴地下水水資源比例偏重，所以於第一階段（81 年度至 87 年度）最先實施。目前計有地下水觀測站 82 站（203 口），抽水試驗站 28 站（55 口），水文地質調查站 88 站。圖 4.1-18 為濁水溪沖積扇地下水觀測網分布圖。

六、水文地質參數

濁水溪沖積扇大致可區分為扇頂、扇央及扇尾區，扇頂區位於員林、溪州、西螺、虎溪、東和聯線以東，各含水層間無明顯之阻水層存在，地面水可直接補注至深層，即所謂濁水溪沖積扇扇頂非受壓含水層區；扇央區位於扇頂層區以西，至好修、趙甲、潭墘、田洋、北港聯線以東，阻水

層一覆於含水層一之上，各含水層間有明顯之阻水層存在，地面水無法直接補注各含水層，唯以地層材料而言，砂礫材料所佔之比例較大；扇尾區位於扇央區以西至沿海，含水層一以上亦有阻水層覆蓋，各含水層間亦如扇央區皆有明顯阻水層存在，唯其地層材料中，砂礫所佔之比例較小，而粉砂、泥、及粘土所佔之比例較大。透水係數 K 介於 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ (公尺/秒) 之間，導水係數 T 介於 $0.01 \sim 4.19$ (平方公尺/分) 之間，比容量 Q/s 介於 $0.34 \sim 208.33$ (立方公尺/小時/公尺)，含水層水力特性以扇頂最佳，扇央次之，扇尾最差。

綜觀本節資訊，由水文地質剖面可繪出濁水溪沖積扇含水層之概念分層，並可看出濁水溪沖積扇高程由東向西遞減，在東邊扇頂區大多為非受壓含水層較容易受到補注，且可直接補注至各含水層。由水流系統圖可看出第一層含水層主要補注來源有雨水、河水以及區外地下水補注量(八卦山、斗六丘陵伏流水之補注量)，再配合地層架構可判斷出補注區大致分布在上游扇頂非受壓含水層區域。

表 4.1-1、濁水沖積扇地下水觀測井歸層表

站名	站號	含水層				
		1	2-1	2-2	3	4
二水	071801	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
柑園	072601	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)
溪州	072602	(1)	(2)	(3)		
竹塘	072501	(1)		(2)		
潭墘	072401		(1)	(2)		
西港	072402	(1)	(1)	(2)	(3)	
田中	071201	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
芳苑	072303		(1)	(2)	(3)	
趙甲	072001		(1)	(2)	(3)	
員林	071001		(1)	(2)	(4)	
溪湖	071101		(1)	(2)	(3)	
漢寶	072302		(1)	(2)	(3)	
花壇	070801	(1)	(2)	(3)		(4)
好修	071401		(1)	(2)	(3)	(4)
線西	070401	(1)	(2)	(3)	(4)	
觸口	091002	(1)	(1)	(2)	(2)	(2)
全興	070501	(1)	(2)	(2)	(3)	
洛津	070201	(1)		(2)	(3)	
東芳	070102			(1)	(2)	
文昌	070601	(1)	(2)	(3)	(4)	
香田	072002	(1)			(2)	
田尾	072101	(1)			(2)	
合興	072202	(1)			(3)	
石榴	090102	(1)	(2)	(2)		
芳草	090302	(1)	(2)	(2)		
安南	091401		(1)	(1)	(2)	
海園	091601	(1)	(2)	(2)	(3)	(4)
虎尾	090301		(2)	(2)		
東和	090701	(1)	(2)	(2)	(3)	
六合	090901	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)
虎溪	090101	(1)	(2)	(2)	(3)	(4)
宜梧	091901	(1)		(2)	(3)	(4)
站名	站號	含水層				
		1	2-1	2-2	3	4
田洋	091501	(1)	(2)	(2)		(3)
西螺	090401	(1)	(2)	(2)		
港後	091101		(1)	(2)	(3)	
後安	091301		(1)	(2)		
和豐	091602		(1)	(1)	(2)	
崁腳	090702	(1)	(2)			
北港	090601		(1)	(2)		
箔子	091801	(1)	(2)	(2)	(3)	
豐榮	091201	(1)	(2)	(3)		
烏塗	091001	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
三和	100401	(1)		(2)		
溫厝	090201	(1)		(2)		
九隆	090402	(1)	(2)	(2)	(3)	
瓊埔	092003		(1)	(2)		
古坑	090703	(1)				
嘉興	090801		(1)	(2)	(3)	
荊桐	090902	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)
大溝	092002		(1)		(2)	
興化	091302		(1)	(2)	(3)	
海豐	091303		(1)		(2)	
崙子	091701		(1)	(2)		
蔡厝	091802		(1)	(2)		
水林	092001		(1)		(2)	
元長	091702		(1)	(2)		
明德	091803	(1)	(2)	(3)	(4)	
宏崙	090501	(1)			(2)	
東榮	100501	(1)		(2)	(3)	(4)
東光	091804	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
舊庄	090802	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
東石	100901		(1)	(2)	(3)	(4)
安和	100701	(1)	(2)	(3)		(4)

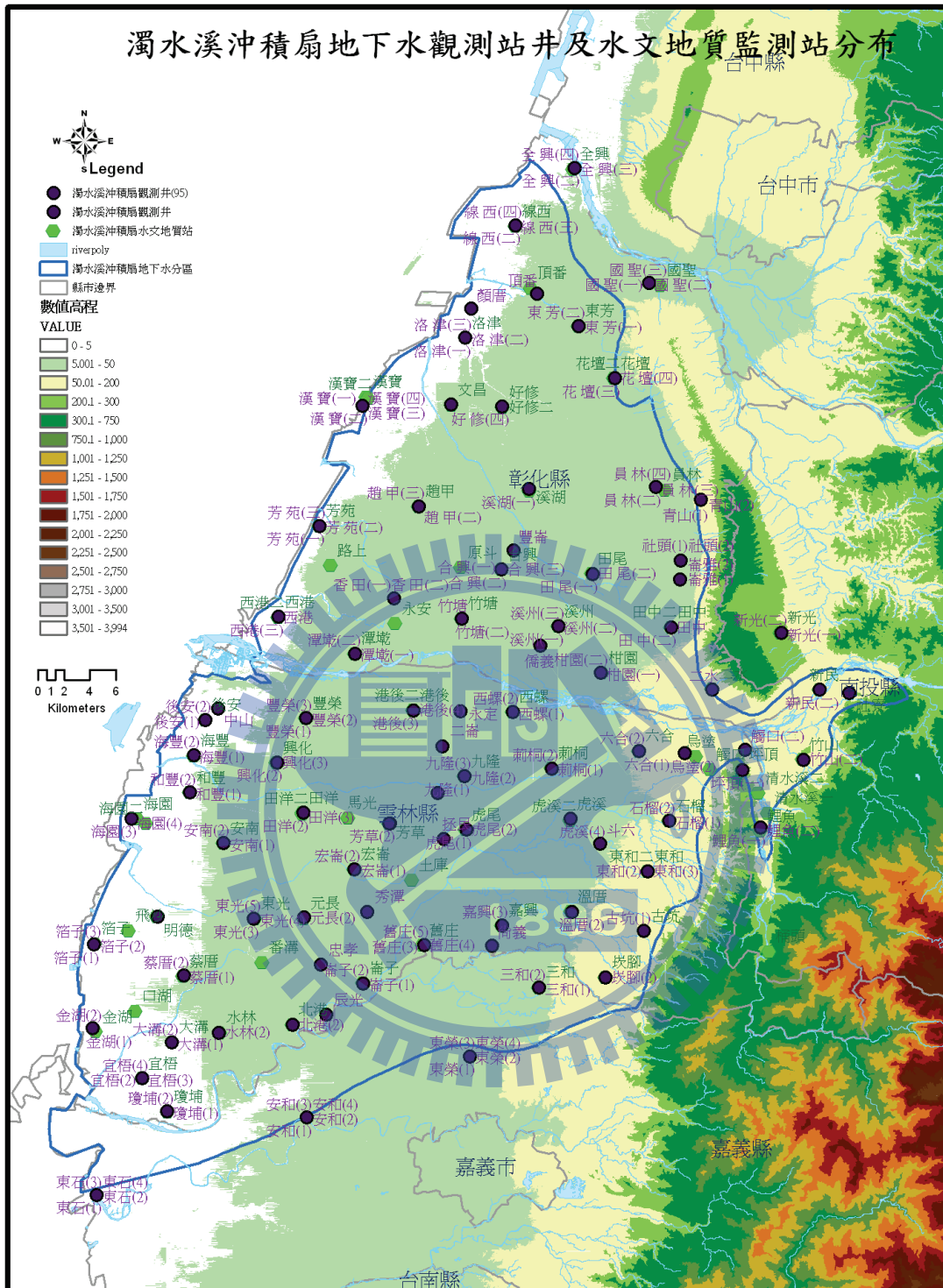


圖 4.1-18、濁水溪沖積扇地下水觀測網站井分布圖

4.2 資料蒐集與處理

本研究使用之圖資以及數據來源如表 4.2-1 所示，圖層製作使用之工具如表 4.2-2 所示。其中可取得之圖資如土地利用、表層土壤種類及水系等。其餘因子因為並無現有圖層資料，因此須由本研究蒐集研究區域之點位資料搭配對研究區域以一公里見方之網格進行空間切割後之網格圖層建立圖層資料。其作法為將分析篩選後所得之點位資料利用距離倒數平方內插到各網格上，並以此建立 GIS 圖層。以下將分別針對各補注潛勢因子之資料蒐集與前置處理做說明。

表 4.2-1、圖資及數據來源表

圖層	圖資來源	數據來源
土地利用	內政部國土測繪中心 (2007 年)	內政部國土測繪中心 (2007 年)
表層土壤種類	行政院農業委員會農業試驗所 (1997 年)	行政院農業委員會農業試驗所 (1997 年)
降雨與地下水位變化相關性	本研究製作	降雨量：中央氣象局、經濟部水利署 地下水位：經濟部水利署
平均年降雨量	本研究製作	中央氣象局、經濟部水利署
單位蓄水量變化	本研究製作	地下水位：經濟部水利署 儲水係數：中央地質調查所彙刊第十九號 P.68、69
透水係數	本研究製作	K 值：台灣地區地下水觀測網第一期計畫—濁水溪沖積扇地下水觀測井建置及相關試驗報告
河系密度	經濟部水利署	經濟部水利署

表 4.2-2、圖資製作工具

工具類別	軟體名稱
桌上型 GIS 軟體	SuperGIS 2.0、ArcGIS 8.x、ArcView 3.x
3D 科學繪圖軟體	SURFER 8.0
空間分析模組	Spatial Analyst Extension for SuperGIS
空間統計分析模組	Spatial Statistics Analyst Extension for SuperGIS
TWD 67/97 座標轉換模組	TWD 67-97 Coordinates Transform Extension for SuperGIS

4.2.1 土地利用

本研究透過內政部國土測繪中心申請取得之圖層為 TWD 97 之 Shapefile 格式檔案，但本研究使用的座標系統為 TWD 67，因此需使用 SuperGIS 之 TWD 67/97 座標轉換模組進行座標轉換。由於取得的原始圖層資料是台灣地區的土地利用圖層，且該圖層被分割為數百個大小不等的小範圍圖層，因此該圖層製作時，須將所有小範圍圖層合併成單一圖層，再以地下水區的圖層裁剪之，即為濁水溪沖積扇之土地利用圖層(如圖 4.2-1 所示)。因圖層是國土測繪中心分區委託不同單位製作(如表 4.2-3 所示)，例如國土測繪中心在 95 年度委託財團法人工業技術研究院製作南投嘉義的土地利用圖層，96 年度委託亞興測量有限公司製作彰化、雲林等地的土地利用圖層。不同的單位在細部的屬性表格式上有所不同，所以還需將其調整，才能順利合併圖層使用。

表 4.2-3、95 及 96 年國土利用調查委託製作範圍表

年度	委託生產單位	範圍
95	台灣世曦工程顧問股份有限公司	第 1 作業區(新竹縣、新竹市、苗栗縣、宜蘭縣)
95	財團法人工業技術研究院	第 2 作業區(嘉義縣、嘉義市、南投縣、部分花蓮縣)
95	亞興測量有限公司	第 3 作業區(屏東縣、臺東縣、部分花蓮縣、澎湖縣)
96	台灣世曦工程顧問股份有限公司	第 1 作業區(臺北縣、臺北市、桃園縣、基隆市)
96	亞興測量有限公司	第 2 作業區(彰化縣、雲林縣、部分臺南縣及部分高雄縣)
96	中華民國航空測量及遙感探測學會	第 3 作業區(臺南市、高雄市、部分臺南縣、部分高雄縣)

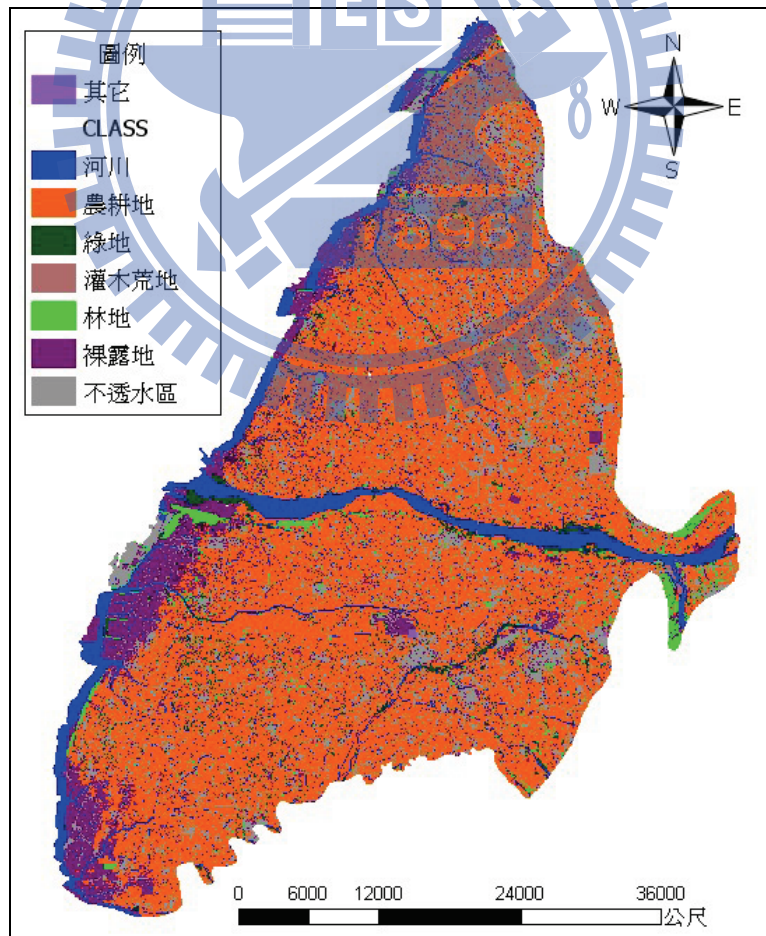
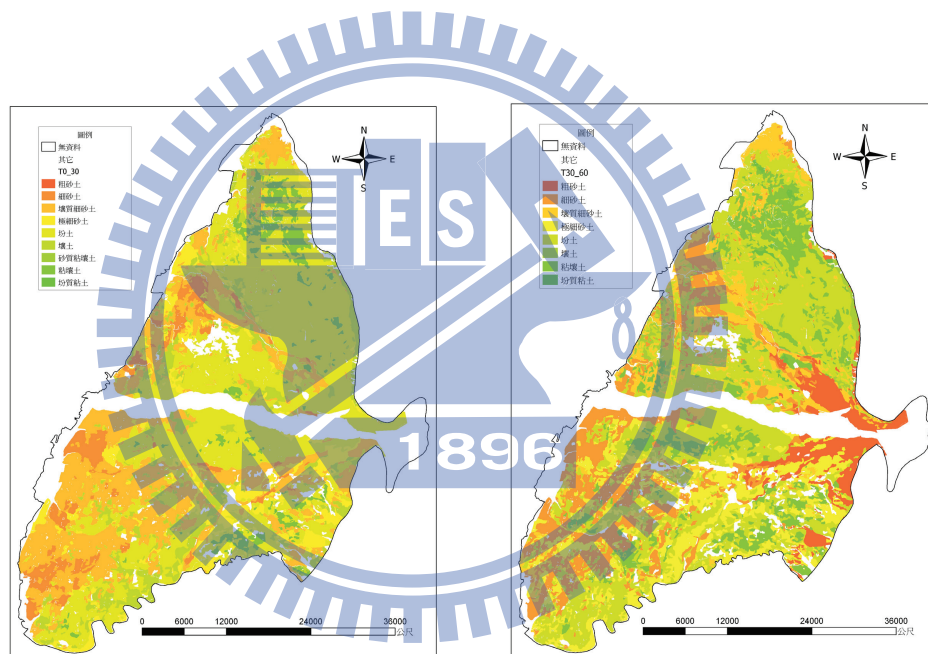


圖 4.2-1、濁水溪沖積扇土地利用研究分類圖層

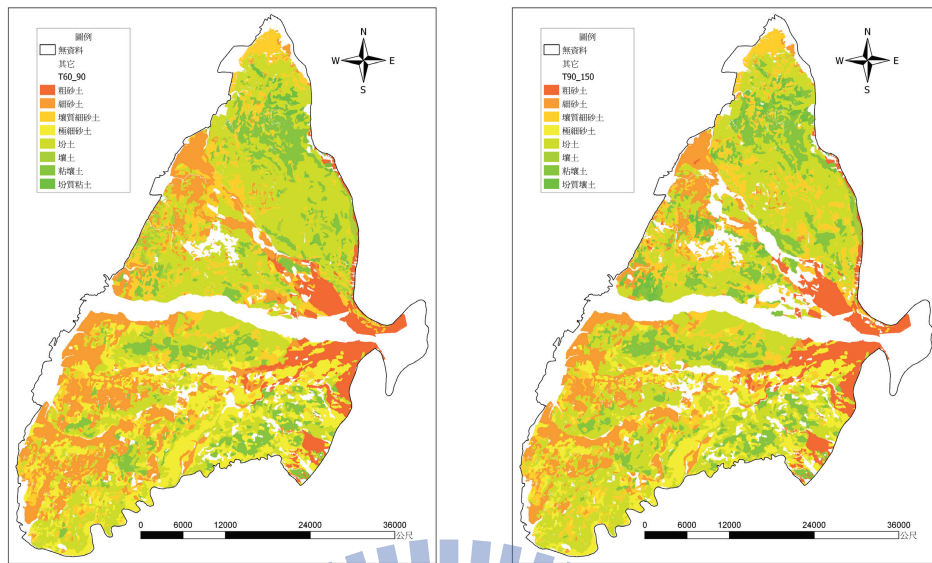
4.2.2 表層土壤種類

本研究由行政院農業委員會農業試驗所取得之圖層為 ArcInfo 之*.e00 格式，與現行較常見之格式 Shapefile (*.shp) 不符，因此需將其轉換為 Shapefile 格式。圖 4.2-2 為轉檔後，根據不同深度範圍的表層土壤種類分布圖。本研究將採用 0~150cm 四層的圖層資料，先分別計算出各層土壤種類的補注潛勢分數後再平均。



(a) 0~30cm 深度土壤種類

(b) 30~60cm 深度土壤種類



(c) 60~90cm 深度土壤種類

(d) 90~150cm 深度土壤種類

圖 4.2-2、表層土壤種類原始圖層

4.2.3 降雨與地下水位變化相關性

本研究雨量資料採用中央氣象局位於濁水溪沖積扇及山區之雨量站，包括山區 20 站以及平原區 20 站，共計 40 站，如圖 4.2-3 所示。資料蒐集期距自西元 1995/01/01 至 2007/12/31 之每日觀測數據。地下水位資料採用經濟部水利署濁水溪沖積扇內之地下水井，共計 33 口井，如圖 4.2-4 所示資料蒐集期距自西元 1995/01/01 至 2007/12/31 之每日觀測數據。

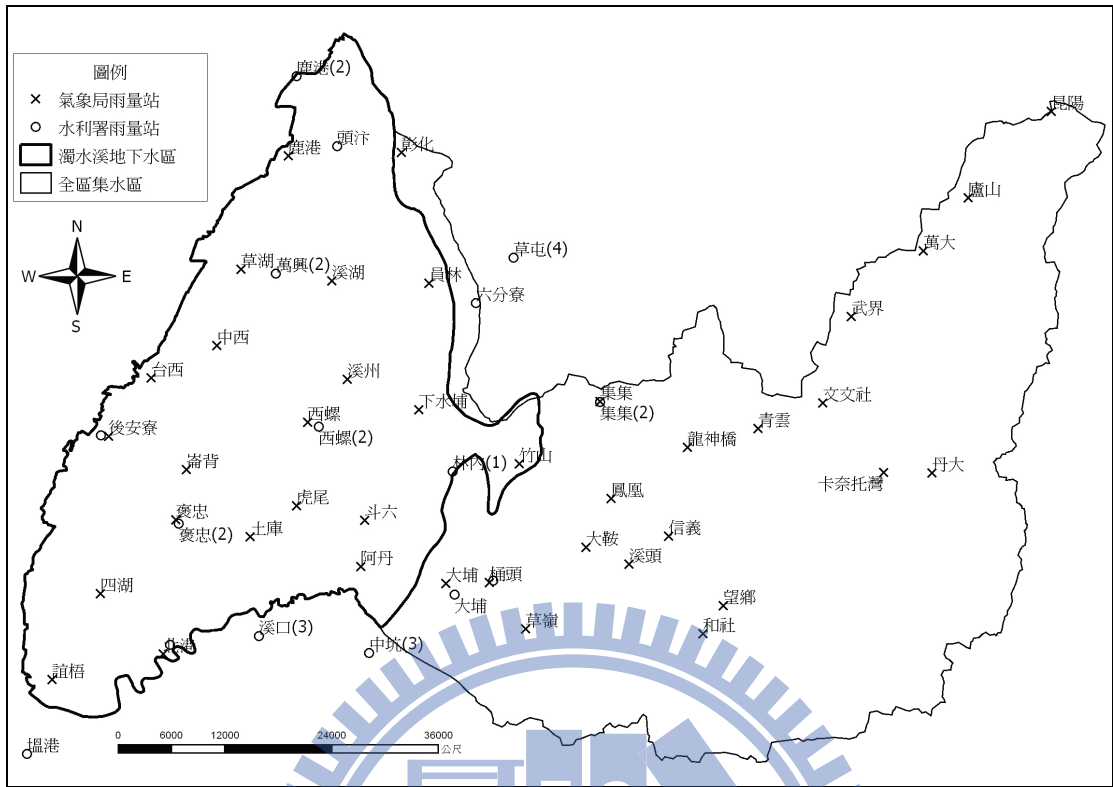


圖 4.2-3、雨量站位置圖

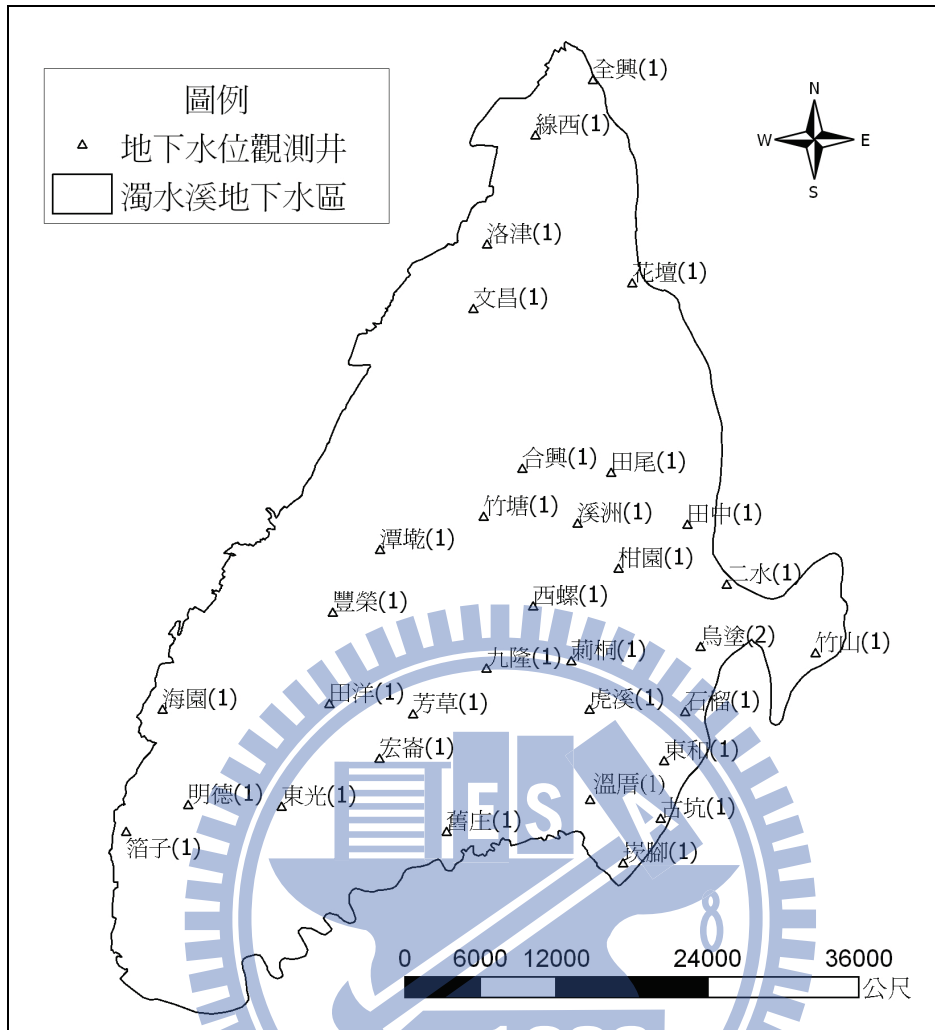


圖 4.2-4、降雨與地下水位變化相關性因子所選取之地下水井分布圖

假設受壓含水層之水位上升來自「含水層側向補注」，則補注來源可能分別為「平原區」、「山區」及「全區(平原區+山區)」之降雨；而非受壓含水層水位上升原因可能來自「垂向入滲」及「含水層側向補注」，因此需多考慮局部區域降雨之影響。計算「平原區」、「山區」、「全區(平原區+山區)」之每日平均雨量公式如下

$$R_{AV} = \sum_{i=1}^N W_i R_i \dots\dots\dots (式 4.2-1)$$

R_{AV} ：區域每日平均降雨量

W_i : 權重=i雨量站徐昇氏網格控制面積/區域總面積

R_i : i雨量站之雨量

N : 雨量站總數

表 4.2-4、各雨量站徐昇氏網格之控制面積

站號	雨量站站名	X	Y	控制面積(m ²)
C1G630	彰化	203931.85	2664054.22	137151336.5
C0G650	員林	207023.17	2649369.9	141683916.2
C1G690	下水埔	205876.81	2635129.51	139357422.9
C1K310	斗六	199833.73	2622720.66	98061267.65
C1K320	阿丹	199362.14	2617461.73	77503584.11
C0G640	鹿港	191247.82	2663700.73	135159971.3
C1G660	溪湖	196138.16	2649621.88	137537843.1
C1G680	草湖	185908.43	2650925.27	110365208.5
C1G670	溪州	197851.16	2638540.35	97182574.15
C1K230	西螺	193389.64	2633727.16	107794309.1
C1G700	中西	183182.68	2642354.16	119459497.2
C0G710	台西	175836.68	2638698.26	51280954.32
C1K260	後安寮	171018.58	2632139.89	95378713.59
C1K250	崙背	179748.2	2628372.33	96974833.08
C0K330	虎尾	192134.96	2624318.28	75048071.29
C1K340	土庫	186936.57	2620863.55	111901334.8
C1K270	褒忠	178587.84	2622748.07	98471778.74
C0K280	四湖	170128.52	2614423.91	156881521.8
C0K290	誼梧	164686.64	2604794.46	83547110.3
C1K350	北港	177181.24	2607680.41	80506548.98
C0H990	昆陽	276965.32	2668681.53	77044755.33
C0I010	廬山	267631.15	2658945.44	149072844
C1I020	萬大	262578.71	2653002.72	181108992.8
C1I030	武界	254496.76	2645614.64	111478114.9
C1I04	文文社	251301.84	2635862.15	94691013.68
C1I140	卡奈托灣	258126.59	2628050.57	202942102.9

表 4.2-5、各雨量站徐昇氏網格之控制面積(續)

站號	雨量站站名	X	Y	控制面積(m ²)
C1I050	丹大	263535.01	2627993.14	397212322.5
C1I150	青雲	243999.1	2633002.31	151831074.5
C1I160	龍神橋	236099.66	2630885.18	121553330.4
C1I060	望鄉	240079.31	2613101.14	355676574.9
C1I080	信義	233965.38	2620889.48	88540522.18
C1I100	溪頭	229513.2	2617757.33	76560067.22
C1I070	和社	237837.37	2609934.35	265621605.6
C1I170	集集	226256.12	2636066.11	88821668.49
C0I090	鳳凰	227484.44	2625143.29	73272289.26
C1I120	大鞍	224671.06	2619672.21	73067274.33
C0I110	竹山	217155.8	2629039.14	139809654
C1I130	桶頭	213838.17	2615695.93	74664612.26
C0K240	草嶺	217879.36	2610487.53	221188756.7
C0K300	大埔	208906.54	2615585.96	117948956.8

在迴歸方法上乃將各地下水井之「地下水位上升量」與「降雨量」做線性迴歸。依照地下水井所處含水層特性可分為受壓與非受壓含水層，因此以下稱位處受壓含水層之地下水井為受壓地下水井，位處非受壓含水層者為非受壓地下水井。受壓水井之水位變化分別與「平原區」、「山區」、「全區」之平均降雨量作線性迴歸；非受壓井之水位變化除了與上述三區域之平均降雨量作線性迴歸外，另外與「最鄰近雨量站」之降雨量作線性迴歸。以受壓地下水井-豐榮(1)為例，其線性迴歸結果顯示，該站地下水位與平原區降雨相關性最佳 $R^2=0.804$ ，山區次之 $R^2=0.691$ ，全區最差 $R^2=0.519$ ，如圖 4.2-5 所示。

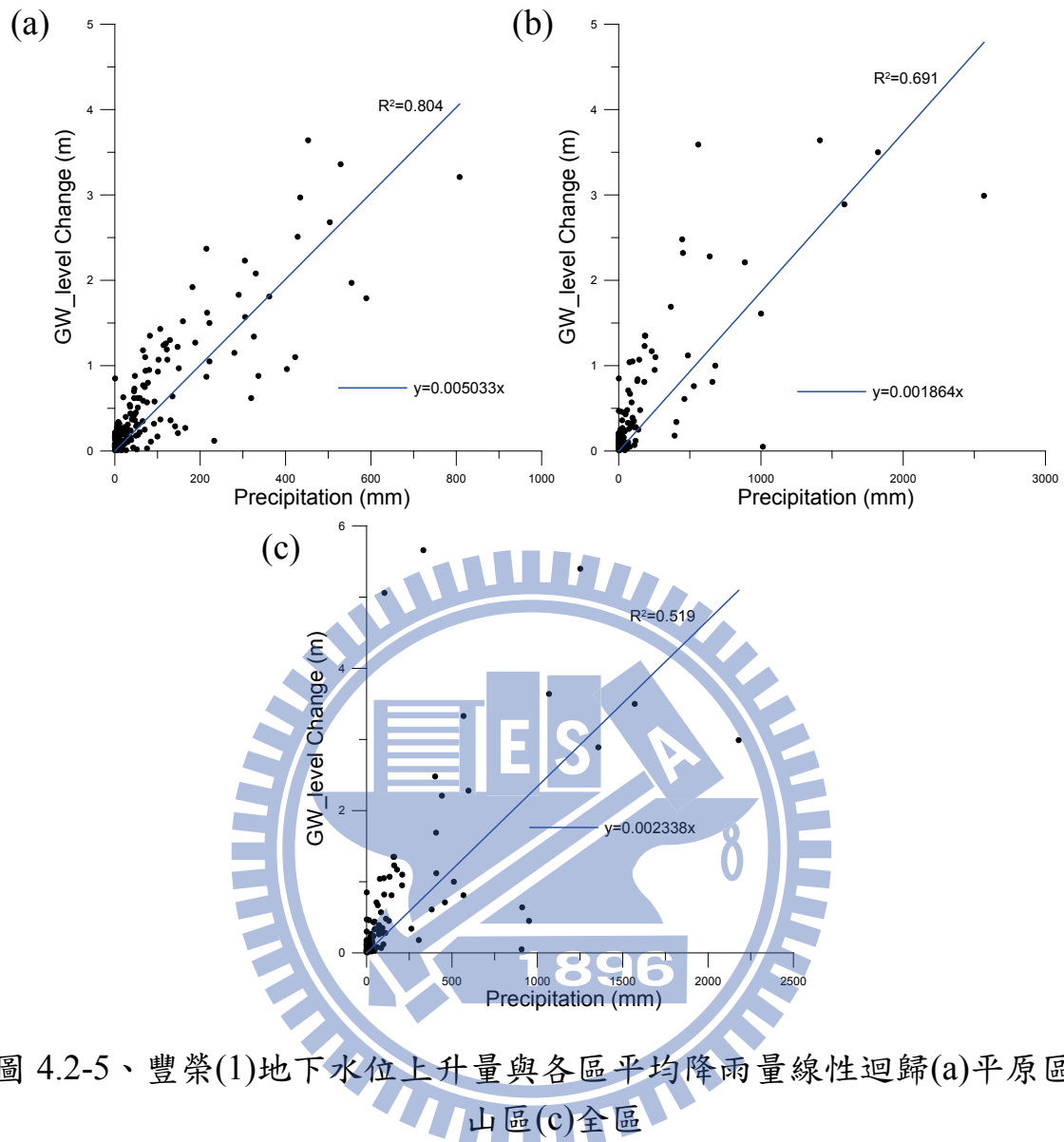


圖 4.2-5、豐榮(1)地下水位上升量與各區平均降雨量線性迴歸(a)平原區(b)山區(c)全區

受壓地下水井之水位變化對「平原區」、「山區」、「全區」之平均降雨可求得 3 組不同之 R^2 值，各井之比較如圖 4.2-6 所示；非受壓地下水井因為需多考慮垂向入滲之影響，多考慮「最鄰近之雨量站」的降雨量影響，故在非受壓地下水井的分析上共可得 4 組之 R^2 值，各井之比較如圖 4.2-7 所示。但由於空間分佈及區域水文地質特性不同，各口井之地下水位，對不同區域之降雨相關性也不同，此補注因子僅考慮其水位變化是否受降雨

所影響，故僅取出該井求得 R^2 值之最大者，利用距離倒數平方法內插出各網格之數值，完成後之等值線圖如圖 4.2-8 所示，由圖中研判扇頂區域之地下水位與降雨相關性較高，漸漸往扇尾遞減，因此在扇頂附近應具有較高之補注潛勢。

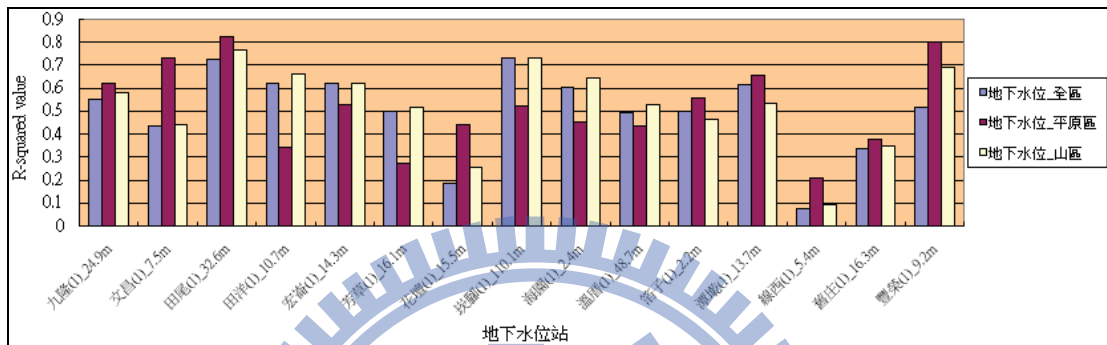


圖 4.2-6、各區降雨與受壓地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較圖

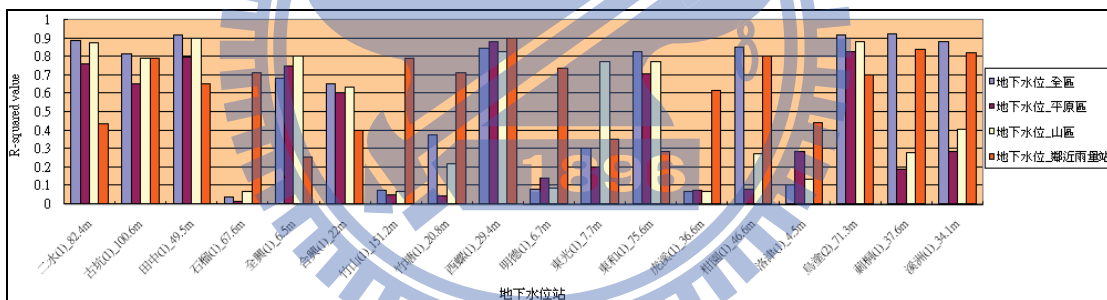


圖 4.2-7、各區降雨與非受壓地下水井水位變化迴歸統計之 R^2 值比較圖

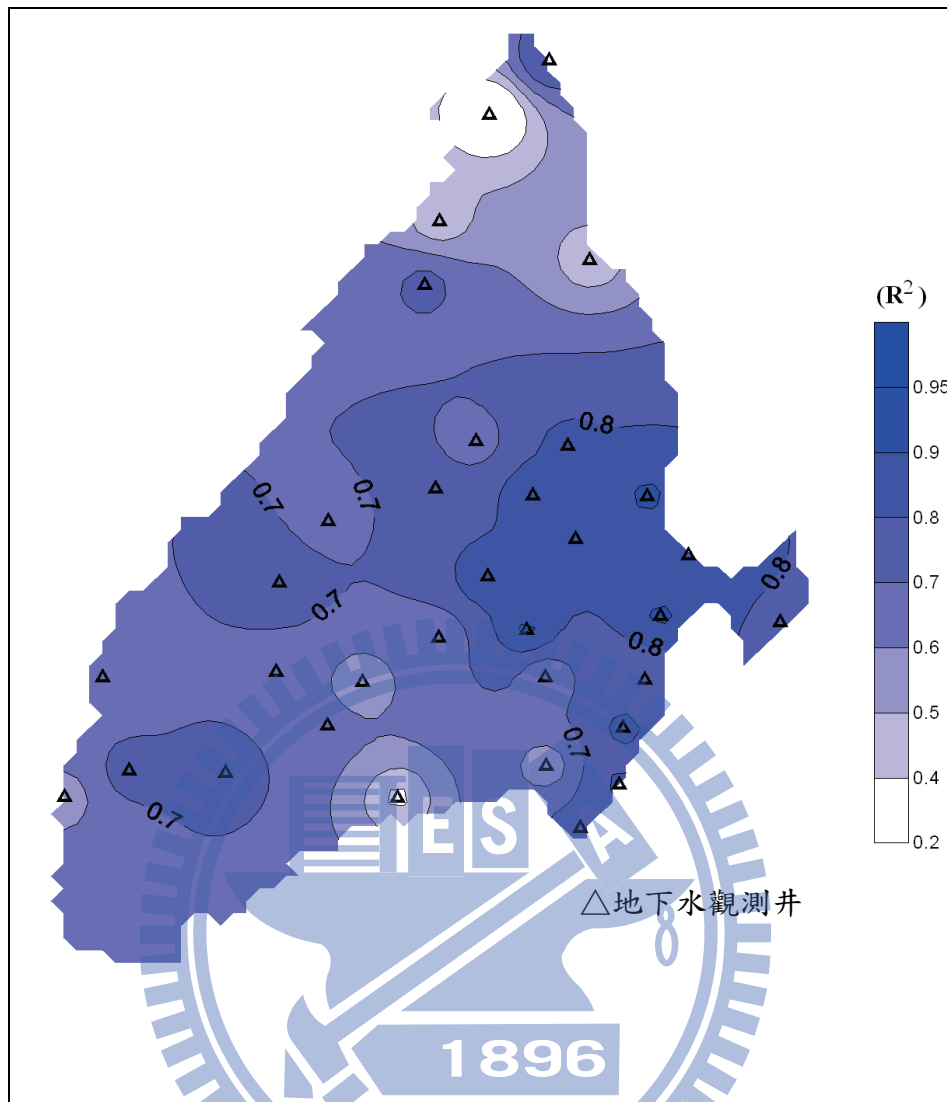


圖 4.2-8、降雨與地下水位變化相關係數等值圖

4.2.4 平均年降雨量

中央氣象局及經濟部水利署於濁水溪沖積扇設有許多雨量站，可提供詳細的降雨資料。其中中央氣象局於彰化縣、雲林縣、南投縣及嘉義縣北端共有雨量站約 84 站，經濟部水利署於濁水溪沖積扇共有 16 站，本研究以經濟部水利署之雨量站為主，中央氣象局為輔，選出於濁水溪沖積扇及其周圍之雨量站作分析，所選擇之 37 站如圖 4.2-9 所示，使用資料為

1993-2008 年各年年雨量平均所得之各站平均年雨量。

本研究以 1 公里見方之格網對濁水溪沖積扇進行空間切割，將各點之平均年雨量資料利用距離倒數平方法內插到各網格，內插完成後之等值線圖如圖 4.2-10 所示，由圖中可知降雨由扇頂往扇尾遞減，因此在扇頂擁有較佳之地下水補注來源。

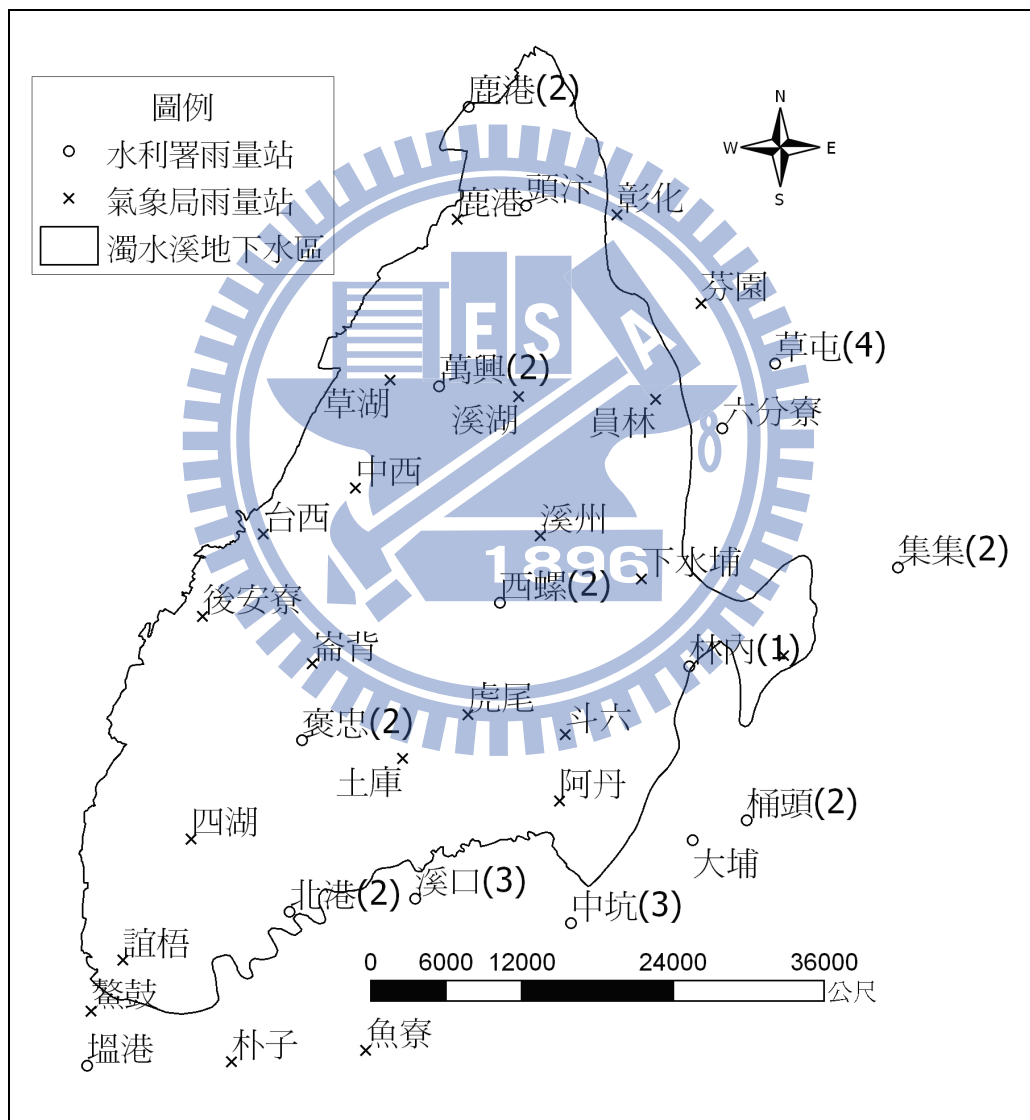


圖 4.2-9、本研究選取之雨量站

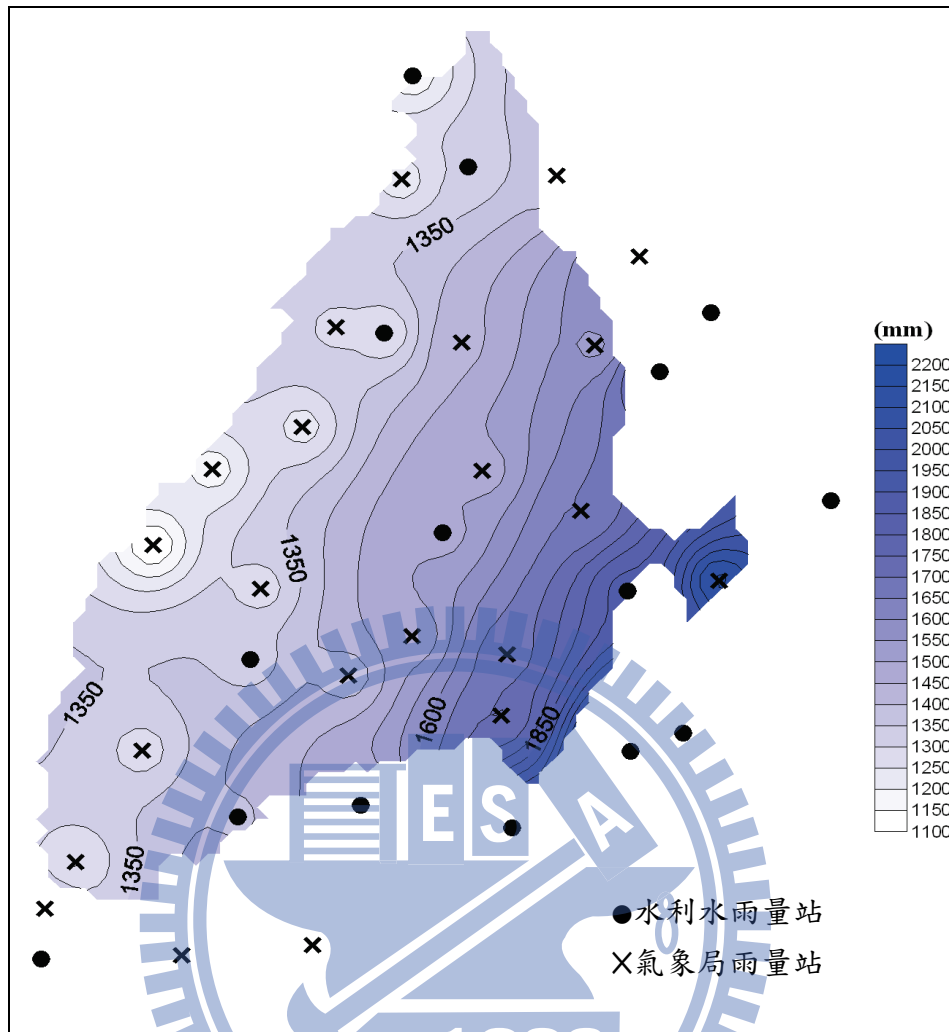


圖 4.2-10、本研究選取雨量站年雨量等值線圖(mm)

4.2.5 單位蓄水量變化

本研究以單位蓄水量變化，即地下水位之變化與儲水係數之相乘積（單位面積且高度為含水層厚之土柱蓄水量變化），而非地下水位或蓄水係數個別之變化來反應補注潛勢之大小，其中地下水位之變化乃以水位標準差代表，如式 4.2-2 所示。

若僅只考慮最上部非受壓含水層之井，以其單位蓄水量變化值進行內插，會導致此內插值在受壓含水層區域之值過高，高估補注潛勢，因此本

研究取位於淺層非受壓及受壓含水層的井，如圖 4.2-11 所示，其井名、儲水係數（參考自中央地質調查所彙刊第十九號圖六及表二）、各站水位標準差及單位蓄水量變化如表 4.2-6 所示。以距離倒數平方法內插得各格網之單位蓄水量變化值，並以此資料建立單位蓄水量變化之 GIS 圖層。濁水溪沖積扇之單位蓄水量變化等值圖如圖 4.2-12 所示，由圖中可知在扇頂二水站及古坑站處有較高之單位蓄水量變化，其相對之補注潛勢也較高。

$$\bar{S} = \sigma \times S \dots\dots\dots (式 4.2-2)$$

\bar{S} ：單位蓄水量變化

σ ：地下水位標準差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}$$

S ：受壓含水層為儲水係數(S)，非受壓含水層為比出水率(S_y)

表 4.2-6、各井之儲水係數與單位蓄水量變化

站名	well_name	S	Sy	水位標準(m)	單位蓄水量變化 (m)
全興(1)	Cyuansing		0.200	0.435	0.087
線西(1)	Siansi	*0.00448		0.447	0.002
洛津(1)	Luojin		0.200	0.592	0.118
花壇(1)	Huatan	0.00218		1.723	0.004
文昌(1)	Wunchang	0.00218		0.538	0.001
合興(1)	Hesing		*0.225	1.078	0.242
田尾(1)	Tianwei	0.00218		0.679	0.001
潭墘(1)	Tancian	0.00218		1.378	0.003
竹塘(1)	Jhutang		0.200	1.114	0.223
溪洲(1)	Sijhou		*0.216	0.988	0.213
柑園(1)	Ganyuan		*0.120	1.619	0.194
田中(1)	Tianjhong		0.200	2.389	0.478
二水(1)	Ershuei		*0.199	3.291	0.655
豐榮(1)	Fongrong	0.00218		1.802	0.004
西螺(1)	Siluo		0.200	1.141	0.228
海園(1)	Haiyuan	*0.000191		2.294	0.000
田洋(1)	Tianyang	*0.00188		0.644	0.001
九隆(1)	Jiulong	0.00218		0.984	0.002
蔴桐(1)	Cihtong		0.200	1.256	0.251
烏塗(2)	Wutu		*0.152	2.986	0.454
箔子(1)	Bozih	0.00218		1.839	0.004
明德(1)	Minde		0.200	1.169	0.234
東光(1)	Dongguang		*0.289	1.628	0.470
宏崙(1)	Honglun	0.00218		0.986	0.002
芳草(1)	Fancao	0.00218		0.815	0.002
虎溪(1)	Husi		0.200	0.895	0.179
石榴(1)	Shihliou		0.200	2.090	0.418
東和(1)	Donghe		0.200	3.903	0.781
舊庄(1)	Jiujhuang	0.00218		0.856	0.002
溫厝(1)	Wuncuo	0.00218		0.884	0.002
古坑(1)	Gukeng		0.200	5.107	1.021
崁腳(1)	Kanjiao	0.00218		1.870	0.004

*表示雙井抽水試驗時測值，其餘無實測資料之站以平均值給定。

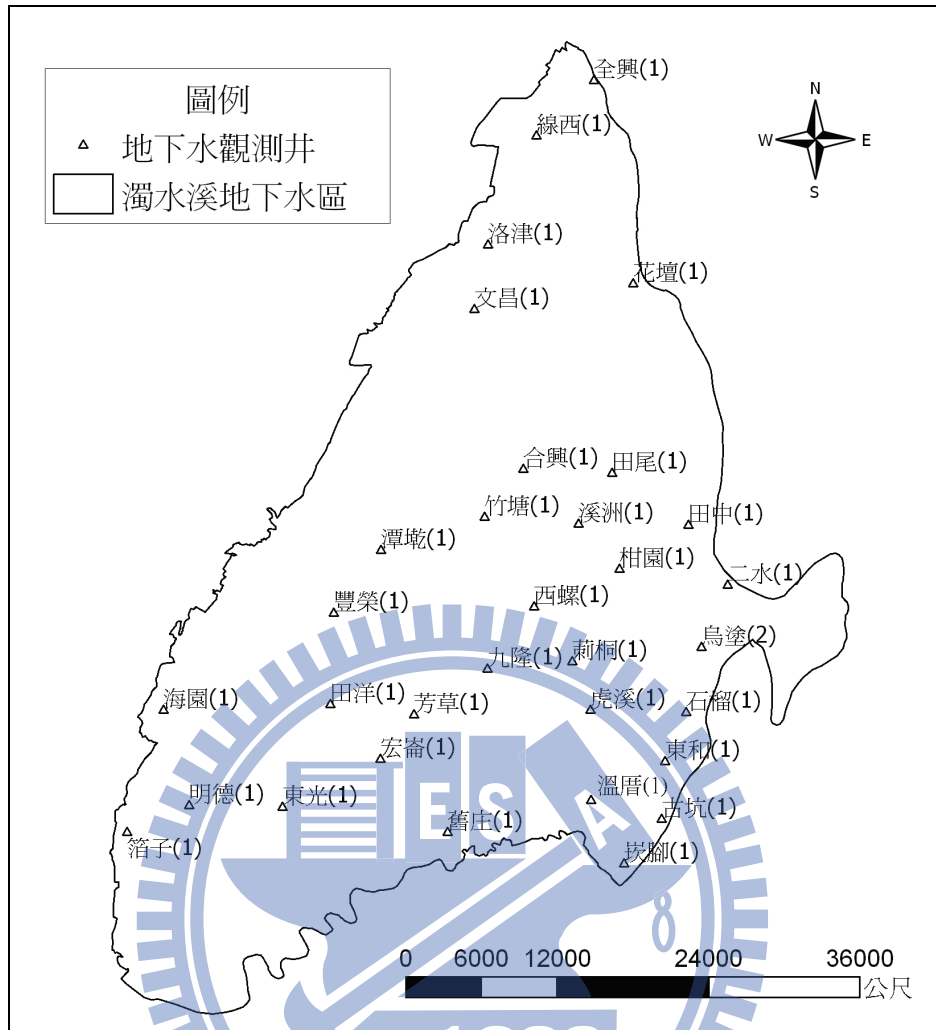


圖 4.2-11、單位蓄水量變化因子所選用之地下水井分布圖(江崇榮，2006)

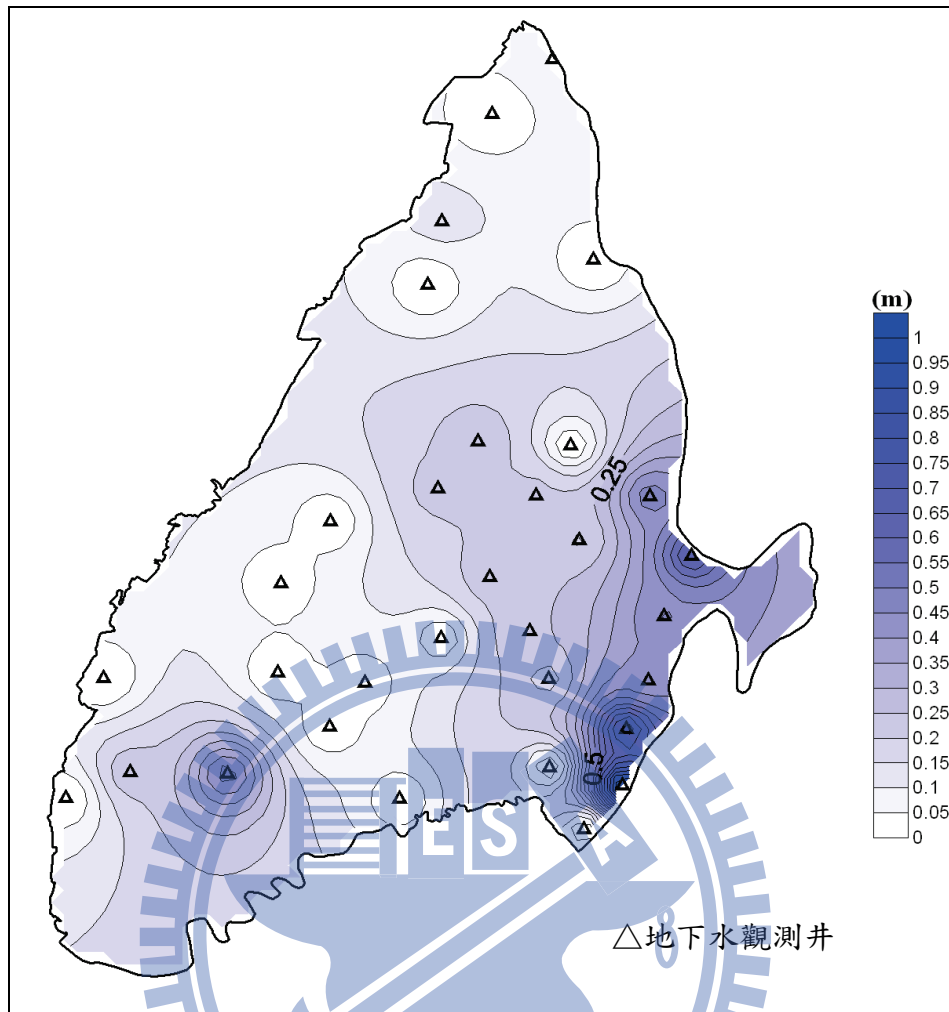


圖 4.2-12、單位蓄水量變化等值圖

4.2.6 透水係數

本研究使用之透水係數 K 值取自台灣地區地下水觀測網第一期計畫報告，並藉由地質鑽探所獲得之水文地質剖面圖(如圖 4.1-1)，劃分出濁水溪沖積扇之概念分層含水層一、二、三、四(F1~F4)及阻水層一、二、三、四(T1~T4)，取出位於地下含水層一(F1)深度內 42 口地下水位觀測井，分布圖如圖 4.2-13。再將各井位之 K 值資料以距離倒數平方法內插至各網格，並依此資料建置透水係數之圖層。但內插後之結果顯示，竹塘(1)及合

興(1)雖位於扇央，其 K 值分別為 0.107222 m/min.、0.131925 m/min.，相對於周遭井為高，影響整體等值線走向，造成竹塘(1)及合興(1)局部性的極端。由於本研究目的在於區域性的補注潛勢劃分，若考慮局部性極端資料繪製等值圖會影響整體之判斷，因此將竹塘(1)及合興(1)移除重新進行內插，如圖 4.2-14 所示。濁水溪沖積扇 K 值最大約為 0.12~0.13 m/min.，位於柑園(1)及二水(1)。

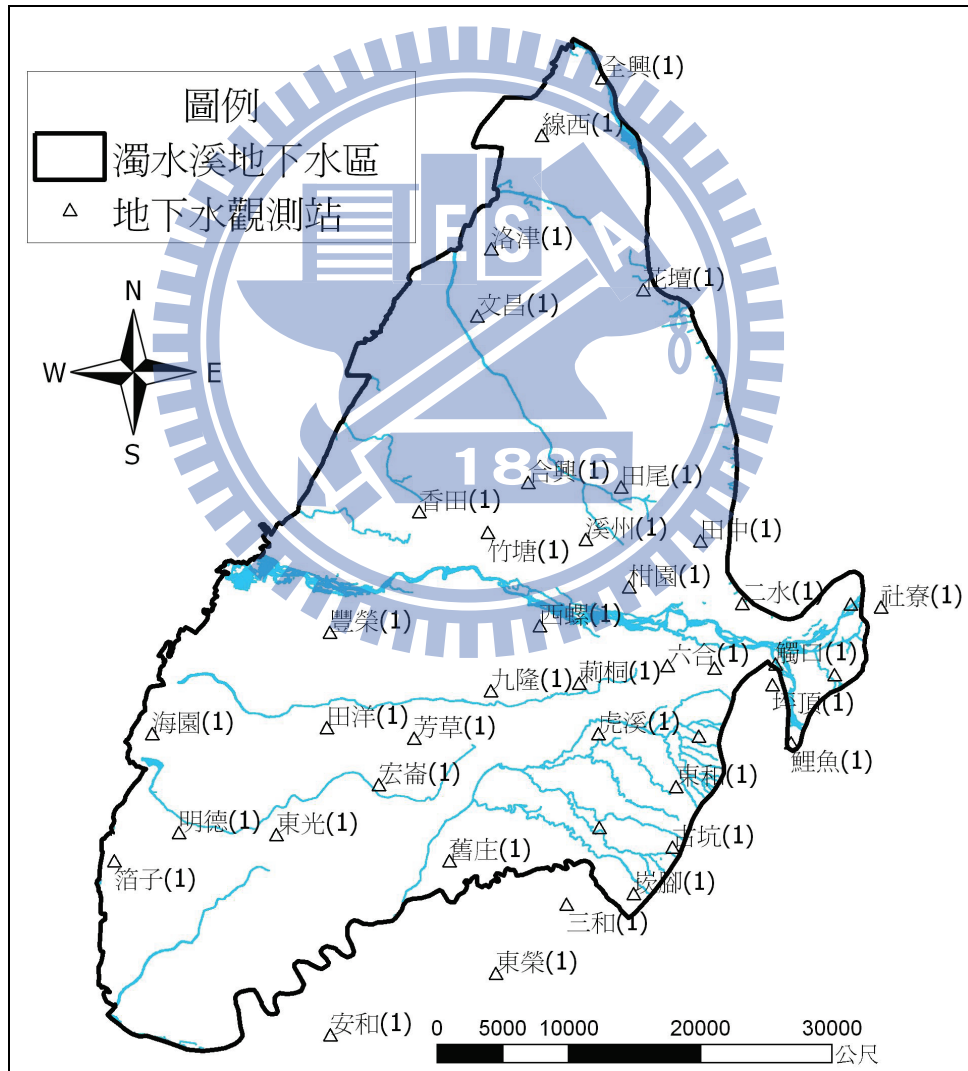


圖 4.2-13、含水層一(F1)42 口地下水觀測站分布圖

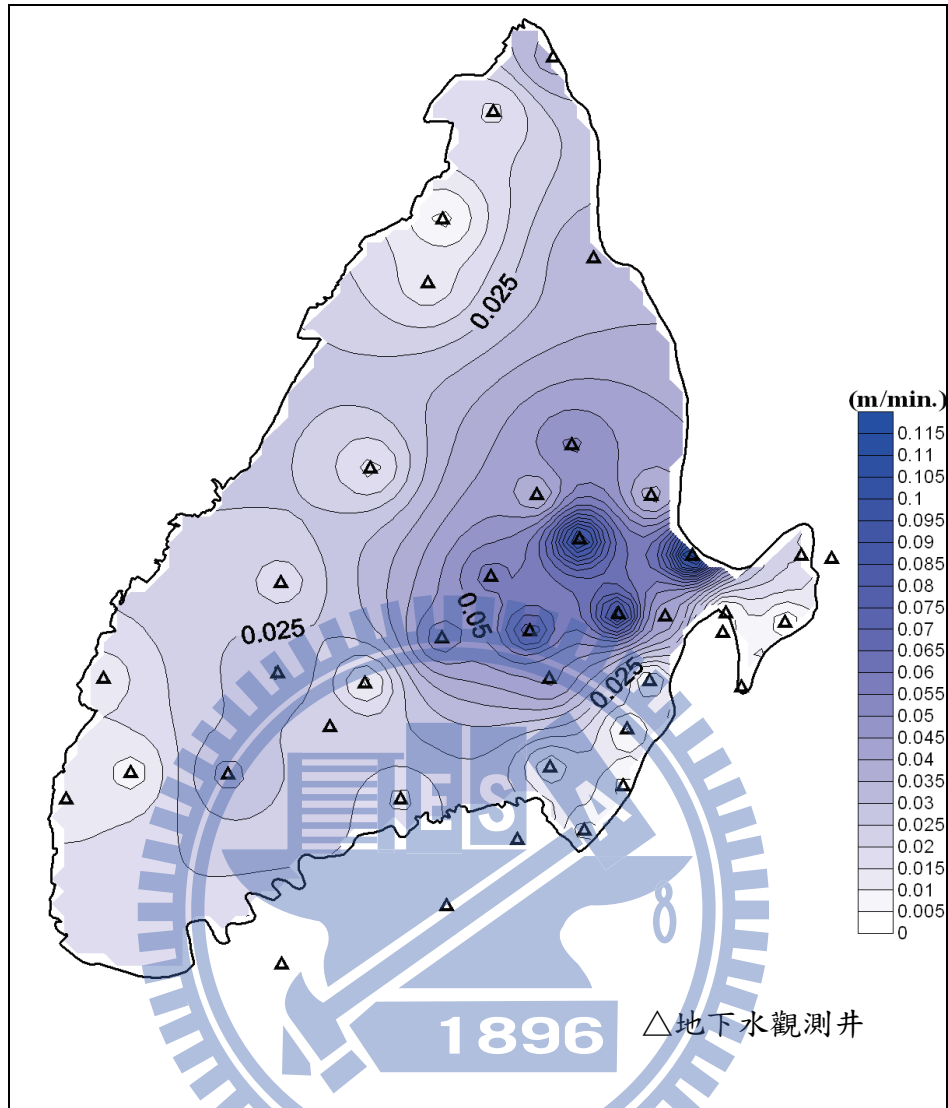


圖 4.2-14、濁水溪沖積扇含水層一(F1)透水係數等值線圖

4.2.7 河系

本研究預計以 polyline 之水系 GIS 圖資，計算單位網格內之河系總長度。

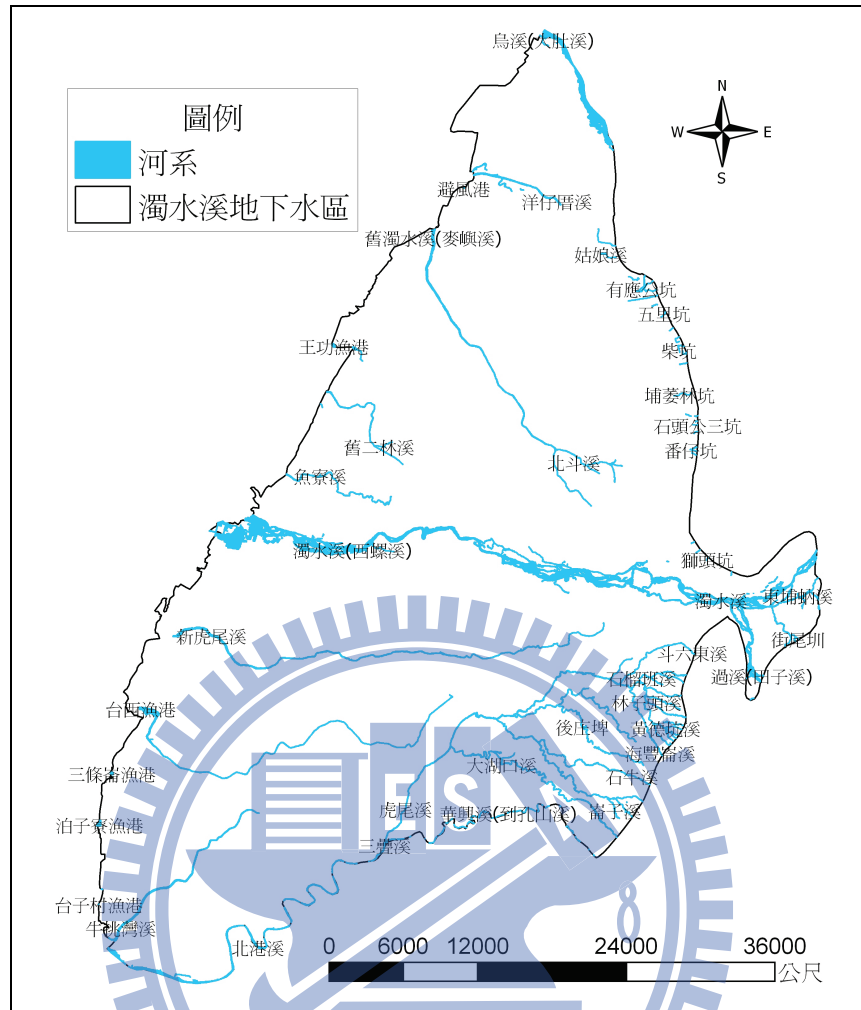


圖 4.2-15、濁水河流域河系圖

4.3 因子分數圖層處理

4.3.1 土地利用

土地利用原始分類高達 103 種，本研究將其歸納為 7 種土地利用類別。圖 4.3-1 是由圖 4.2-1 經過網格切割後，依照各種計劃土地分類根據表 3.4-2 給予分數，再將該分類分數所佔網格面積比例加權計算各網格分數，最後再搭配表 3.4-1 以補注潛勢因子間權重加權計算所得。

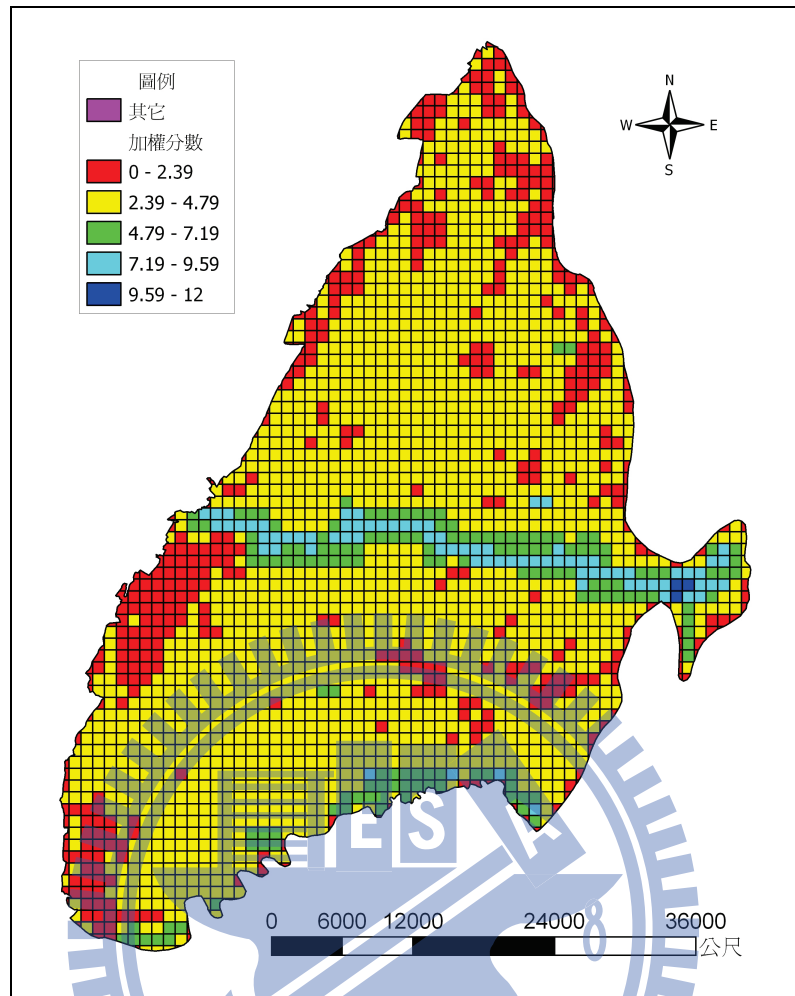


圖 4.3-1、加權後土地利用潛勢分數分布圖

4.3.2 表層土壤種類

圖 4.3-2 是表層 0~150cm 土壤經網格切割後依照各種土壤根據表 3.4-2 給予四種深度分層土壤種類分數並依該土壤種類分類所佔網格面積比例加權計算各網格分數，再將各網格四層分數平均，接著再搭配表 3.4-1 以補注潛勢因子間權重加權計算所得之表層土壤種類補注潛勢分數分布圖，對照圖 4.2-2 可看出粒徑較大的土壤分布區域其潛勢分數較高；反之，粒徑較小的土壤分布區域其潛勢分數較低。本研究僅考慮表層土壤對入滲

的影響，故無法像較深層之土壤分布可以看出地下水儲存之區域。表 4.3-2 為本研究之分類代碼與原始圖層分類之對照，其中因為原始圖層在濁水溪流流域無土壤資料，導致分數過低，經評估後決定將該區域直接給定最高分。

表 4.3-2、表層土壤種類計劃分類表

分類代碼	原始分類	細項
1	粗砂土	粗砂土，砂土
2	細砂土	細砂土，壤質粗砂土，壤質砂土
3	壤質細砂土	壤質細砂土，粗砂質壤土，砂質壤土，細砂質壤土
4	極細砂土	極細砂土，壤質極細砂土，極細砂質壤土
5	坩土	坩土，坩質壤土
6	壤土	壤土
7	砂質粘壤土	砂質粘壤土
8	粘壤土	粘壤土，坩質粘壤土
9	坩質粘土	坩質粘土
10	粘土	粘土
11	石礫	石礫

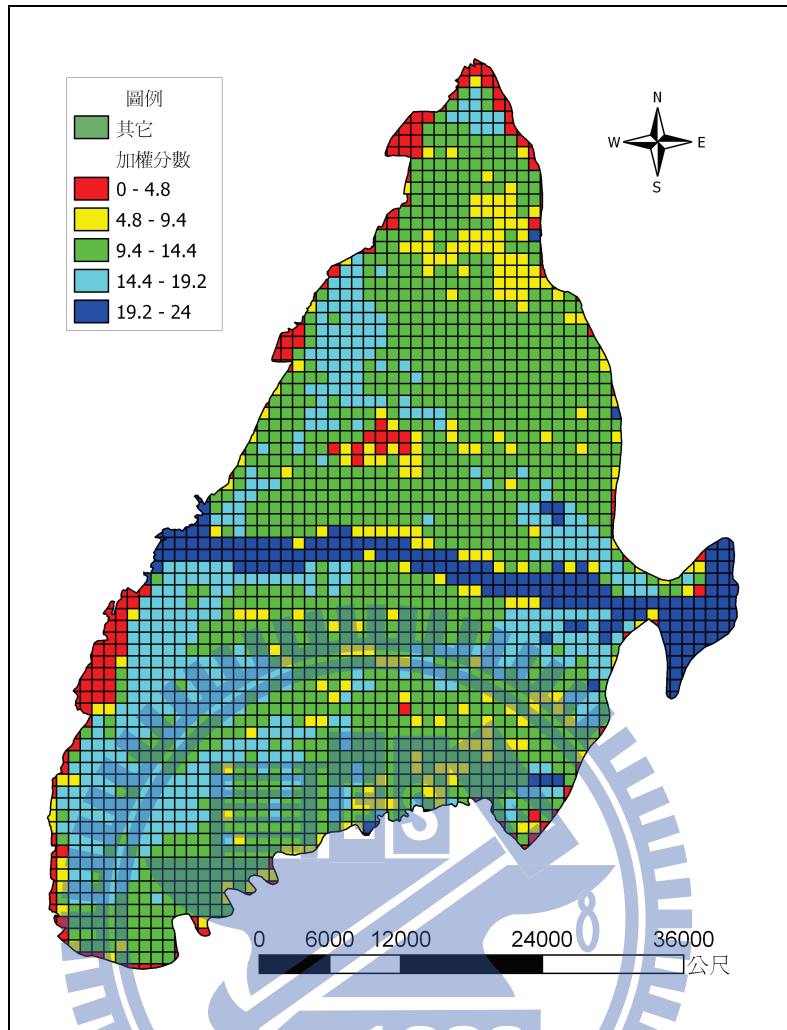


圖 4.3-2、加權後表層土壤種類潛勢分數分布圖

4.3.3 降雨與地下水位變化相關性

圖 4.3-3 是以距離倒數平方法內插出 1 公里見方網格中心座標之相關性值，依照表 3.4-2 分類後再搭配表 3.4-1 以補注潛勢因子間權重加權計算所得。

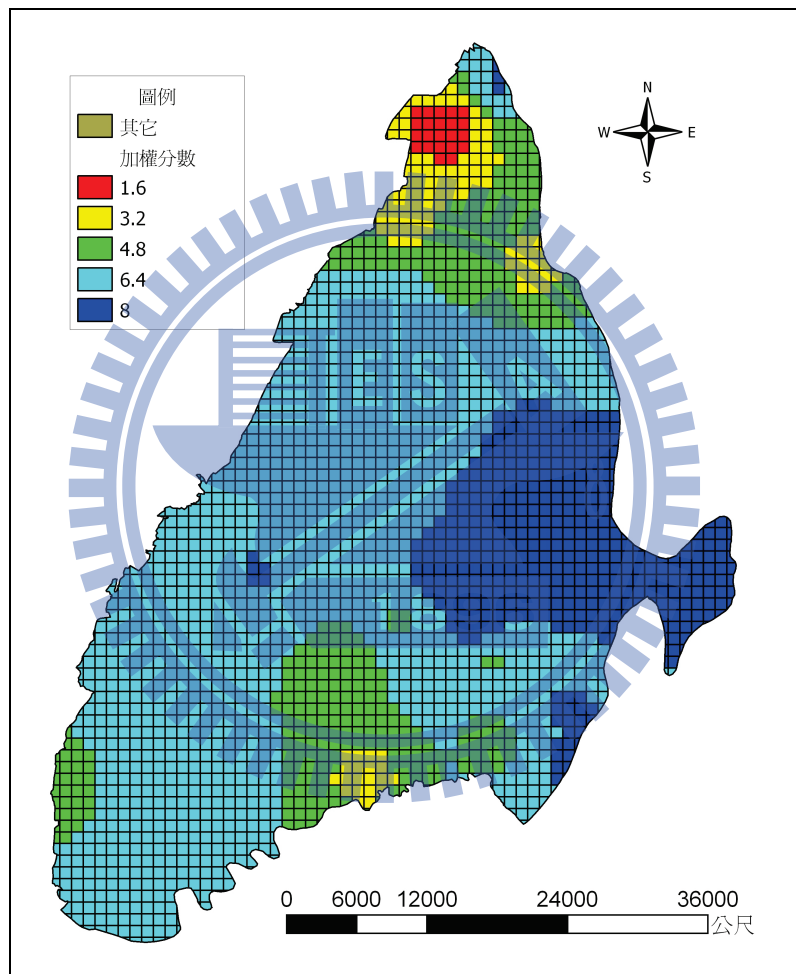


圖 4.3-3、加權後降雨與地下水位變化相關性潛勢分數分布圖

4.3.4 平均年降雨量

圖 4.3-4 是以距離倒數平方法內插出 1 公里見方網格中心座標之 1993~2008 平均年雨量值後，再依照表 3.4-2 分類後再搭配表 3.4-1 以補注潛勢因子間權重加權計算所得。由第 3.1.2 節之平均降雨量等值圖可知靠近扇頂海拔較高處雨量豐沛，降雨量由東往西遞減，因此本因子影響地下水補注潛勢之分數亦是由東往西遞減。

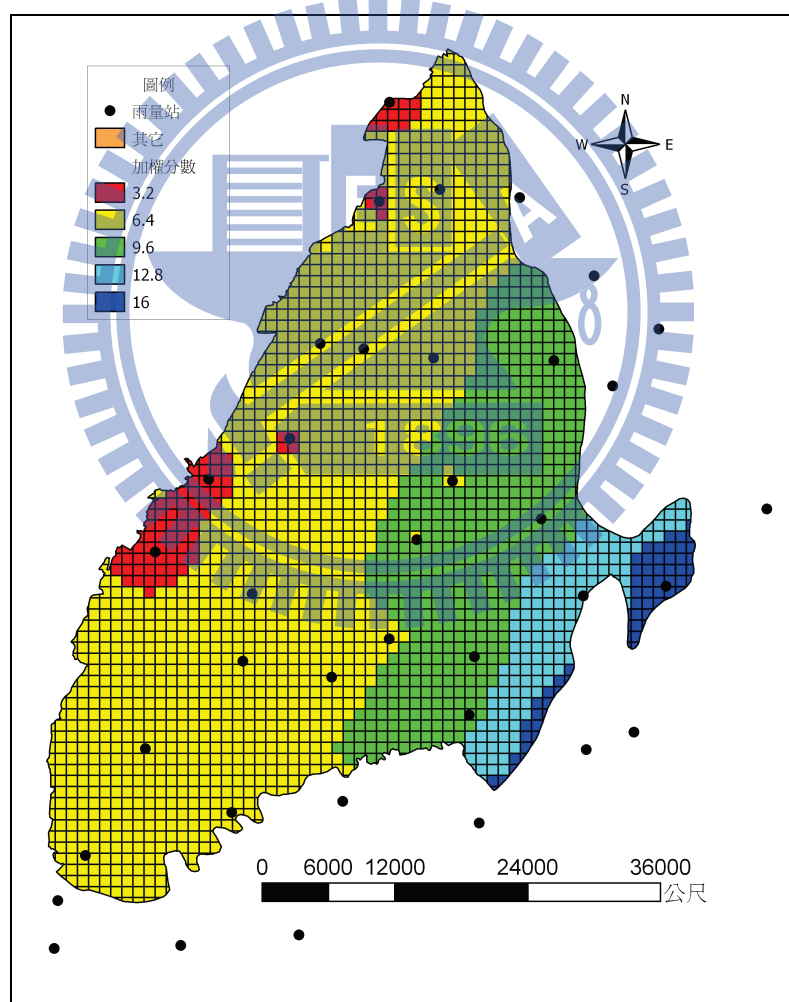


圖 4.3-4、1993~2008 年加權後平均年降雨量潛勢分數分布圖

4.3.5 單位蓄水量變化

圖 4.3-5 是以距離倒數平方法將點位之單位蓄水量變化資料內插出 1 公里見方網格中心座標之蓄水量變化後，再依照表 3.4-2 分類後再搭配表 3.4-1 以補注潛勢因子間權重加權計算所得。發現右下角靠近斗六丘陵處降雨量大且降雨與地下水位變化相關性高，因此蓄水量變化較大。

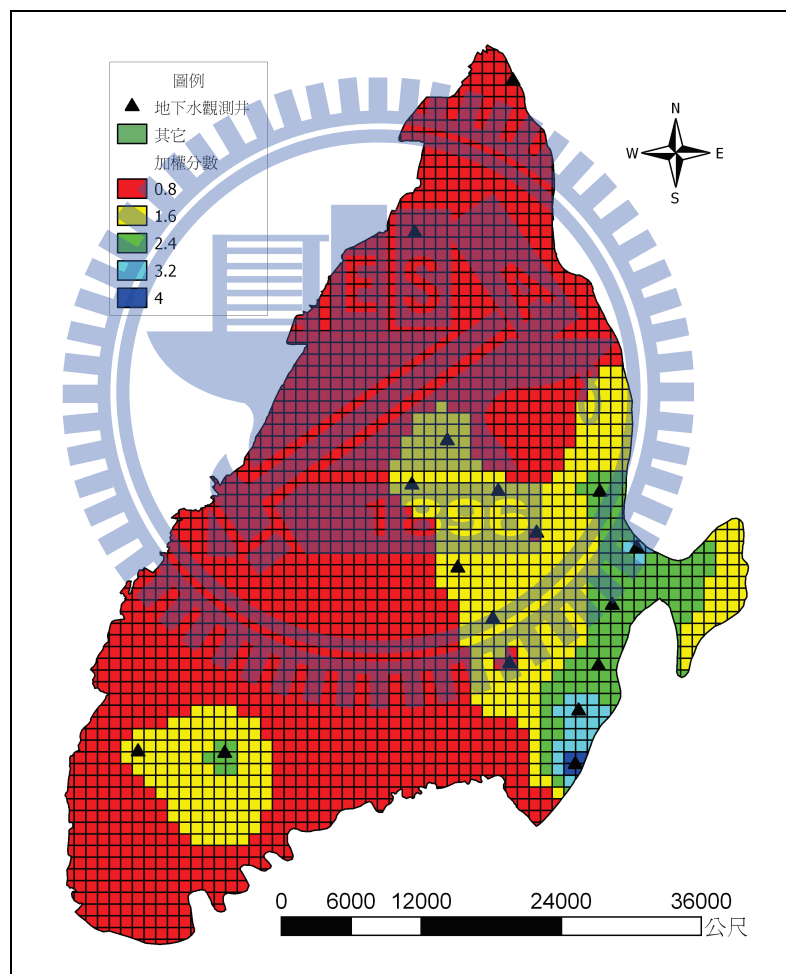


圖 4.3-5、加權後單位蓄水量變化潛勢分數分布圖

4.3.6 透水係數

圖 4.3-6 是以距離倒數平方法內插出 1 公里見方網格中心座標之含水層一(F1)透水係數後，再依照表 3.4-2 分類給分後，再搭配表 3.4-1 以補注潛勢因子間權重加權計算所得的透水係數潛勢分數分布圖。由圖 4.3-7 可知扇頂區域之透水係數相對較大。

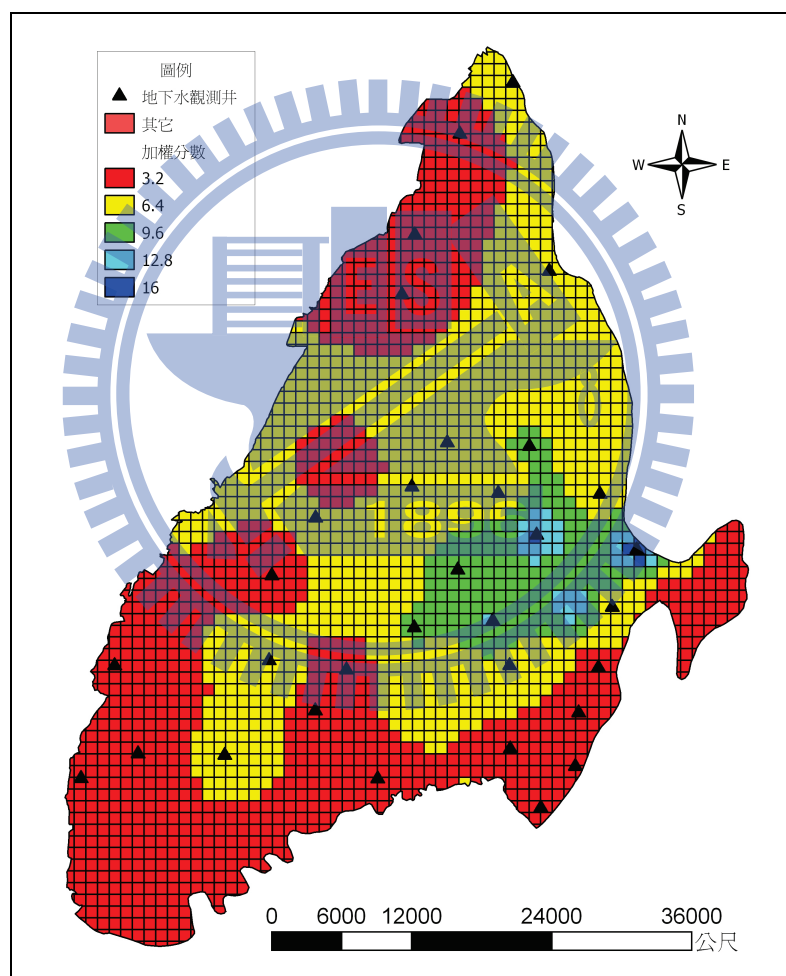


圖 4.3-6、濁水溪沖積扇含水層一加權後透水係數潛勢分數分布圖

4.3.7 河系密度

圖 4.3-7 是以 SuperGIS 計算單位網格內河系之總長度，依照表 3.4-2 分類給分後，再搭配表 3.4-1 以補注潛勢因子間權重加權計算所得。

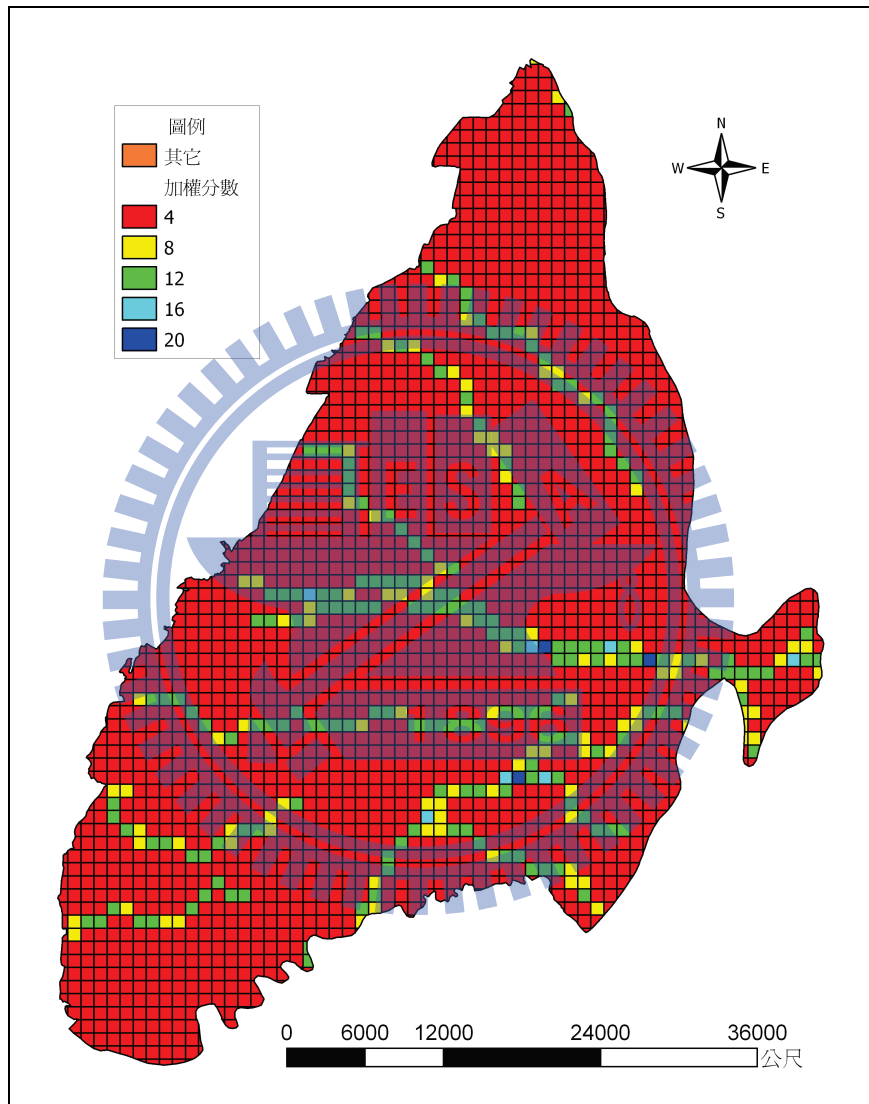


圖 4.3-7、加權後河系密度潛勢分數分布圖

4.4 補注潛勢評估

在前述 4.3 節完成濁水溪沖積扇各補注潛勢因子之分數計算，並且將各因子分數分別根據因子間權重百分比加權，最後加總即可得到整個區域內各網格之補注潛勢總分，再搭配表 4.4-1 對各網格進行補注潛勢總分分級，分級成果如圖 4.4-1 所示。將圖 4.4-1 套疊鄉鎮邊界圖後，由圖 4.4-2 可看出 50 分以上中高補注潛勢分布的鄉鎮有彰化縣的社頭鄉、田中鎮、二水鄉、北斗鎮、溪州鄉、和雲林縣的莿桐鄉、林內鄉、斗六市、西螺鎮、古坑鄉以及南投縣的竹山鎮、名間鄉等地區。

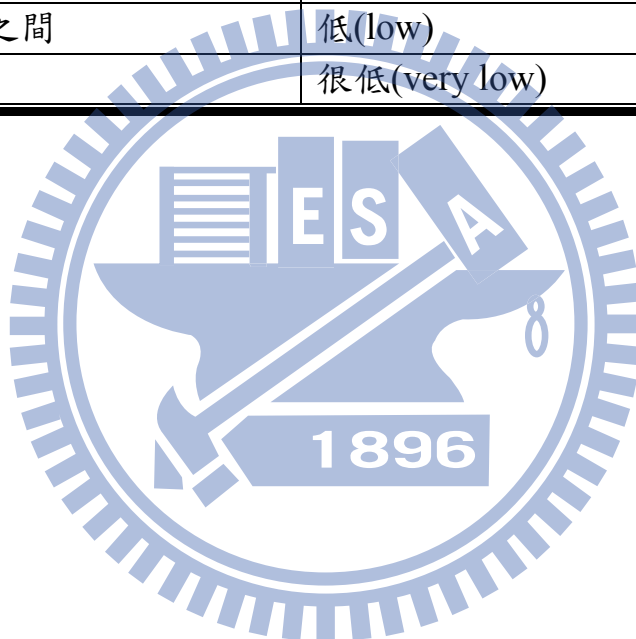
本研究將補注潛勢總分 50 分以上的網格劃分出來，即可概略推估補注區界線。圖 4.4-3 為本研究以 50 分以上為補注區界線與工研院資料推斷之界線對比圖，黃線為本研究推估之補注區界線，綠線為以工研院(1996)地電阻測深法及觀測井資料所推測之補注區界線，由圖可發現兩界線相當接近。

本研究推估之補注區約涵蓋 500 個網格(面積約 500 平方公里)，大致占濁水溪沖積扇面積之 23%，而以工研院資料推估之補注區約涵蓋 450 個網格(面積約 450 平方公里)，大致占濁水溪沖積扇面積之 21%，。圖 4.4-4 為兩者補注區範圍對比圖，由圖可看出本研究涵蓋範圍在上方較廣而下方較狹小。主要差異為本研究上方有涵蓋到社頭鄉，但工研院並無；工研院下方涵蓋了虎尾鎮二分之一、斗南鎮二分之一以及古坑鄉三分之二，而本

研究涵蓋虎尾鎮三分之一、斗南鎮六分之一以及完整涵蓋古坑鄉。雖然兩者有些許差異，但整體來說相當接近，故驗證了本研究方法之可行性。

表 4.4-1、地下水補注潛勢分數分級表

地下水補注潛勢分數	分級
大於 80	很高(very high)
介於 70 到 80 之間	高(high)
介於 60 到 70 之間	中高(high moderate)
介於 50 到 60 之間	中(moderate)
介於 40 到 50 之間	中低(low moderate)
介於 30 到 40 之間	低(low)
小於 30	很低(very low)



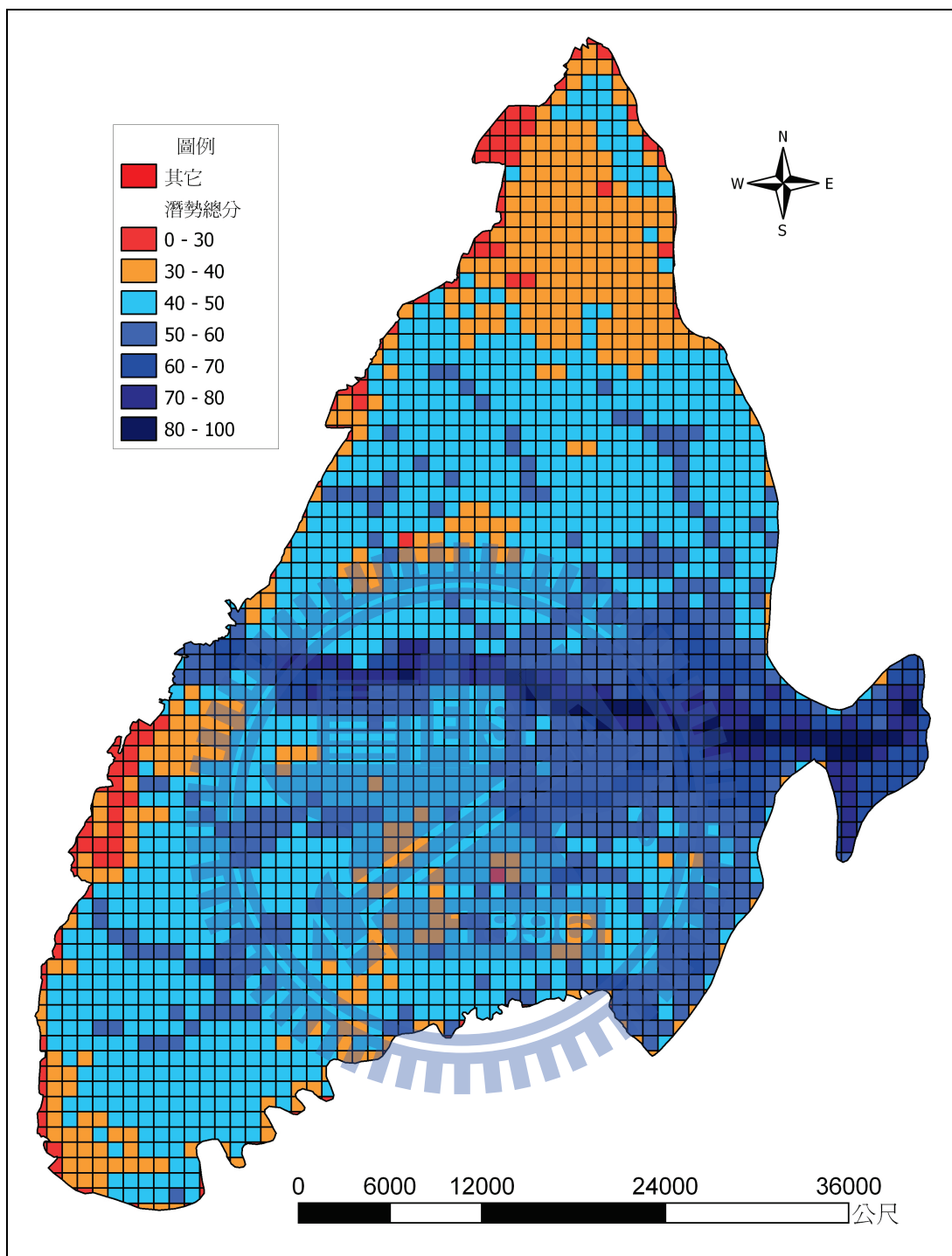


圖 4.4-1、地下水補注潛勢總分分級圖

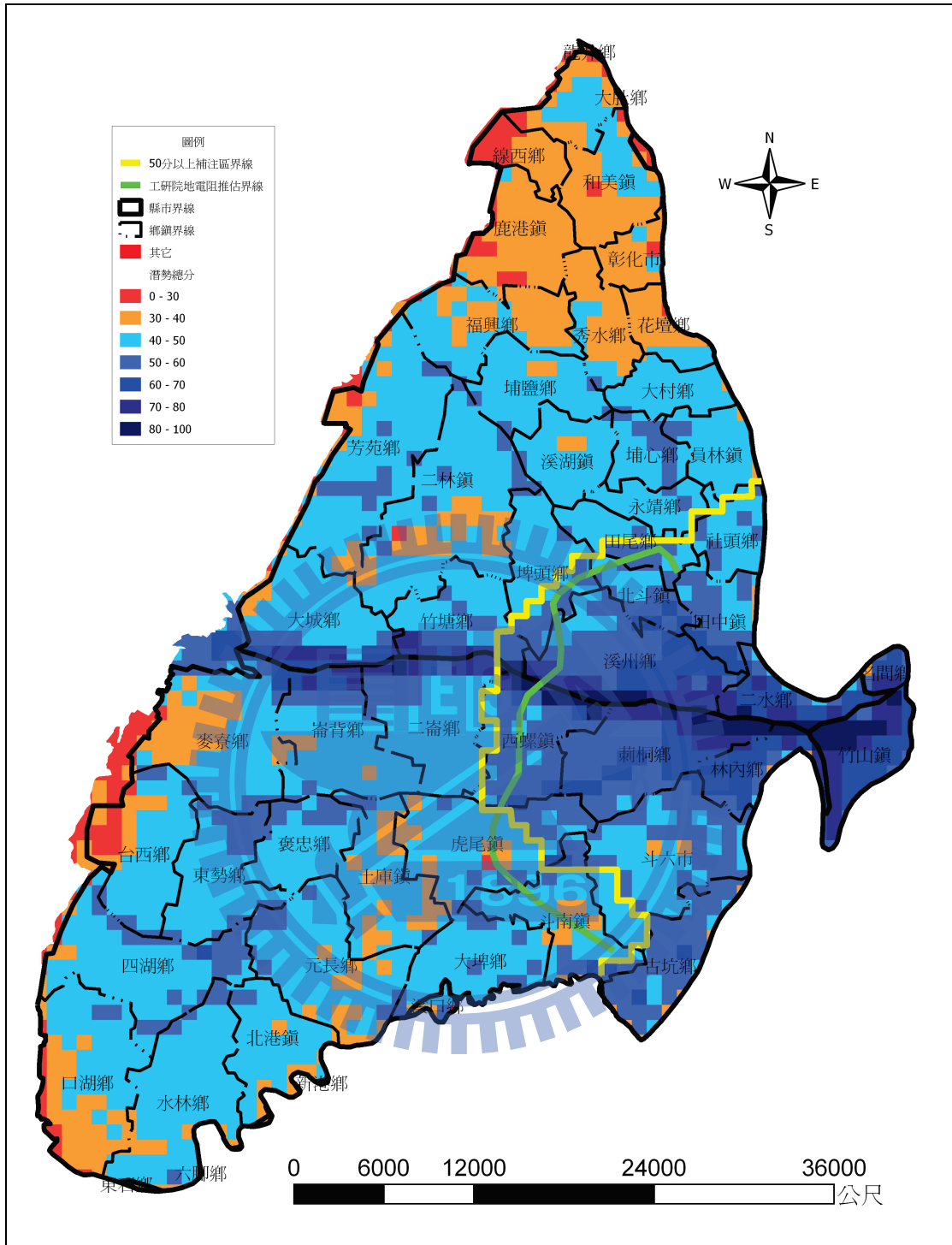


圖 4.4-3、50 分以上補注區界線與地電阻探測法研判之界線對比圖

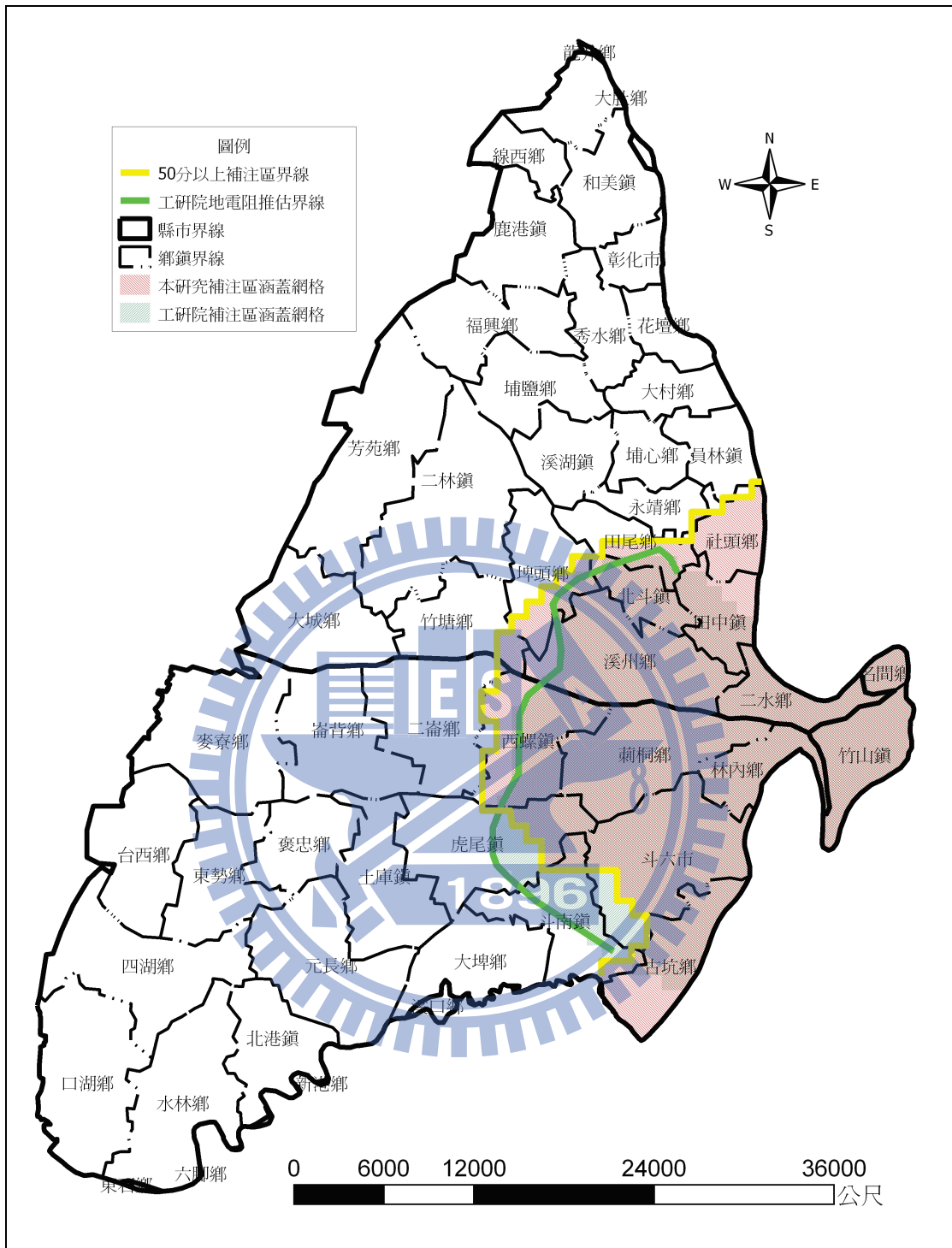


圖 4.4-4、本研究與地電阻探測法研判之補注區範圍對比圖

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 本研究整合 DRASTIC 之因子分析方法以及 Shaban 等人之因子間因果關係分析方式，再以地理資訊系統(GIS)為圖層處理平台，發展出一系統化的地下水補注潛勢分析流程，並將其應用於濁水溪沖積扇補注潛勢評估。
2. 本研究目前針對濁水溪沖積扇考量之地下水補注潛勢因子有「土地利用」、「表層土壤種類」、「降雨與地下水位變化相關性」、「平均年降雨量」、「單位蓄水量變化」、「透水係數」以及「河系密度」等七項補注潛勢因子。
3. 分析結果顯示「降雨與地下水位變化相關性」、「平均年降雨量」、「單位蓄水量變化」、「透水係數」等因子圖層皆反應出高補注區位於扇頂區域，並且有由扇頂向扇尾遞減之趨勢。
4. 在同樣補注水量之下，非受壓含水層由於土層蓄水能力較受壓含水層高，即比出水量大於儲水係數，前者之水位變化將較後者小，因此為反映系統所受外來補注量的大小，本研究以「單位蓄水量變化」代表之，分析結果發現其值較高者位於扇頂區域以及斗六丘陵地帶。
5. 若以補注潛勢總分 50 分為界，推估濁水溪沖積扇扇頂補注區之範圍，高補注潛勢區域大致分布在彰化縣社頭、田中、溪州、二水，雲林縣

荊桐、林內及南投縣竹山等鄉鎮，與工研院能源與資源研究所於 1996 年以地電阻測深法及觀測井資料所推測之補注區界線結果趨勢接近，此驗證了本研究方法之可行性。

6. 由水文地質剖面可繪出濁水溪沖積扇含水層之概念分層，並可看出濁水溪沖積扇高程由東到西遞減。在東邊扇頂區大多為非受壓含水層較容易受到補注，且可直接補注至各含水層。由水流系統圖可看出第一層含水層主要補注來源有雨水、河水以及區外地下水補注量(八卦山、斗六丘陵伏流水之補注量)，再配合地層架構可判斷出補注區大致分布在上游扇頂非受壓含水層區域。本研究成果可與前述推論呼應，顯示了扇頂補注區之重要性、劃分之必要性以及本研究方法之可行性。

5.2 建議

1. 本研究前述潛勢評估分析中，各因子權重的計算雖已有相當清楚的邏輯，惟其過程中仍不免有部份經驗的判斷，例如：地下水補注潛勢影響因子因果關係圖的劃定，因此本研究建議後續可採用其它可能反應補注效果如硝酸鹽濃度(江崇榮等，2002)，或影響補注大小的物理量如地電阻值等之空間分佈作為補注潛勢因子間權重調整之參考。
2. 本研究各補注潛勢因子細部分類亦有主觀依據該分類對補注潛勢影響程度給定 0~100 分，大致為等間距的給分方式，精度不免有些不足。為改善其精度，建議後續可針對各因子細部分類對補注潛勢影響程度做更深入的研究，並加以量化，以作為評分之依據。

參考文獻

1. Bou Kheir R., A. Shaban, M-C. Girard, M. Khawlie, and C. Abdallah, "Caract´erisation morpho-p´edologique des zones karstiques du Libansensibilit´e des sols `a l´erosion hydrique", *S´echeresse* 14:4, 2003.
2. Bromley, J., W. M. Edmunds, E. Fellman, J. Brouwer, S. R. Gaze, J. Sudlow, and J. D. Taupin, "Estimation of rainfall inputs and direct recharge to the deep unsaturated zone of southern Niger using the chloride profile method", *Journal of Hydrology*, Vol. 188-189, P.139-154, 1997.
3. Braun, Gary M., Norman S. Levine, Sheila J. Roberts and Arthur N. Samel, "A Geographic Information Systems Methodology for the Identification of Groundwater Recharge Areas in Waukesha County, Wisconsin", *Environmental and Engineering Geoscience*; v. 9; no. 3; p. 267-278, August 2003.
4. Bhuiyan, C., Ramesh P. Singh, W. A. Flugel, "Modelling of ground water recharge-potential in the hard-rock Aravalli terrain India a GIS approach", *Environ Earth Sci* 59:929-938, 2009.
5. Edet, A. E., C. S. Okereke, S. C. Teme, and E. O. Esu, "Application of remotesensing data to groundwater exploration: a case study of the Cross River State, southeastern Nigeria", *Hydrogeology Journal*, 6(3): 394-404, 1998.
6. Greenbaum, D., "Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith", *British Geological Survey Report OD 85(8):36*, 1985.
7. Jaiswal, R. K., S. Mukherjee, J. Krishnamurthy, and R. Saxena, "Role of remote sensing and GIS techniques for generation of groundwater prospect zones towards rural development-an approach", *International Journal of Remote Sensing*, 24(5): 993-1008, 2003.
8. Jasrotia, A.S., R. Kumar, A. K. Saraf, "Delineation of groundwater recharge sites using integrated remote sensing and GIS in Jammu district, India", *International Journal of Remote Sensing*, Volume 28 , Issue 22 , Pages 5019-5036, November 2007.
9. Krishnamurthy, J., N. Venkatesa Kumar, V. Jayaraman, and M. Manivel, "An approach to demarcate groundwater potential zones through remote sensing and geographic information system", *International Journal of Remote Sensing*, 17: 1867-1884, 1996.
10. Lebec, C., G. Favreau, and P. Schroeter, "Long-term rise in a Sahelian water table: the Continental Terminal in southwest Niger", *Journal of Hydrology*, Vol. 243, P.43-54, 2001.
11. Murthy, K. S. R., "Groundwater potential in a semi-arid region of Andhra Pradesh-a geographical information system approach", *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1867-1884, 2000.
12. Mondal, N. C. and V. S. Singh, "A new approach to delineate the

- groundwater recharge zone in hard rock terrain”, *Current Science*, Vol. 87, 5, 10, 2004.
13. Mukherjee, S., “Targeting saline aquifer by remote sensing and geophysical methods in a part of Hamirpur-Kanpur, India”, *Hydrology Journal*, 19, 53-64, 1996.
 14. National Water Well Association, “DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings”, USEPA, May 1985.
 15. Shahid, S., S. K. Nath, and J. Roy, “Groundwater potential modeling in a soft rock area using a GIS”, *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1919-1924, 2000.
 16. Shaban, A., M. Khawlie, R. Bou Kheir, C. A., “Assessment of road instability along a typical mountainous road using GIS and aerial photos, Lebanon – eastern Mediterranean”, *Bull Eng Geol Env*, 60:93-101, 2001.
 17. Sener, E., A. Davraz, and M. Ozcelik, “An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: A case study in Burdur, Turkey”, *Hydrogeology Journal*, 13: 826-834, 2005.
 18. Shaban, A., M. Khawlie, and C. Abdallah, “Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone: the case of Occidental Lebanon”, *Hydrogeology Journal*, 14: 433-443, 2006.
 19. Yeh, H.F., Lee, C.H., Hsu, K.C., and Chang, P.H., “GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone”, *Environ. Geol.*, Vol. 58, 185-195, 2008.
 20. Kang-Tsung Chang, INTRODUCTION TO GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, McGraw-Hill Companies, 2008.
 21. 田巧玲、張炎銘、林維侃、蔡明坤,「濁水溪沖積扇之地下水水文概況」, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集, 第 207–221 頁, 1996。
 22. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥,「屏東平原之地下水補注區」, 經濟部中央地質調查所彙刊, 7-47 頁, 2002。
 23. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥,「屏東平原地下水補注量及抽水量之評估」, 經濟部中央地質調查所彙刊, 21-51 頁, 2004。
 24. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥、費立沅,「屏東平原地下水補注量及抽水量評估」, 經濟部中央地質調查所彙刊, 第十七號, 第 21-51 頁, 2005。
 25. 江崇榮、陳瑞娥、賴慈華、黃智昭,「濁水溪沖積扇地下水區之補注區與補注源探討」, 經濟部中央地質調查所彙刊, 第十八號, 第 1-28 頁, 2005。
 26. 江崇榮、黃智昭、陳瑞娥,「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第十九號, 第 61-90 頁, 2006。
 27. 林俊男、賈儀平,「濁水溪沖積扇地下水補助區之劃定及保育原則之研討」, 經濟部水資源局, 2000。
 28. 陳文福、林文勝、張國強、秦啟文、蔡克敏,「彰雲地下水補注區之溶氧與硝酸鹽氮濃度」, 經濟部中央地質調查所彙刊第十六號, 第 125-139

- 頁，2003。
29. 陳文福、呂學諭，「沖積扇補注區地下水之硝酸鹽污染」，經濟部中央地質調查所彙刊，第 22 號，2009。
 30. 劉振宇、李天浩、林國峰、蘇明道，「濁水溪沖積扇扇央與扇尾平原地區地表垂向補注量評估」，經濟部水資源局，69P，1998。
 31. 歐國隆、張良正、單信瑜，「濁水溪沖積扇及屏東平原之地下水污染潛勢評估分析」，八十八年度農業工程研討會，pp.369- 376，1999。
 32. 經濟部中央地質調查所，濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告，共 102 頁，1995。
 33. 經濟部中央地質調查所，濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告，共 129 頁，1999。
 34. 經濟部中央地質調查所，臺灣地區地下水觀測網第一期計畫屏東平原水文地質調查研究總報告，2002。
 35. 經濟部水資源局，台灣地區地下水觀測網第一期計畫—濁水溪沖積扇地下水觀測井建置及相關試驗八十五、八十六年度報告，1996、1997。
 36. 經濟部水資源局，台灣地區地下水觀測網第一期計畫濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告，1999。
 37. 農業工程研究中心，96 年度台灣地區地下水質檢測分析與評估計畫，經濟部水利署出版，2007。
 38. 經濟部水利署水利規劃試驗所，知本溪、金崙河流域地下水資源調查評估總報告，2009。
 39. 環保署全國環境水質監測網，<http://wqshow.epa.gov.tw/>，2009。
 40. 朱子豪，「美國民間 GIS 發展動態」，國土資訊系統通訊，第十三期，1995。
 41. 朱子豪，「大陸 GIS 發展現況」，國土資訊系統通訊，第十四期，1995。
 42. 黃永忠，「導入 OpenGIS 模組實例研究-以自由軟體架構地政地籍資料」，朝陽科技大學資訊管理系碩士論文，2003。
 43. 陳柏帆，「地理資訊系統土石流潛勢判定方法」，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文，2006。
 44. 黃靖柏，「運用地理資訊系統結合邏輯斯迴歸進行崩塌潛勢之評估研究」，逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士論文 2008。
 45. 戴君翰，「Web-GIS/RS 科技應用於台灣南投坡地社區環境潛勢災害風險評估模式之建置」，國立屏東科技大學土木工程系碩士論文，2006。
 46. 張伯勳，「流域地下水補注量與補注潛能區之評估」，國立成功大學資源工程系碩士論文，2007。
 47. 郭瑋萍，「知本地區溫泉資源調查分析之研究」，國立成功大學資源工程系碩士論文，2007。
 48. 葉信富，「流域地下水資源調查分析與案例研究」，國立成功大學資源工

- 程系碩士論文，2008。
49. 陳建富，「GPS/GIS/RS 應用於台灣山地社區環境潛勢災害風險評估模式之建置」，國立屏東科技大學土木工程系碩士論文，2004。
 50. 王敦儀，「應用 GIS 於台灣地區土壤沖蝕潛勢之研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文，2001。
 51. 楊子群，「GIS 應用於暴潮期間台灣沿岸溢淹潛勢之研究」，國立臺灣海洋大學海洋環境資訊學系碩士論文，2008。
 52. 侯春帆，「應用 GIS 及 SPOT 衛星影像於河川流域崩塌地潛勢評估研究-以陳有蘭溪為例」，朝陽科技大學營建工程系碩士論文，2005。
 53. 工研院能源與資源研究所，濁水溪沖積扇地球物理探測及地層對比，台灣地區地下水觀測網第一期計畫，水文地質調查研究及建檔，八十五年年度報告，經濟部中央地質調查所，1996。
 54. 國立台灣大學水工試驗所，地下水補助機制水力特性調查分析先驅研究，經濟部水利署，2009。
 55. 國立交通大學土木工程系，臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估—地下水補注潛勢評估與地下水模式建置(1/4)，經濟部中央地質調查所，2009。
 56. 蔡博文、許巖璨，新一代地理資訊系統 ArcView 8.x 剖析，崧旭資訊股份有限公司，2002。
 57. 蔡博文、丁志堅，新一代地理資訊系統 ArcView 9.x 剖析，仲琦科技股份有限公司，2007。
 58. 吳瑞賢，工程水文學，科技圖書股份有限公司，2001。

附錄 A 地理資訊系統簡介

地理資訊系統(Geographic Information System, 簡稱GIS)狹義來說是電腦系統(Computer System), 但廣義來說資訊系統(Information System)並不一定要建置在計算機上。例如早期圖書館的圖書查詢櫃, 可以按照編目卡或作者卡來查詢書籍。

地理資訊系統(GIS)和資訊系統(Information System)主要的功能都包含了取得(Capturing)、儲存(Storing)、搜尋(Querying)、分析(Analyzing)以及展示(Displaying)的功能。而GIS的數據(Geographically Referenced Data)包含了位置(Location)和屬性(Characteristic), 所以地理資訊系統可以對空間進行分析, 這和其他單純的資訊系統是不同的。本節將對地理資訊系統的發展、地理資訊系統的桌上型軟體、以及本研究圖層資料標準化進行詳細的說明。

• 2.2.1 地理資訊系統發展史

地理資訊系統的存在與發展已歷經30餘年。用戶的需要、技術的進步、應用方法論的提高, 以及有關組織機構的建立等因素, 深深地影響著地理資訊系統的發展。綜觀GIS發展, 尤其是北美地區的實際情況, 大致可將地理資訊系統發展分為以下四個階段:

第一階段:

60年代為地理資訊系統開拓期, 注重於空間資料的地學處理。例如,

處理人口統計局資料（如美國人口調查局建立的DIME）、資源普查資料（如加拿大統計局的GRDSR）等。許多大學研製了一些基於柵格系統的套裝軟體，如哈佛的SYMAP、馬里蘭大學的MANS等。綜合來看，初期地理資訊系統發展的動力來自於諸多方面，如學術探討、新技術的應用、大量空間資料處理的生產需求等。對於這個時期地理資訊系統的發展來說，專家的興趣以及政府的推動起著積極的引導作用，並且大多地理資訊系統工作限於政府及大學的範疇，國際交往甚少。

第二階段：

70年代為地理資訊系統的鞏固發展期，注重於空間地理資訊的管理。地理資訊系統的真正發展應是70年代的事情。這種發展應歸結於以下三方面的原因：其一，是資源開發利用乃至環境保護問題成為政府首要解決之疑難，而這些都需要一種能有效地分析、處理空間資訊的技術、方法與系統。其二，是電腦技術迅速發展，資料處理加快，記憶體容量增大，超小型、多用戶系統的出現，尤其是電腦硬體價格下降，使得政府部門、學校以及科學研究機構、私營公司也能夠配置電腦系統；在軟體方面，第一套利用關聯資料庫管理系統的軟體問世，新型的地理資訊系統軟體不斷出現，據IGU調查，70年代就有80多個地理資訊系統軟體。其三，是專業化人才不斷增加，許多大學開始提供地理資訊系統培訓，一些商業性的諮詢服務公司開始從事地理資訊系統工作，如美國環境系統研究所（ESRI）成

立於1969年。這個時期地理資訊系統發展的總體特點是地理資訊系統在繼承60年代技術基礎之上，充分利用了新的電腦技術，但系統的資料分析能力仍然很弱；在地理資訊系統技術方面未有新的突破；系統的應用與開發多限於某個機構；專家個人的影響削弱，而政府影響增強。

第三階段：

80年代為地理資訊系統大發展時期，注重於空間決策支援分析。地理資訊系統的應用領域迅速擴大，從資源管理、環境規劃到應急反應，從商業服務區域劃分到政治選舉分區等，涉及到了許多的學科與領域，如古人類學、景觀生態規劃、森林管理、土木工程以及電腦科學等。許多國家制定了本國的地理資訊發展規劃，啟動了若干科學研究項目，建立了一些政府性、學術性機構。如中國於1985年成立了資源與環境資訊系統國家重點實驗室，美國於1987年成立了國家地理資訊與分析中心（NCGIA），英國於1987年成立了地理資訊協會。同時，商業性的諮詢公司，軟體製造商大量湧現，並提供系列專業性服務。這個時期地理資訊系統發展最顯著的特點是商業化實用系統進入市場。

第四階段：

90年代為地理資訊系統的用戶時代。一方面，地理資訊系統已成為許多機構必備的工作系統，尤其是政府決策部門在一定程度上由於受地理資訊系統影響而改變了現有機構的運行方式、設置與工作計畫等。另一方

面，社會對地理資訊系統認識普遍提高，需求大幅度增加，從而導致地理資訊系統應用的擴大與深化。國家級乃至全球性的地理資訊系統已成為公眾關注的問題，例如1993年9月美國政府宣布實施一項名為「國家資訊基礎設施(National Information Infrastructure, 簡稱NII)」的高科技計畫，目的是以網際網路為雛型，興建資訊時代的「資訊高速公路」，使所有美國人方便共享資訊資源。以及1998年1月美國前副總統戈爾在加利福尼亞科學中心發表名為「數字地球」的演說，提出一個與地理資訊系統、網路、虛擬實境等高科技密切相關的概念，均是將地理資訊系統活用的案例。毫無疑問，地理資訊系統將發展成為現代社會最基本的服務系統。

- **桌上型地理資訊系統軟體**

回顧各國GIS發展的歷史來看，美國ESRI (Environmental Systems Research Institute) 公司於發展初期，主要以承包專案的方式經營，至1980年代初期推出Arc/Info為獨立作業的GIS軟體系統，再加上原本GIS技術就較成熟的環境，以及相關的數值資料都屬於公共財，全民免費使用，大大降低了民間GIS公司的軟體開發成本，也促使民間公司提高了研究開發的意願。(朱子豪，1995)

加拿大的GIS的發展亦可以溯及至1960年代，以公部門為主要研發中心，再加上相關公部門生產的數值資訊，並非免費使用，提高了民間GIS公司開發的成本，因此民間GIS公司的發展並不如美國民間公司發展的熱

絡。

中國大陸的GIS發展主要開啟於1970年代末期，剛開始的研發主要亦是以公部門來主導，參與的人士多為地圖測繪與及空間分析領域的人。雖然中國大陸的起步似乎較歐美國家慢，但是直至今日，他們所研發的GIS軟體已超過10套以上，應用模式與分析工具的建置更是多不甚數，R&D(技術開發)的人數更是上百人之多，舉辦過多場的國際性的學術交流會議，對GIS的專研可說是投注相當多的心力。但是由於中國大陸的行政資源環境有許多門戶之見，因此在資源相互交流上面臨較大的瓶頸，以民間為主的GIS公司更是少，目前主要有SuperMap、MapGIS與GeoStar等，多為政府單位輔導之民間公司（朱子豪，1995）。

再者，隨著電腦硬體處理能力的提昇，軟體使用者介面、物件導向分析與設計，以及網際網路的興起，GIS的需求量大增，在供不應求的情形下，相關資訊業者、廠商紛紛加入GIS供應的大市場。也由於有太多家不同的廠商，造成所研發出來的軟體彼此相異，資料無法相容，因此，常常必須耗費相當大的成本做資料轉換的動作。據統計美國政府花費在資料轉換的成本，一年就必須花上40億美元，在每一個GIS專案中，就有65%~85%人力、時間與費用花費在資料轉換上。因此，開始興起了Open GIS開放式地理資訊系統的時代，希望提供一套具有開放介面規範的通用元件，開發者根據這些規範開發出互動式元件，這些元件可以實現不同種類

地理資料和地理處理方法間的相互合作（黃永忠，2003）。

反觀台灣在GIS上的發展，開啟於1970年代，剛開始主要由政府單位所主導，大多從事專案執行的工作，近幾年來，政府單位開始將所有相關的資訊，配合較先進的技術與制度化的管理，推出國土資訊系統的系列計畫，政府單位在推動GIS的工作上不遺餘力，而在民間第一套GIS軟體則是崧旭開發的SuperGIS。以下將針對ArcGIS以及SuperGIS做簡介。

(1) 美國ESRI的ArcGIS軟體

ArcGIS軟體是從Arc/INFO發展而來的，它的發展歷史實際上也就是ESRI公司的發展歷史。美國環境系統研究所（Environmental Systems Research Institute Inc，簡稱ESRI）創建於1969年，總部位於加州的Redlands。公司最初是為企業創建和分析地理資訊進行諮詢工作的。20世紀80年代，ESRI致力於發展和應用一套可運行在電腦環境中的，用來創建地理資訊系統的核心開發工具，這就是今天眾人所知的地理資訊系統（GIS）技術。

今天，ESRI的GIS產品在高速增長中依然保持著平衡。電腦技術的革新使得複雜的GIS操作可以在野外個人數位助理（PDA），桌面乃至整個企業級層面上完成。更快速、更廉價的電腦、網路操作技術、電子資料出版和更易學易用工具的飛速出現，使得個人商業用戶也可以將GIS技術引入其工作中作為決策工具。

(2) 台灣崧旭的SuperGIS軟體

崧旭總經理王能超先生研發出一系列名為「SuperGeo GIS Software Family」的GIS軟體。從行動式的GIS、網際網路的GIS、GIS軟體元件的開發、直至個人電腦上之GIS 都包含在這一系列的研發中。

SuperGIS是第一套由國人自行研發出來的桌上型地理資訊系統，不但具有涵蓋市面所見GIS軟體的功能外，更具有適用於國人的地圖繪製與分析功能。SuperGIS還符合Open GIS協會的標準規格，使產品能與世界接軌。

本研究圖層處理使用之GIS軟體為ArcGIS 8.x、ArcView 3.x與SuperGIS互相搭配使用，相輔相成。

• 圖層資料標準化

由於蒐集完成的空間資料以及圖資，其資料格式或座標系統不同等問題，會造成資料運用上的阻礙，故須將資料經過標準化處理才能匯入本研究資料庫。資料標準化的項目包括統一圖資命名、欄位名稱與儲存格式、資料座標系統等項目：

(1) 圖資名稱命名

由於資料庫資料量將日益龐大，如何能快速明瞭各圖資之內容與來源，除了需要詮釋資料（Metadata）的輔助說明外，圖資名稱之命名就顯得相當重要。為了能讓使用者快速了解各圖資之內容與來源，可透過統一

的編碼系統進行的圖資命名方式，讓每一個使用者能夠很快速地掌握，且效果較佳。而圖資名稱命名規則，則依業務單位需求編定處理。

(2) 欄位名稱與儲存格式

有鑒於圖資產出單位不同，對於記錄同一資料內容所使用的欄位名稱與儲存格式，亦會因此而不同，造成後續資料沿用的困難，且欄位名稱若以中文儲存，在資料格式轉換過程中常常會產生亂碼而無法辨識。例如本研究最早取得之土地利用圖層資料格式為*.e00，轉檔為*.shp後，許多中文說明文字均產生亂碼。而之後直接取得最新之土地利用圖層資料為*.shp格式，故無轉檔的問題。

故圖資的欄位名稱與儲存格式須於資料標準化時一併處理，使資料的流通更為順暢，透過一致性的英文命名方式可提高對資料的理解度與整合性。

(3) 資料座標系統

座標系統就是一套說明某一物件之地理位置座標的參數，即是顯示出地形地物所在的相對位置。圖資的座標系統不一致，會阻礙對圖資資料之使用，故須統一圖資座標系統。

目前台灣主要的通用座標系統為TWD 67 (Taiwan Datum67) 座標系統，但內政部於民國八十六年也參考橢球體GRS 80公佈另一個新的台灣大地基準TWD 97 (TaiWan Datum97) 座標系統。

以後續整體發展趨勢而言，座標系統應選擇TWD 97座標系統，但由於本研究所建置的資料皆以TWD 67座標系統為主，為避免日後資料流通造成困擾或阻礙，建議圖資資料仍以TWD 67座標系統為主。

本研究在土地利用圖層資料所申請到的圖層正是TWD 97的圖層，故需要將之轉為TWD 67的座標系統。

