



地下水水文地質與補注模式研究 -補注區劃設與資源量評估(1/4)

地球化學補充調查



委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：嘉南藥理科技大學
中華民國一〇二年十二月



地下水水文地質與補注模式研究 補注區劃設與資源量評估(1/4)

Hydro-geological investigation and groundwater recharge model
simulations: Recharge areas delineation and groundwater resources
assessment (1/4)

地球化學補充調查 Geochemical Investigation

子計畫主持人：陳文福 副教授

子計畫執行單位：嘉南藥理科技大學

研究人員：王書斌

摘要

地質法實施後，主管機關須配合地質敏感區的劃設，需劃設補注區為地下水敏感區，為了配合補注區劃定的精度，本項工作補調查補注區的水質與水溫，探討水質補注與流動之地化背景，瞭解補注區的地下水來源、地化特性、時空之演變及其機制，以提供地下水水質保護區劃定的重要參考。本年度於蘭陽平原地下水區完成雨水 2 個、地面水 10 個及地下水 40 個調查點的水質分析（項目：溫度、導電度、溶氧、硝酸鹽等 17 項）。

地面水與地下水水質採樣與分析之溶氧及硝酸鹽：蘭陽平原地下水溶氧大於 0.5 mg/l 的井大都分布在扇頂，溪水中的溶氧都很高達 7-9 mg/l，表示溪水並無汙染。本區地下水的硝酸鹽氮濃度都不高，推測從山區來的水源硝酸鹽濃度並不高。扇頂補注區的範圍，若以溶氧大於 0.5 mg/l 為依據，則不含大洲站，該站雖有厚的礫石層，但其溶氧及硝酸鹽氮都明顯偏低。

導電度：蘭陽平原地下水第 1-1 含水層的導電度分布，受到側邊山區來的水源影響很大，沿山區的觀測井地下水導電度都低於 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，同時山區溪水的導電度也較低，約在 150~250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，反應出靠山邊的地下水應來自山區的小溪，而蘭陽溪溪水的補注僅限於中間部分。

主要離子濃度：可將地面水及地下水分三類：碳酸氫鈣、碳酸氫鈉、氯化鈉。地面水、補注區及鄰近補注區的井都屬於碳酸氫鈣，例如：岳明、冬山一二、順安、大隱一二、三星、大洲一二、中興一二三、內城、同樂等。較深層及位於較下游的井屬於碳酸氫鈉，例如：龍德二三四、五結一二三四、中興四、壯圍一二三、古亭一等。靠海邊有三口井受到海水的混入，以氯化鈉為主：公館、古亭二、大福。

綜整水文地質調查資料與分析：蘭陽盆地基盤等深線顯示，未固結沉積層最深處位於北半部，最厚達 1400 m，大約位於觀測井古亭站及大福站附近。觀測井龍德站在深度 242 m 鑿遇岩盤，龍德西北方的中油武淵井也在 267 m 鑿遇岩盤。至少有 17 個大小沖積扇，最大的為蘭陽溪沖積扇，其次為羅東溪沖積扇。

區域性含水層建議分為三層：第一含水層深度為 150 m 內，此層形成於一萬年之全新世，局部地區可再分為 AF1-1(共 23 口)及 AF1-2 (共 10 口)；第二含水層的深度約為 150-200 m (共 6 口)；第三含水層深度約為 200-250 m，只有 1 口(中興四)。水力傳導係數以 10^{-4} m/s 為最多，其含水層的粒徑為礫、砂、或砂/泥互層，有些礫及砂的含水層，可能淘選較好，較不含泥，其水力傳導係數可達 10^{-3} m/s。本區含水層儲水係數約為 10^{-3} 至 10^{-4} 之間。

蘭陽平原地下水分層水位最高為三星井(海拔 58.5 m)，最低為二龍井(海拔 -0.65 m)。推測受壓與非受壓的界線大約在大洲站與大隱站之間。地下水流向為由西向東，進入大隱站後已開始有分層，局部地區已有低於海平面，可能

導因人為之抽水。

扇頂補注區的範圍，若以鑽探資料為主，因大洲站有巨厚礫石，所以邊界應在大洲站以東。但湧泉與埤塘多出現在大洲站以西，表示該地區為受壓與非受壓水層之交界。羅東溪河道流量量測結果顯示：扇央區的入滲率約為 1.11×10^{-6} m/s，但扇尾區為地下水出滲至河川，出滲率為 2.21×10^{-5} m/s。與地面湧泉分布位置相當一致。

地下水溫度剖面調查補注水之溫度：補注區的井溫度最低，約 20~22 °C。其中又以內城為全區溫度最低、約 20.3 °C，此井的水源應來自北邊山區，而非蘭陽溪的溪水。三星井的水溫最低約 22.0~22.2 °C，應來自蘭陽溪上游的溪水。

地溫梯度：鄰近補注區，因受補注水流動的影響，部分井下段的地溫梯度偏低(< 2 °C/100m)，例如吳沙 0.8 °C/100m、壯圍 1.2 °C/100m、大隱 1.7 °C/100m。地溫梯度最高為龍德井及礁溪井約為 8 °C/100m，其次為利澤井約為 6 °C/100m，可能因岩盤下有裂縫、並且有熱水上湧，造成局部地溫梯度較高，其中礁溪為知名的溫泉產地。

地下水流動層次：中興井的井溫剖面則呈兩個低溫處，-80m 及 -120m 處應是地下水流入的影響。壯圍井有三處呈現明顯的水溫變低。-60m 處的水溫變低最大、降低達 0.7 °C，-120 m 為降低 0.2 °C，-160m 處降低 0.1 °C。水溫降低表示補注區的水流入，因為流入的水溫度較原含水層的水低。

Abstract

After the implement of the Geology Act, the authorities have to define and protect the groundwater recharge area, one of the geologically sensitive areas. For improving the accuracy of the definition of the groundwater recharge area, the project investigates groundwater chemistry and temperature to study recharge processes and flowpath by its geochemistry. In 2013, the study has collected 2 rain water, 10 stream water, and 40 groundwater samples in the Lanyang groundwater basin. A total 17 items of water chemistry are determined in laboratory include temperature, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), nitrate, etc. The results are reported as follow:

Those wells with groundwater DO greater than 0.5 mg/l are distributing in the upper fan of Lanyang area. The concentrations of DO in stream waters are high in 7-9 mg/l suggest that those rivers are clean and without organic pollution. The concentrations of nitrate in groundwater are low in Lanyang area. The lower values of groundwater EC, less than 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, in the aquifer 1-1 show that the recharges were from the northern and southern mountains, with stream water EC 150-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Three types of water are indentified as Calcium Bicarbonate, Sodium Bicarbonate and Sodium Chlorite.

The recharge area from the northern mountain of the Lanyang groundwater basin has the lowest temperature about 20-22°C. The groundwater from SanSin station has a temperature of 22.0-22.2°C indicate that recharge water was from Langyang stream. The geothermal gradient is lower as $<2^\circ\text{C}/100\text{m}$ in the recharge area because the recharge water is cooler. Some wells have higher geothermal gradients 6-8°C/100m because of the shallower bedrock and deeper circulation of hot waters. Temperature variations in reduced temperature line can indicate flowpaths of aquifers. For example, there are three sections with dominant flow in Jonwei Well denoted by the lower temperatures in the depths of -60m, -120m, and -160m with 0.7°C, 0.2°C and 0.1°C, less, respectively.

目錄

第一章 前言	1
1.1 計畫緣起及目的	1
1.2 計畫區域概述	2
1.3 計畫工作項目及內容	6
第二章 水文地質架構分析	7
2.1 水文地質分析方法	7
2.2 地下水盆地	8
2.3 水文地質分層	16
2.4 水位水質分析	21
2.5 同位素	24
第三章 湧泉調查	29
第四章 地球化學補充調查	39
4.1 調查方法與規劃	39
4.1.1 地面水及地下水採樣方法	39
4.1.2 地下水溫度剖面調查方法	43
4.2 水質調查結果	45
4.2.1 地面水及地下水之溶氧及硝酸鹽帶	45
4.2.2 地面水及地下水之導電度	51
4.2.3 地面水及地下水之主要成分	56
4.2.4 地面水及地下水之次要成分	60
4.3 地下水溫度剖面調查結果	62
第五章 結論	66
參考文獻	68

表目錄

表 1.2-1 宜蘭地區觀測站站址	4
表 1.2-2 宜蘭地區觀測井一覽表	5
表 2.2-1 蘭陽平原沖積扇面積與海拔高度	15
表 2.3-1 水文地質參數	20
表 2.4-1 蘭陽平原觀測井之水位	21
表 2.5-1 蘭陽平原地下水之同位素濃度	24
表 3.1-1 蘭陽平原湧泉列表	32
表 3.1-2 蘭陽平原部分湧泉之導電度與水溫	32
表 3.1-3 羅東溪第一次出入滲率量測結果	36
表 3.1-4 羅東溪第二次出入滲率量測結果	36
表 4.1-1 現場及實驗室化驗共 17 項	41
表 4.1-2 飲用水源及灌溉用水質標準	42
表 4.2-1 地下水之溶氧等基本水質(2013 年 4 月)	45
表 4.2-2 地下水之溶氧等基本水質(2013 年 9 月)	47
表 4.2-3 地面水及雨水之溶氧等基本水質(2013 年 4 月)	48
表 4.2-4 地面水及雨水之溶氧等基本水質(2013 年 9 月)	48
表 4.2-5 觀測井歷年硝酸鹽氮濃度(mg/l)	50
表 4.2-6 觀測井歷年導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)	51
表 4.2-7 地面水及雨水主要離子成分(mg/l)	56
表 4.2-8 地面水及雨水主要離子成分(百分比)	56
表 4.2-9 地下水主要離子成分(mg/l)	57
表 4.2-10 地下水主要離子成分(百分比)	58
表 4.2-11 地面水及雨水之次要離子成分(mg/l)	60
表 4.2-12 地下水之次要離子成分(mg/l)	61

圖目錄

圖 1.2-1 宜蘭平原觀測井及地面水採樣位置，虛線以西為初步判斷之扇頂補注區	3
圖 2.1-1 河川流量推算河床入滲率	8
圖 2.1-2 瑞士 JDC 公司製 Flowatch 型河川流速計	8
圖 2.2-1 蘭陽平原附近之地體構造圖	10
圖 2.2-2 蘭陽平原附近之斷層分布圖	10
圖 2.2-3 蘭陽平原附近地層及基盤剖面圖	11
圖 2.2-4 蘭陽平原基盤深度與觀測井之位置	12
圖 2.2-5 蘭陽平原之斷層分布	12
圖 2.2-6 蘭陽平原水準量測之地面高度變化	13
圖 2.2-7 濁水斷層之位置與地形	13
圖 2.2-8 蘭陽平原沉積物定年推測之地面沉陷速度 mm/yr	14
圖 2.2-9 蘭陽平原之沉積速率 mm/yr	14
圖 2.2-10 蘭陽平原主要水系、高程及沖積扇分布圖	15
圖 2.2-11 蘭陽平原沖積扇分布圖	15
圖 2.2-12 蘭陽平原沿岸砂丘分佈圖。平行海岸線長條狀紅色部分，由北而南包括：頭城、壯圍、公館、冬山河、利澤簡及無尾巷砂丘等	16
圖 2.3-1 蘭陽平原東西向地質分層剖面圖	18
圖 2.3-2 濁水溪地區東西向地質分層剖面圖	18
圖 2.3-3 水力傳導係數 K 與含水層粒徑之關係	19
圖 2.3-4 東西向剖面之水力傳導係數 K	19
圖 2.4-1 蘭陽平原地下水分層之水位(2013 年 4 月)	23
圖 2.5-1 蘭陽平原氬濃度分布圖	26
圖 2.5-2 蘭陽平原 102 年 4 月地下水氬氧同位素與天水線	27
圖 2.5-3 蘭陽平原 102 年 4 月地下水氬氧同位素分層分布圖	28
圖 3.1-1 大洲站之岩心紀錄	30
圖 3.1-2 蘭陽平原湧泉位置	31
圖 3.1-3 蘭陽平原埤塘分布位置	31
圖 3.1-4 大湖路湧泉(上)遠觀；(下)近照。	33
圖 3.1-5 (上)柯林湧泉；(下)鹿埔湧泉	34
圖 3.1-6 羅東溪出入滲量測位置	35
圖 3.1-7 羅東溪四個河道斷面的流量，測量點間距為 30cm，每個斷面量測 4 次	35
圖 3.1-8 出入滲壓力量測，p1 與 p2 間隔 10cm	36
圖 3.1-9 出入滲壓力量測結果，有兩點的壓力大於 10cm，表示出滲	36
圖 3.1-10 羅東溪入滲河道泥層較厚（上圖），出滲河道河水較清澈（下圖）	37
圖 3.1-11 柯林國小鑽探柱狀圖	38
圖 4.1-1 美國 Hydrolab 水質測棒	39
圖 4.1-2 地下水還原系列示意圖	41
圖 4.1-3 (A) 礁溪溫泉之井溫剖面。(B) 水溫剖面，由西北向東南、水溫漸降，推測 20-50m	

處之水流最快。	44
圖 4.1-4 美國 In-situ Troll-200 水壓、水溫及導電度自記測棒	44
圖 4.2-1 蘭陽平原地下水之溶氧濃度	49
圖 4.2-2 蘭陽平原地下水之硝酸鹽氮濃度	49
圖 4.2-3 蘭陽平原地下水分層之導電度	53
圖 4.2-4 蘭陽平原地下水分層之導電度	54
圖 4.2-5 蘭陽溪溪水之歷年導電度	55
圖 4.2-6 (A)冬山河及(B)新城溪溪水之歷年導電度	55
圖 4.2-7 地面水及地下水之主要離子分類	59
圖 4.3-1 蘭陽平原之地下水觀測井井溫剖面 (2013 年 4-6 月)	63
圖 4.3-2 中興井之井溫剖面與粒徑比對	64
圖 4.3-3 (A) 原井溫曲線(實線)及地溫梯度線(虛線);(B) 將井溫曲線依地溫梯度還原成還 原線(reduced line)	65
圖 4.3-4 壯圍井之井溫還原剖面與粒徑比對	65

第一章 前言

1.1 計畫緣起及目的

(一) 計畫緣起

臺灣地區之地下水資源頗為豐富，主要分布於平原、盆地和台地等地形平緩地區，其面積總和約 10,000 平方公里，深度 300 公尺內常有透水性好的地下水層分布。在河川汙染及水庫淤積問題日益嚴重，及氣溫上升降雨分布不均勻等諸多問題環繞下，使得地面水資源供應變得更不穩定，因此地下水在緩衝和補充水資源不足上勢必扮演起更重的角色。又因地下水開發成本較低，取用方便，故各目的用水競相開發。地下水開發利用之結果，雖促成各地區各項產業之發展，但往往因對地下水的認識不足、對地下水的資訊的掌握不夠，在大量的抽用地下水之後，衍生許多國土資源損害及其他的社會問題。

有鑑於地下水資源之高度重要性，而地下水補注區為地下水之水源地，一旦遭受汙染，將嚴重影響各地下水區之水質與水量。經濟部自民國 80 年起執行「臺灣地區地下水觀測網」整體計畫，進行長期且有系統的地下水區之水文地質調查、重要地區地下水調查與補注試驗、地層下陷監測調查以及地下水水質資料分析等相關工作，以充分掌握臺灣地區水文地質狀況，獲取正確可靠之地下水資訊。然而地下水系統埋藏於地下，須有充足之水文地質基本資料及長期地下水水位及水質觀測數據，才能提高地下水天然補注區範圍劃定之精確度，故中央地調所於 98-101 年執行「臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估」計畫，進行水文地質補充調查及補注潛勢評估，劃定濁水溪沖積扇和屏東平原地下水區之地下水補注區範圍，做為劃定地下水補注地質敏感區之依據。

此外由於全球氣候的極端化造成降雨分布不均，強化地下水補注地質敏感區的調查研究，並進行劃設保育，加強掌握地表水、地下水的互動調配，更未能因應較劇烈之環境變化。然國內環保意識高漲，地表水蓄水設施建設困難，保護具有提供國內用水約 30% 的天然的地下水庫，除可避免地面蓄水設施所造成之環保問題，更具有國土保育之功能。國土保育應包含土地環境資源保育以及水文環境資源保育，兩者兼顧才能達成「永續發展的資(能)源與環境」。希望能藉本計畫之成果，對於保護區土地利用及水土汙染提出適當的管制辦法，使地下水資源的管理開始朝向永續利用的目標跨出一大步。

(二)計畫目標

本計畫係依據「地下水水文地質與補注模式研究」計畫（102年至105年）實施進度規劃，其主要工作目標係為評估地下水補注區之水文地質特性，並瞭解區域地下水補注範圍及資源量，使地下水資源的管理朝向永續利用的目標。執行策略採分年分區執行，4年內針對臺灣重要地下水區蘭陽平原、台北盆地、台中盆地及花東縱谷地區進行調查，釐定主要地下水補注區範圍並評估地下水補注量。本「補注區劃設與資源量評估」調查分析研究工作擬達成下列目標：

1.完成蘭陽平原、台北盆地、台中盆地及花東縱谷地區等4個地下水區之水文地質補充調查，以充分掌握目標地下水補注區之水文地質特性。

2.綜整相關調查成果，建立蘭陽平原、台北盆地、台中盆地及花東縱谷地區地下水區之地下水補注模式，分析其補注機制、水平衡分析、地下水流模擬及地下水位水質監測，以確認地下水補注區範圍。

3.劃定蘭陽平原、台北盆地、台中盆地及花東縱谷地區等4個地下水區之主要地下水補注範圍，以提供做為後續地下水補注地質敏感區劃設的依據。

4.評估蘭陽平原、台北盆地、台中盆地及花東縱谷地區等4個地下水區之補注量、推估現況抽水之總抽水量及可抽用水量，並評估資源量做為水資源經營管理與保育之依據。

本報告書，乃針對地球化學補充調查部分進行撰寫。

1.2 計畫區域概述

宜蘭地區位於沖繩海槽的西南端，為蘭陽溪入海沖積而成，目前地形下陷中心軸略成東西向，谷地漸向南北方向開張。因為西邊山區帶來大量沉積物，因此宜蘭地區西測地下地質以礫石及粗砂層為主，往東入海，很快接海相的厚泥層。局部沉積速率非常快，達1.5cm/yr，是濁水溪(彰雲地區)的兩倍。

台灣地區地下水觀測網於民國89年於宜蘭地區建置觀測井，民國89-91年建立觀測站22站，分層觀測井41口，分布間距約每五公里一站（表1.2-1及圖1.2-1）。觀測站大部份都位於國小校園內，因當地水文地質情況設置一到四層的分層觀測井，詳細的井數、濾管深度位置、建置日期及當時靜水位如表1.2-2。觀測井的材質主要為不鏽鋼，口徑為直徑六吋，觀測層次最深達230公尺(中興)。因為經費及施工用地的限制，觀測井常採兩口共構，例如觀測井(一)觀測井(三)共孔或觀測井(二)觀測井(四)共孔，以一孔置兩觀測井管，不同層次中以皂土及黏土封隔。

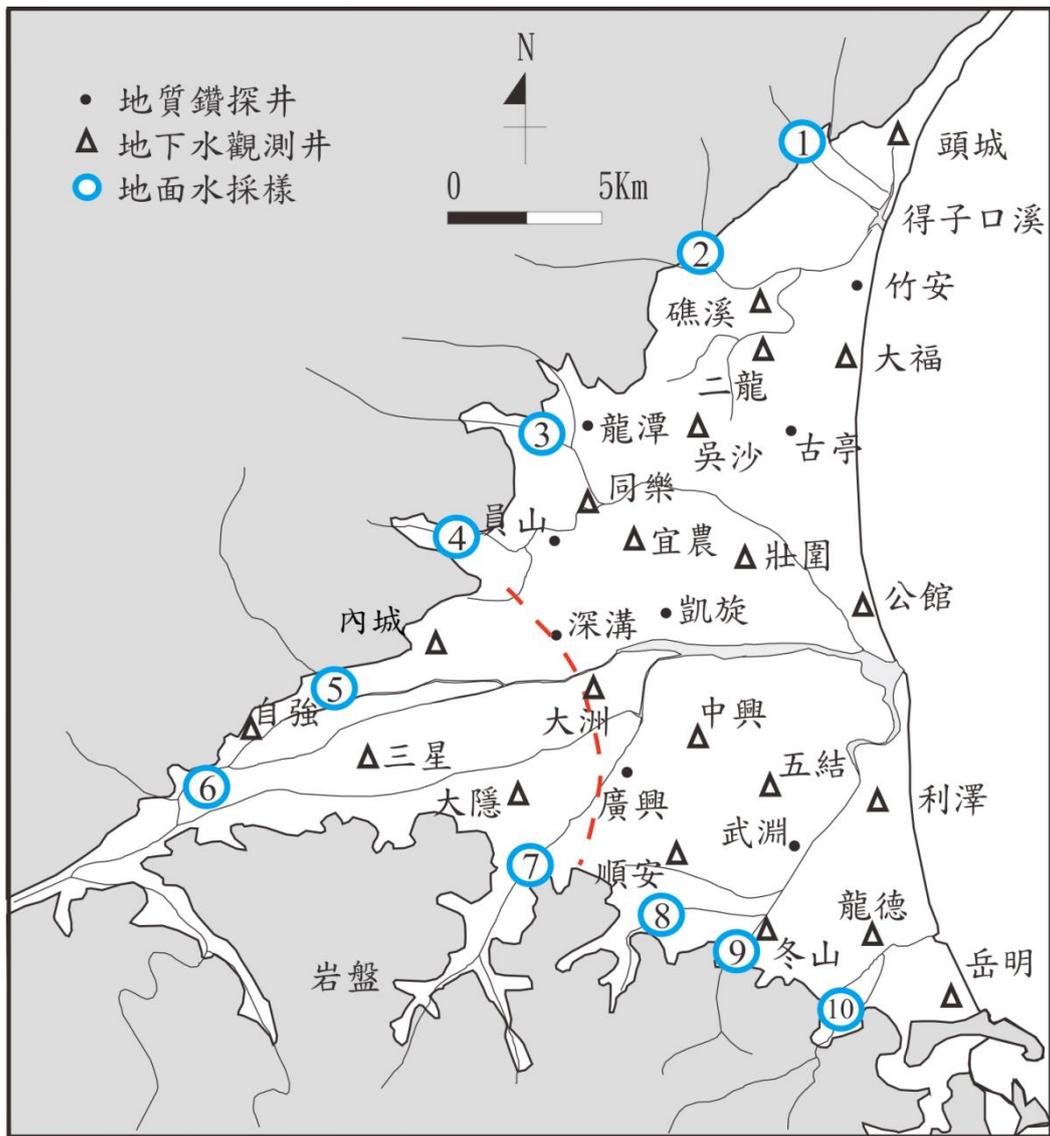


圖 1.2-1 宜蘭平原觀測井及地面水採樣位置，虛線以西為初步判斷之扇頂補注區

表 1.2-1 宜蘭地區觀測站站址

編號	站名	住址
1	自強站	宜蘭縣員山鄉中華村冷水路 51 號(內城國小自強分校)
2	大隱站	宜蘭縣三星鄉大隱村大隱路 129 號(大隱國小)
3	岳明站	宜蘭縣蘇澳鎮港邊里嶺腳路 140 號(岳明國小)
4	頭城站	宜蘭縣頭城鎮武營里開蘭路 282 號(頭城國小)
5	利澤站	宜蘭縣蘇澳鎮自強路 12 號(利澤工業區)
6	五結站	宜蘭縣五結鄉五結村國民路 1 號(五結國小)
7	中興站	宜蘭縣五結鄉四結村中興路 3 段 67 號(中興國小)
8	龍德站	宜蘭縣蘇澳鎮自強路 13 號(龍德工業區)
9	冬山站	宜蘭縣冬山鄉南興村富農路四號(冬山國小)
10	內城	宜蘭縣員山鄉內城路 545 號(榮源國中)
11	壯圍	宜蘭縣壯圍鄉壯五路(壯圍國小)
12	宜農	宜蘭縣神農路 1 號(宜蘭技術學院)
13	礁溪	宜蘭縣礁溪鄉協民段地號 259 號 (礁溪國小)
14	大福	宜蘭縣壯圍鄉大福路 34 號(大福國小)
15	同樂	宜蘭縣員山鄉新城路八四之四號同樂國小
16	吳沙	宜蘭縣礁溪鄉吳沙村育英路七九號 吳沙國中
17	古亭	宜蘭縣壯圍鄉古亭村八一號古亭國小
18	公館	宜蘭縣壯圍鄉壯圍運動公園預定地
19	大洲	宜蘭縣三星鄉大洲路一六二號 大洲國小
20	三星	宜蘭縣三星鄉義德街十二號 三星國小
21	順安	宜蘭縣冬山鄉永興路二段十七號 順安國小
22	二龍	宜蘭縣礁溪鄉二龍國小

表 1.2-2 宜蘭地區觀測井一覽表

編號	井號	站名	濾水管		靜水位 m	X m	Y m	Z m	分層
			起點 m	終點 m					
1	02030111	岳明一	6	27	3.97	335491	2723599	5.09	1-1
2	02080111	冬山一	28	49	1.27	329505	2725780	6.47	1-1
3	02080121	冬山二	68	86	1.67	329505	2725780	6.47	1-2
4	02030311	龍德一	13	37	4.37	331568	2726058	6.80	1-1
5	02030321	龍德二	60	78	3.92	331568	2726058	6.80	1-2
6	02030331	龍德三	100	118	2.31	331568	2726058	6.80	2-1
7	02030341	龍德四	136	151	1.96	331568	2726058	6.80	2-2
8	02080311	順安	15	32	自噴	326363	2727985	8.98	1-1
9	02030211	利澤一	16	34	2.33	333141	2729240	4.03	1-1
10	02030221	利澤二	158	170	-2.42	333141	2729240	4.03	2
11	02100111	大隱一	38	62	9.76	321310	2729412	40.64	1-1
12	02100121	大隱二	136	160	4.98	321310	2729412	40.64	1-2
13	02090111	五結一	3	15	3.68	330057	2731668	3.89	1-1
14	02090121	五結二	29	41	2.78	330057	2731668	3.89	1-1
15	02090131	五結三	64	82	2.32	330057	2731668	3.89	1-2
16	02090141	五結四	152	176	-3.43	330057	2731668	3.89	2
17	02100211	三星	26	44	32.13	314969	2729321	92.86	1
18	02100311	大洲一	25	43	2.03	322731	2732157	17.79	1-1
19	02100321	大洲二	102	120	自噴	322731	2732157	17.79	1-2
20	02070211	自強一	10	28	29.94	313166	2731959	104.81	1-1
21	02090211	中興一	15	45	2.41	327278	2732049	6.23	1-1
22	02090221	中興二	100	130	1.13	327278	2732049	6.23	1-2
23	02090231	中興三	180	192	-1.75	327278	2732049	6.23	2
24	02090241	中興四	224	230	-10.55	327278	2732049	6.23	3
25	02070111	內城一	7	49	4.26	318700	2734050	37.29	1-1
26	02060411	公館	24	36	3.38	332212	2737115	3.87	1-1
27	02060211	壯圍一	54	72	2.49	329122	2737853	2.00	1-1
28	02060221	壯圍二	112	124	1.88	329122	2737853	2.00	1-2
29	02060231	壯圍三	162	174	-1	329122	2737853	2.00	2-1
30	02010111	宜農一	19.5	34.4	1.64	324620	2738180	6.69	1-1
31	02010121	宜農二	109	133	-1.7	324620	2738180	6.69	1-2
32	02070411	同樂	41	50	7.7	322822	2739979	17.07	1-1
33	02050211	吳沙一	31	90	3.02	325944	2743274	6.71	1-1
34	02050221	吳沙二	138	156	1.54	325944	2743274	6.71	1-2
35	02060311	古亭一	31	43	2.86	329932	2741080	2.91	1-1

編號	井號	站名	濾水管		靜水位	X	Y	Z	分層
36	02060321	古亭二	100	118	3.77	329932	2741080	2.91	1-2
37	02050311	二龍	23	41	3.19	328104	2744848	2.00	1-1
38	02060111	大福	9	39.5	4.5	331460	2744155	2.62	1-1
39	02050111	礁溪一	12	20	6.50	329180	2745890	12.53	1-1
40	02050111	礁溪二	68	80	6.50	329180	2745890	12.53	1-2
41	02040111	頭城一	7	19	4.15	332895	2751096	6.65	1-1

1.3 計畫工作項目及內容

本年度計畫主要針對蘭陽平原進行地面及地下水水質採樣與分析。主要工作項目有三項：

(一) 地面及地下水水質採樣與分析

針對蘭陽平原進行河流及灌排渠道之水質採樣與分析以了解補注水之水質；地下水之水質採樣與分析以了解地下水之水質及整理歷年地下水之水質數據，分析其區域地下水之地化特性。地下水是否含有溶氧及硝酸鹽，也可作為補注流徑的參考及作為判釋地下水補注區分布範圍之依據。蘭陽平原地下水區預計完成雨水 2 個、地面水 10 個及地下水 40 個調查點的水質分析（項目：溫度、導電度、溶氧、硝酸鹽等 17 項）。

(二) 地下水溫度剖面調查

調查蘭陽平原地下水觀測井的溫度剖面，推算地溫梯度，以提供地下水流向變化的瞭解。

(三) 綜整蘭陽平原水文地質調查資料及蒐集氡濃度分析資料，描述區域性水文地質及水質特性。

第二章 水文地質架構分析

2.1 水文地質分析方法

水文地質分析大致分三大部分：（一）地下水盆地、（二）主要含水層分層、（三）水位水質分析及（四）河道出入滲調查。因蘭陽平原的湧泉現象很明顯，但河道的湧泉調查尚沒有研究進行，本研究於羅東溪進行湧泉調查，以幫助釐清扇頂補注區的界線。

（一）地下水盆地

建立地質架構，探討大尺度的地下水蘊藏與流動，例如：地下水最深可達哪些地層，有何構造及地層的控制等。收集相關研究文獻，包含地球物理調查（震測、重力、電測、電磁測、GPS 測量、衛星遙測等）、地質調查（地面調查、地形分析、海洋調查、鑽探、岩心分析、化石、花粉、定年、地層層序分析等）等前人研究資料，研判該地區之地下水盆地之分布。

（二）水文地質分層

研判該地區之地下水主要使用層次。收集相關研究文獻及調查報告，包含水井調查（水井分布、抽水量、水質等），水文地質調查（鑽探、岩心分析、化石、花粉、定年、地層層序分析、抽水試驗、水質等），輔以小尺度的地球物理調查（震測、重力、電測、電磁測、GPS 測量、衛星遙測等）、地質調查（地面調查、地形分析、海洋調查、鑽探）等前人研究資料。以蘭陽平原為例：地下水盆地最深可達 1400m，但目前地下水應用部分多在上部 300m 內，因更新世以來有多次的冰河期及環境變遷，水文地質上有多層次的形成。

（三）水位水質分析

根據水文地質分層，整理水位及水質數據（包含氘及氫同位素），探討區域地下水的補注、流動及化學反應。

（四）河道出入滲調查（流速流量法）

由河川流量推算河床入滲率，在上下游各進行河川流量量測，上游流量為 Q_u ，下游流量為 Q_l ，溪水補注 R_c 為兩者相減（圖 2.1-1）

$$R_c = Q_u - Q_l \quad (\text{式 2-1})$$

若量測時間短，可忽略蒸發量，但需確認兩河段之間，無人為抽水或排放，否則需加以量測並加減之。斷面量測由一岸連續測至另一岸，每間隔 W 寬度（本研究為 30 cm）量測水深 (D) 及流速 (V) ，流速測量點為水面下 0.6 河深（Holmes et al., 2001），以該點之流速代表該單位面積之平均流速，單一單位之流量為

$$Q_n = W \times D_n \times V_n \quad (\text{式 2-2})$$

累加全部之流量即為該斷面之流量，若全斷面共有 n 點

$$Q = \sum Q_n \quad (\text{式 2-3})$$

為了瞭解測量誤差，每一個斷面都進行 4 次重複量測。本研究之流速計為瑞士 JDC 公司製 Flowatch 型，葉輪直徑 6 cm 及 2 cm、最低流速為 0.03 m/s、準確度 2% (圖 2.1-2)。

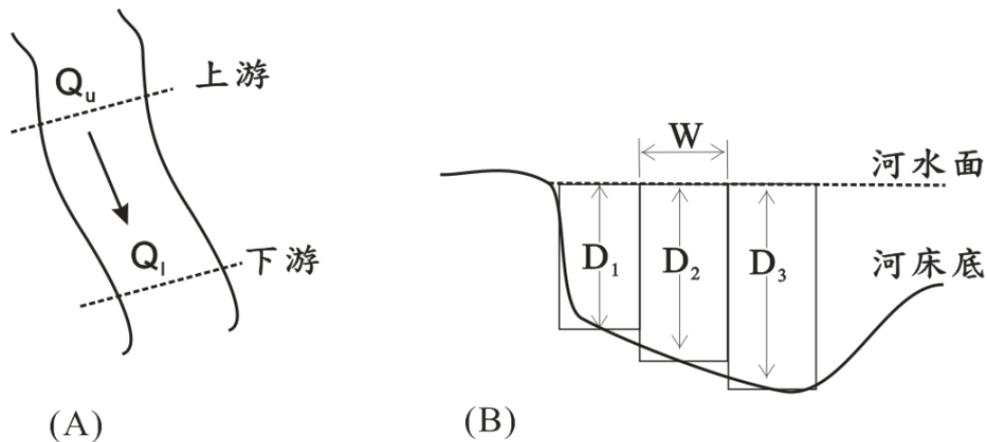


圖 2.1-1 河川流量推算河床入滲率，(A) 流量斷面位置；(B) 固定寬度之深度 (D) 與流速量測。

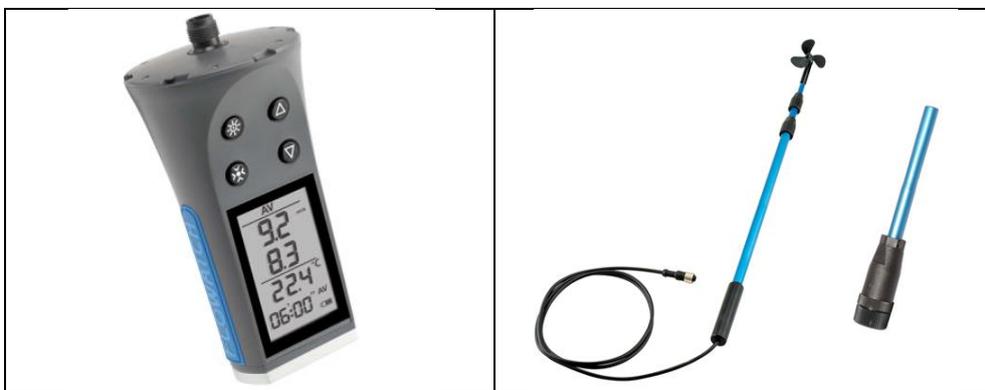


圖 2.1-2 瑞士 JDC 公司製 Flowatch 型河川流速計

2.2 地下水盆地

蘭陽平原東側由北往南之地體構造單元為南沖繩海槽的弧後盆地、琉球島弧、和平海盆、南澳海盆、增積岩體、琉球海溝隱沒系統，及台灣東部之菲律賓海板塊/歐亞大陸板塊碰撞系統(Sibuet et al.,1998)。蘭陽平原可視為沖繩海槽的向西延伸，沖繩海槽目前仍持續有南北開張的活動 (圖 2.2-1)。

受整體地體構造的影響，蘭陽平原之地層分布及主要構造，走向大都為東北-西南向，後期轉東西向 (圖 2.2-2)。濁水-梨山斷層是主要的構造分隔斷層，

此斷層北邊為雪山山脈的始新世-漸新世西村層及四稜層、南邊為脊樑山脈的中新世蘇澳層（相當於廬山層）（圖 2.2-3）。

基盤岩以上接未固結的更新世及全新世地層，基盤等深線顯示，未固結沉積層最深處位於北半部，最厚達 1400 m（江新春，1976），大約位於觀測井古亭站及大福站附近（圖 2.2-4）。觀測井龍德站在深度 242 m 鑿遇岩盤，龍德西北方的中油武淵井也在 267m 鑿遇岩盤（曾弘志和黃道強，1974；江協堂等，2008）。蘭陽平原北側的構造在早期可能較為活躍，平原下有 8 條以上的斷層，以盆地開張的特性判斷，應大都為正斷層（圖 2.2-5）。近年的水準量測則顯示（Liu, 1995），南北向的地面下陷位於宜蘭市至羅東市中間，每年約有 2 cm（圖 2.2-6），濁水斷層為其中最重要的一條斷層（圖 2.2-7）。東西向的地面下陷則以東側靠海處較大（圖 2.2-8）。

蘭陽平原的沉積速率約 10-20 mm/yr（圖 2.2-9），沉積速率除了受到構造控制外，也受到沉積體系的影響。蘭陽平原的地形分布與沉積環境息息相關，沉積物的來源為山區河流於平原交界處形成的沖積扇（圖 2.2-10），前人研究顯示至少有 17 個大小沖積扇（圖 2.2-11；張瑞津等，1995），最大的為蘭陽溪沖積扇（66 km²），其次為羅東溪沖積扇（21 km²）（表 2.2-1）。

另外一個重要的沉積為沿岸砂丘，本地因強烈的東北季風及夏季颱風，強烈的海浪沿海邊形成砂丘（圖 2.2-12），砂丘的西側因而形成瀉湖或濕地，主要以泥質沉積為主。平行海岸線長條狀砂丘，由北而南包括：頭城、壯圍、公館、冬山河、利澤簡及無尾巷砂丘等（蘇品如等，2009）。

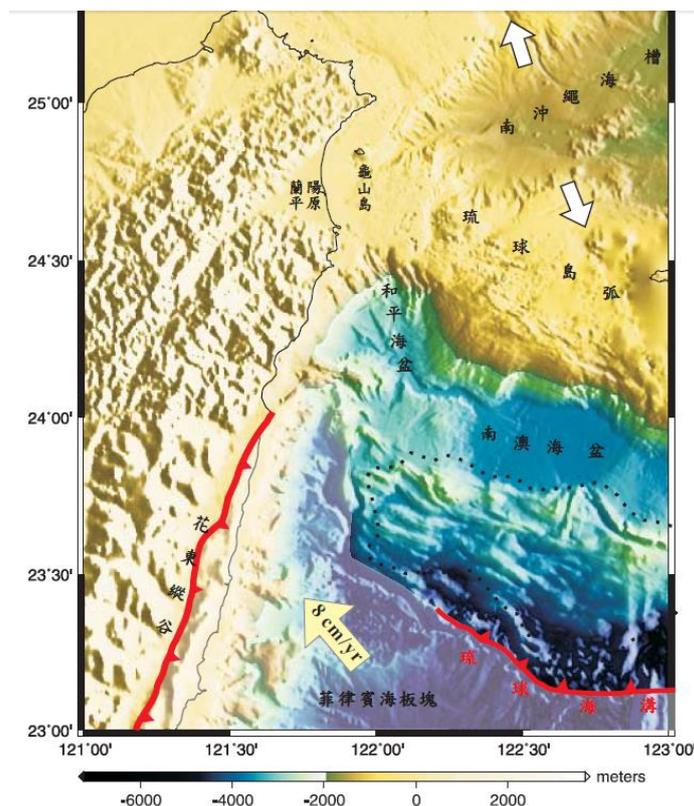


圖 2.2-1 蘭陽平原附近之地體構造圖 (康竹君等, 2008)

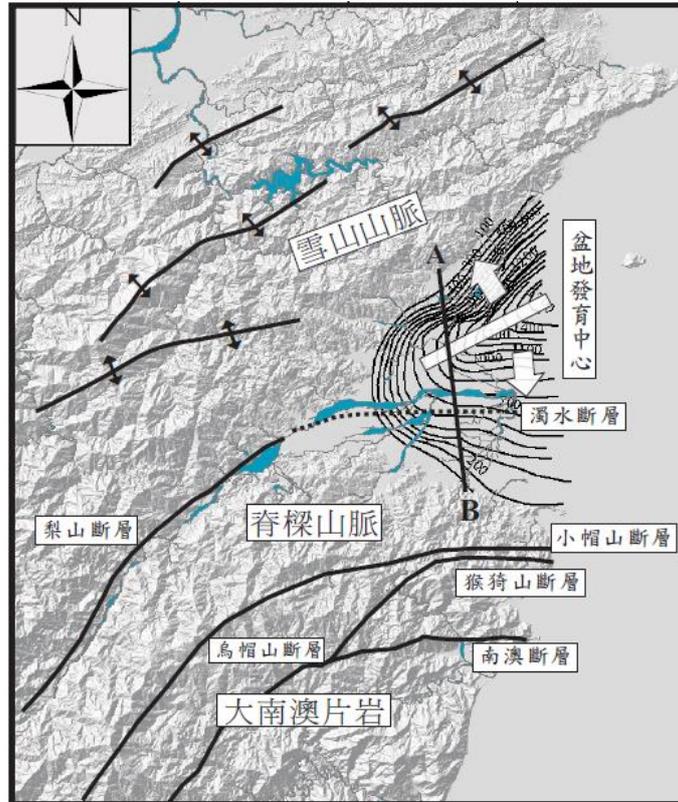


圖 2.2-2 蘭陽平原附近之斷層分布圖 (康竹君等, 2008)

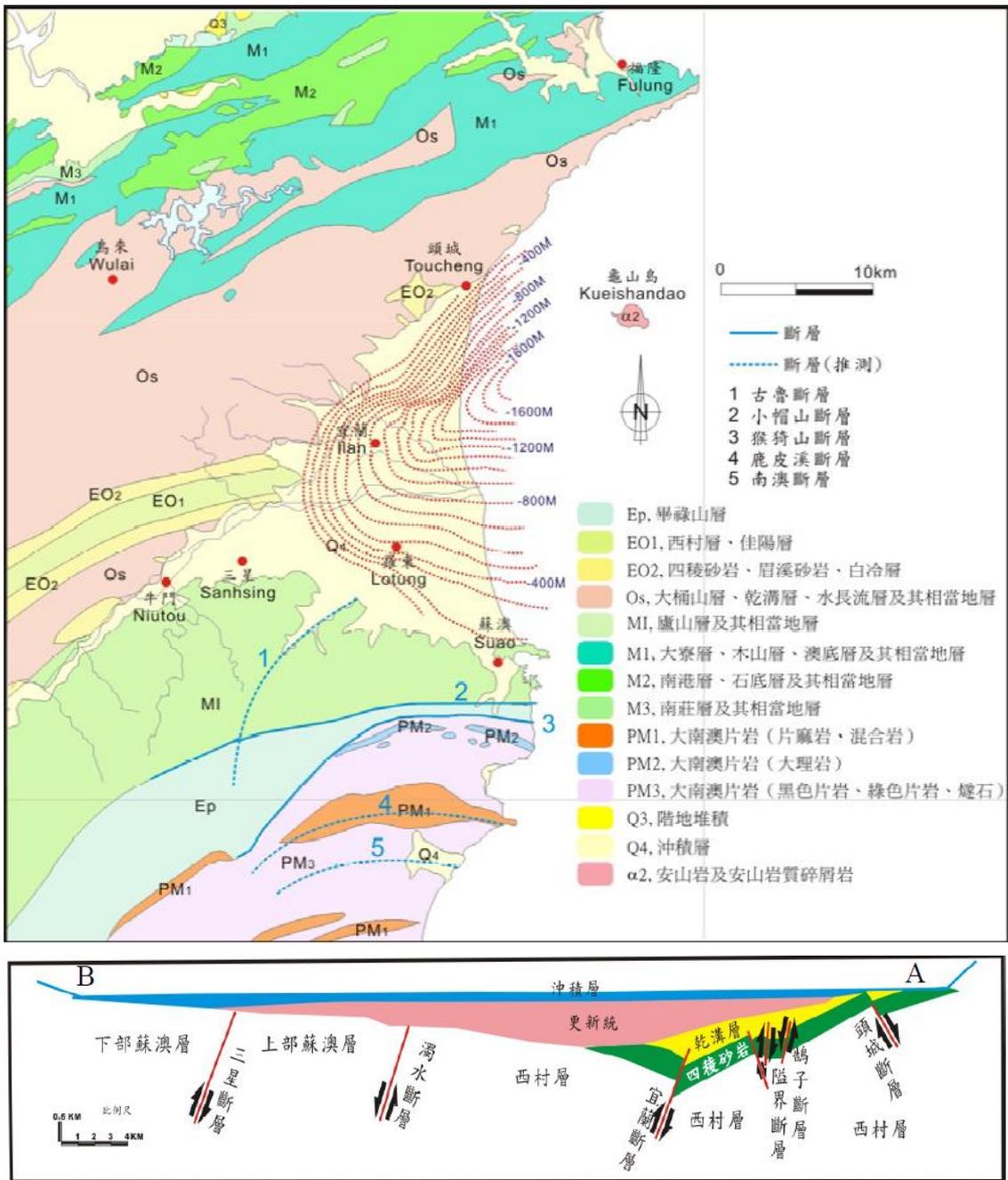


圖 2.2-3 蘭陽平原附近地層及基盤剖面圖
(江新春，1976；邱詠恬，2008；康竹君等，2008)

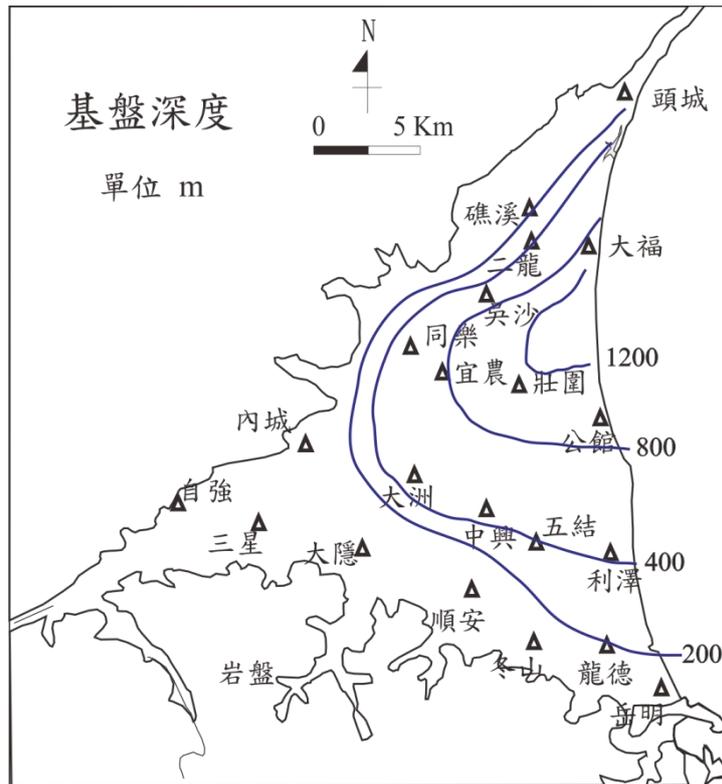


圖 2.2-4 蘭陽平原基盤深度與觀測井之位置
(基盤深度引用自江新春，1976)

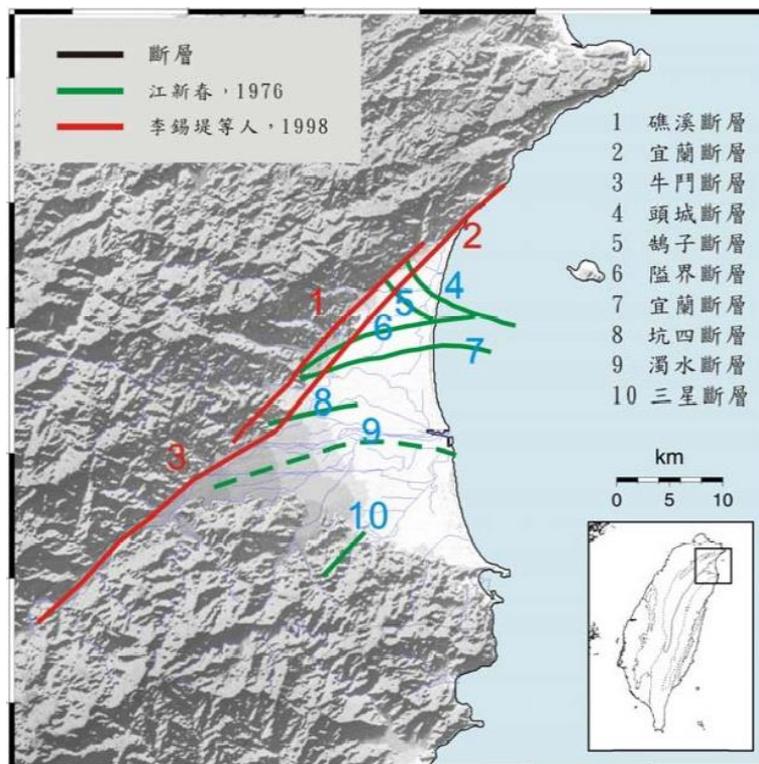
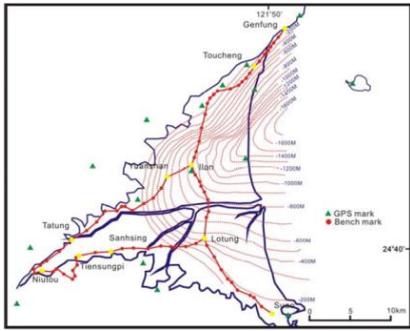
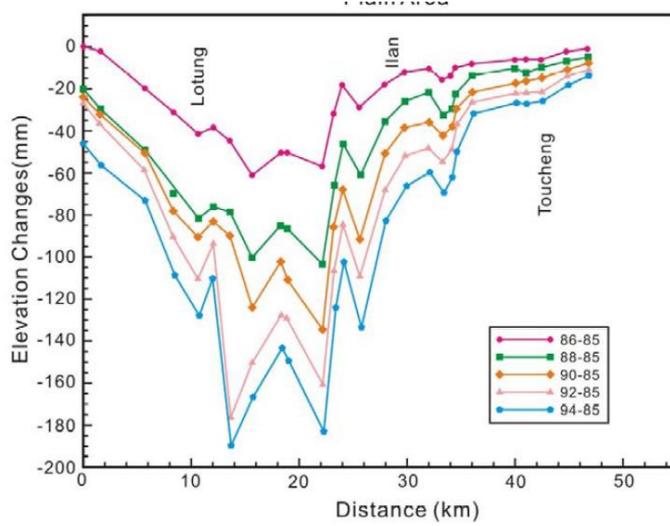


圖 2.2-5 蘭陽平原之斷層分布 (邱詠恬，2008)



(A)測線位置



(B)1985-1994年水準量測結果

圖 2.2-6 蘭陽平原水準量測之地面高度變化 (Liu, 1995)

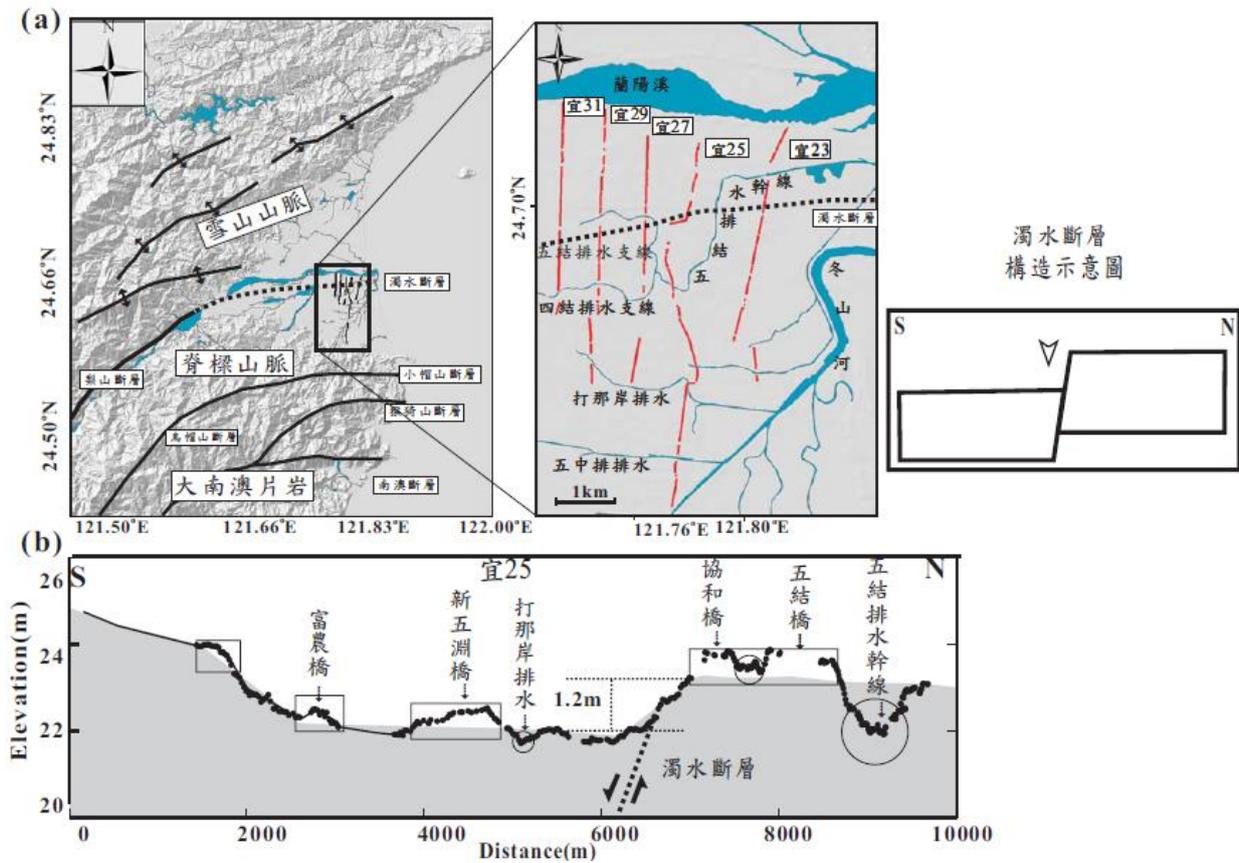


圖 2.2-7 濁水斷層之位置與地形 (康竹君等, 2008)

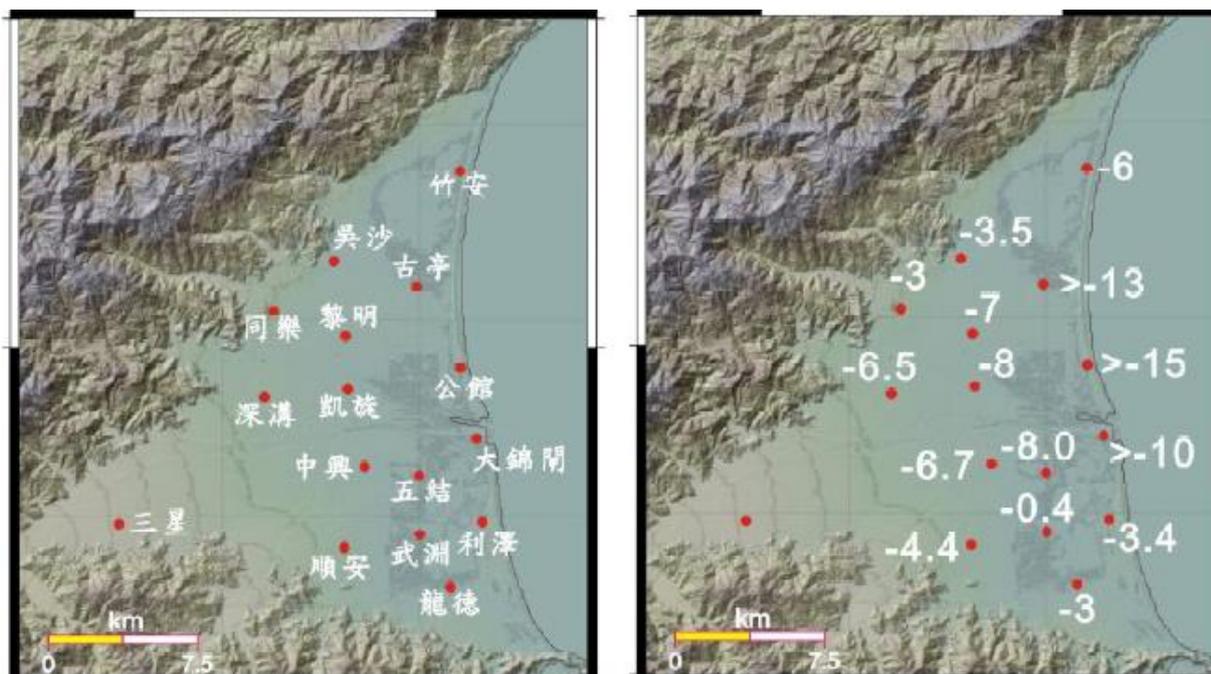


圖 2.2-8 蘭陽平原沉積物定年推測之地面沉陷速度 mm/yr (謝孟龍, 2006)

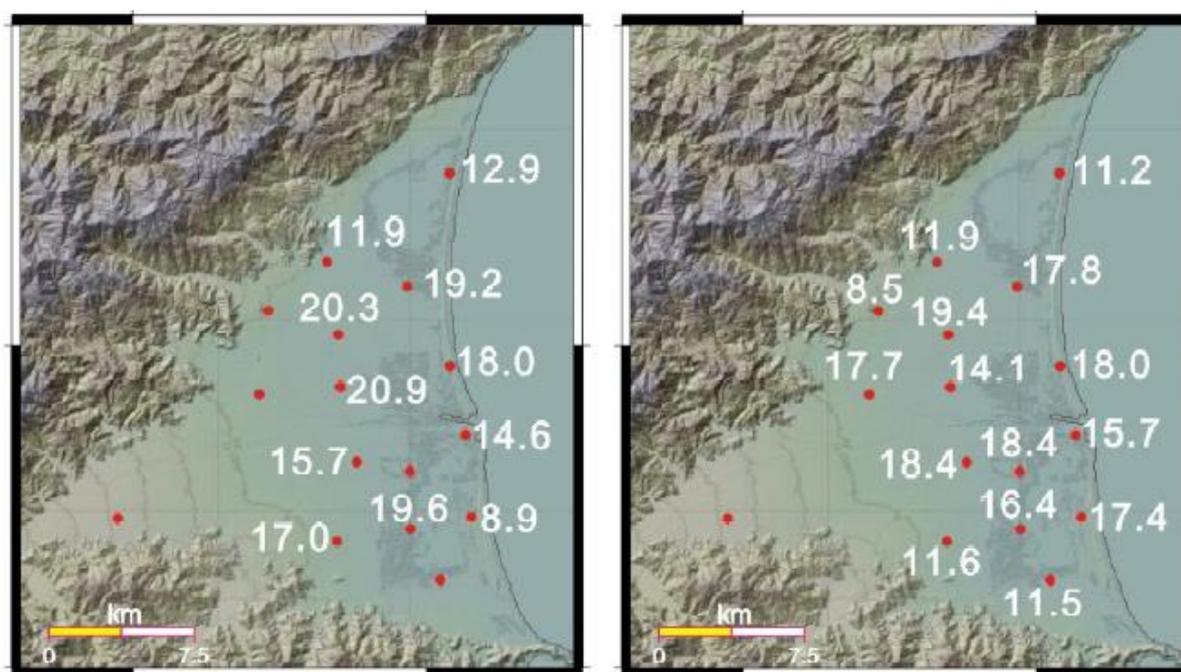


圖 2.2-9 蘭陽平原之沉積速率 mm/yr, 左圖: 16000-10000 年前; 右圖: 10000-5000 年前 (謝孟龍, 2006)

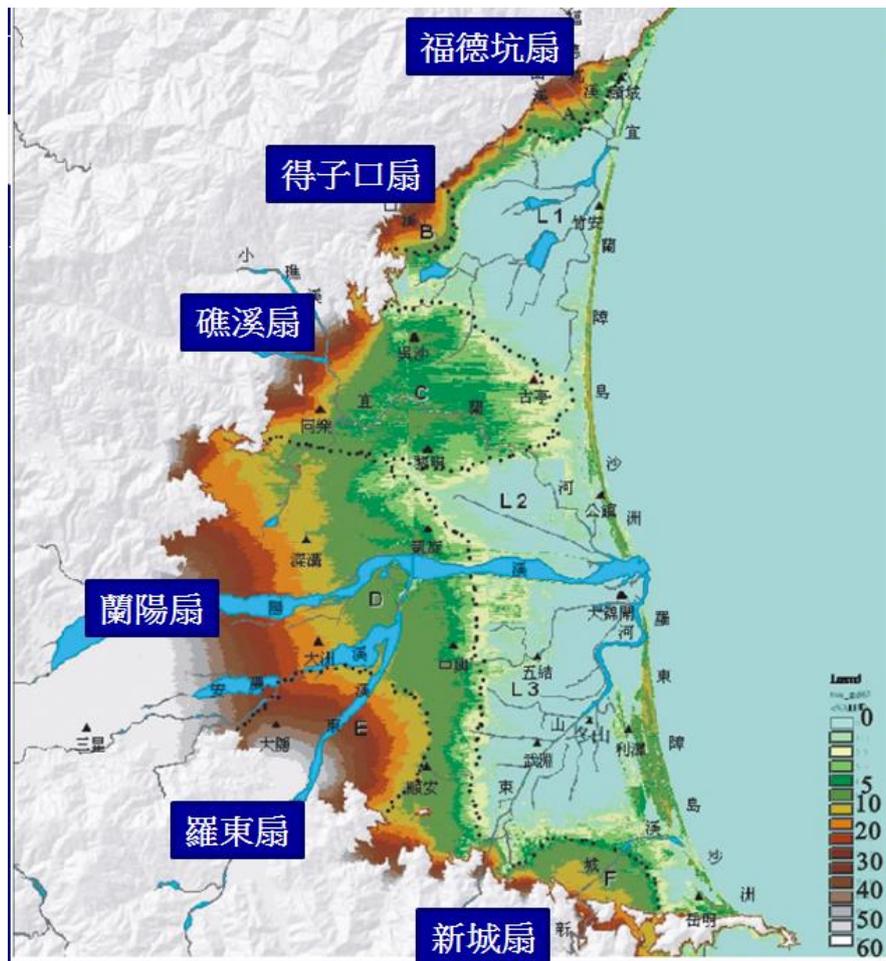


圖 2.2-10 蘭陽平原主要水系、高程及沖積扇分布圖（鄭迺君，2010）

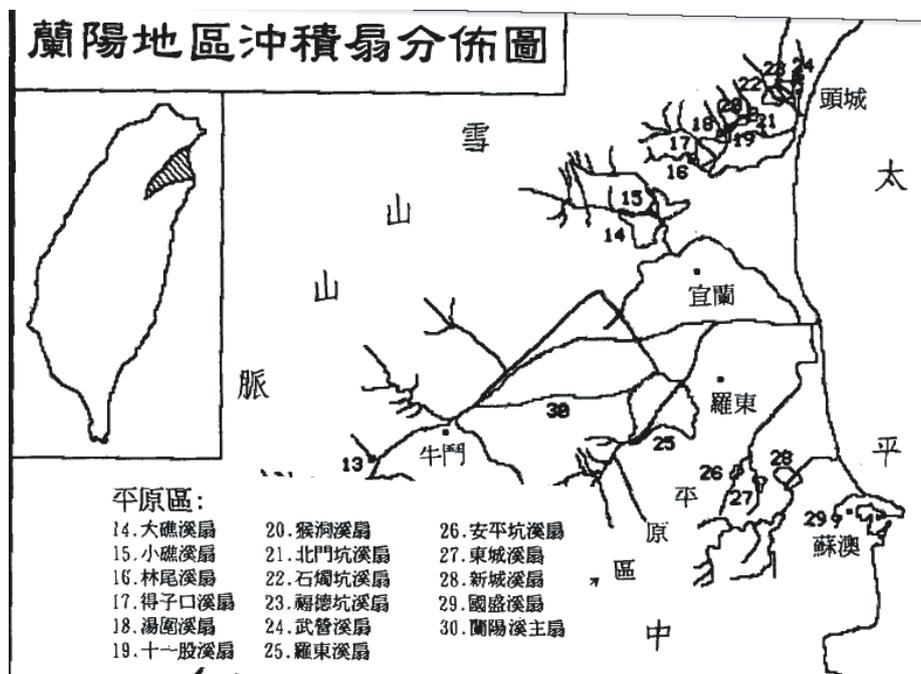


圖 2.2-11 蘭陽平原沖積扇分布圖（張瑞津等，1995）

表 2.2-1 蘭陽平原沖積扇面積與海拔高度（張瑞津等，1995）

扇名		沖積扇面積 (km ²)	扇頂高度 (m)	扇端高度 (m)	集水域面積 (km ²)	扇名		沖積扇面積 (km ²)	扇頂高度 (m)	扇端高度 (m)	集水域面積 (km ²)
雪山山脈側	大礁溪	6.06	80	10	26.21	中央山脈側	羅東溪	21.72	70	10	63.99
	小礁溪	13.78	70	10	13.82		安平坑溪	0.34	30	10	3.34
	林尾溪	0.94	40	20	5.61		東城溪	0.57	50	10	2.09
	得子口溪	2.68	50	10	13.49		新城溪	1.36	15	10	47.17
	湯圍溪	0.43	85	5	1.03		國盛溪	0.12	35	5	0.25
	十一股溪	0.50	85	5	1.04		蘭陽溪	66.32	150	30	583.29
	猴洞坑溪	0.74	35	5	4.45						
	北門坑溪	0.64	40	5	2.54						
	石燭坑溪	5.16	40	10	5.53						
	福德坑溪	2.47	50	10	8.78						
	武營溪	0.23	25	10	1.76						

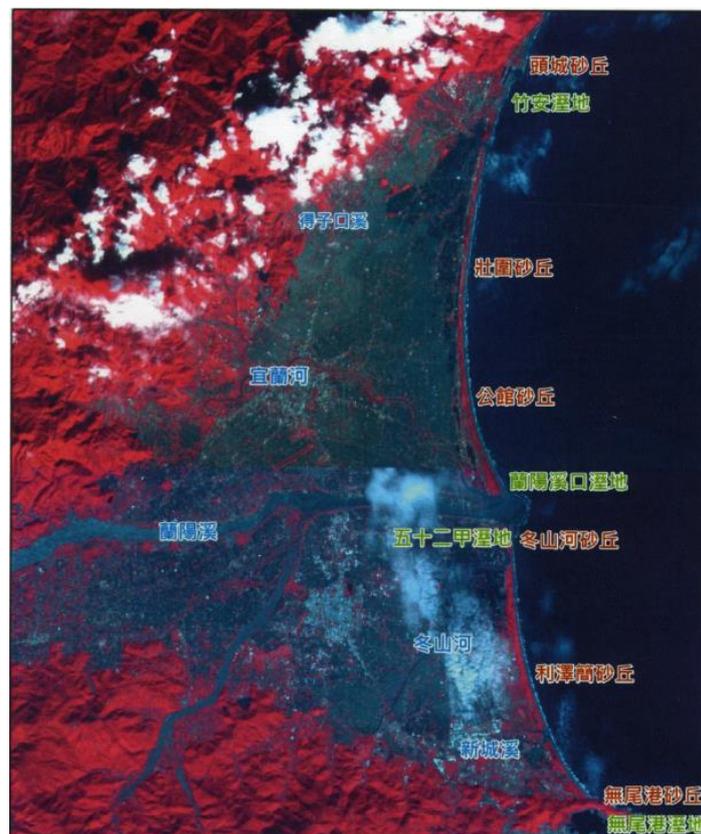


圖 2.2-12 蘭陽平原沿岸砂丘分佈圖。平行海岸線長條狀紅色部分，由北而南包括：頭城、壯圍、公館、冬山河、利澤簡及無尾巷砂丘等(蘇品如等，2009)

2.3 水文地質分層

蘭陽平原地下水觀測站共有 22 站、分層觀測井 41 口，最深的井為中興四

號井，濾水管底部之深度達 230m。根據沉積物碳十四的定年資料，深度 0-250 m 的地層，大都為二萬年來的堆積，其中末次冰期的堆積並不多，深度約 150-250 m，當時可能以侵蝕環境為主（圖 2.3-1）。西側較厚的沖積扇礫石/砂層堆積，約形成於一萬年來之海進期，厚度約不超過 150 m；此礫石/砂層向東漸變為厚層泥，在利澤及公館等地，厚度超過 200 m。因為從礫石的含水層至泥層的不透水層，相變相當快，顯示西部高區為地下水的補注區，往東因泥層的隔絕，含水層漸漸尖滅。

區域性含水層建議分為三層：第一含水層（AF1）深度為 150 m 內，此層形成於一萬年之全新世，局部地區可再分為 AF1-1(共 23 口)及 AF1-2(共 10 口)；第二含水層的深度約為 150-200 m(共 6 口)；第三含水層深度約為 200-250 m，只有 1 口（中興四）（表 2.3-1）。以上分層概念乃考慮與西部地下水層分類相同，將全新世形成之含水層命名為第一含水層（AF1），在濁水溪地區此層較薄，約只有 50 m，但第二含水層較厚（形成於末次冰期），約 50-150 m 厚（圖 2.3-2）。

由抽水試驗推算本區含水層之水力傳導係數(hydraulic conductivity)，總數 40 口觀測井中，水力傳導係數以 10^{-4} m/s 為最多，其含水層的粒徑為礫、砂、或砂/泥互層，有些礫及砂的含水層，可能淘選較好，較不含泥，其水力傳導係數可達 10^{-3} m/s（圖 2.3-3 及表 2.3-1）。當含水層中的泥層越多時，水力傳導係數降至 10^{-5} m/s，有兩口井（古亭二及壯圍三）泥層多而砂層少，水力傳導係數只有 10^{-6} 至 10^{-7} m/s（相當於阻水層）。值得注意的是五結一與二號井的水力傳導係數高達 2×10^{-3} m/s，該含水層是由淘選良好的砂層所組成（海灘砂），比扇頂礫石層的水力傳導係數（ $2 \sim 7 \times 10^{-4}$ m/s）高（圖 2.3-4）。本區含水層儲水係數的數據並不多，龍德站及大隱站的複井抽水試驗顯示，含水層的儲水係數約為 10^{-3} 至 10^{-4} 之間。

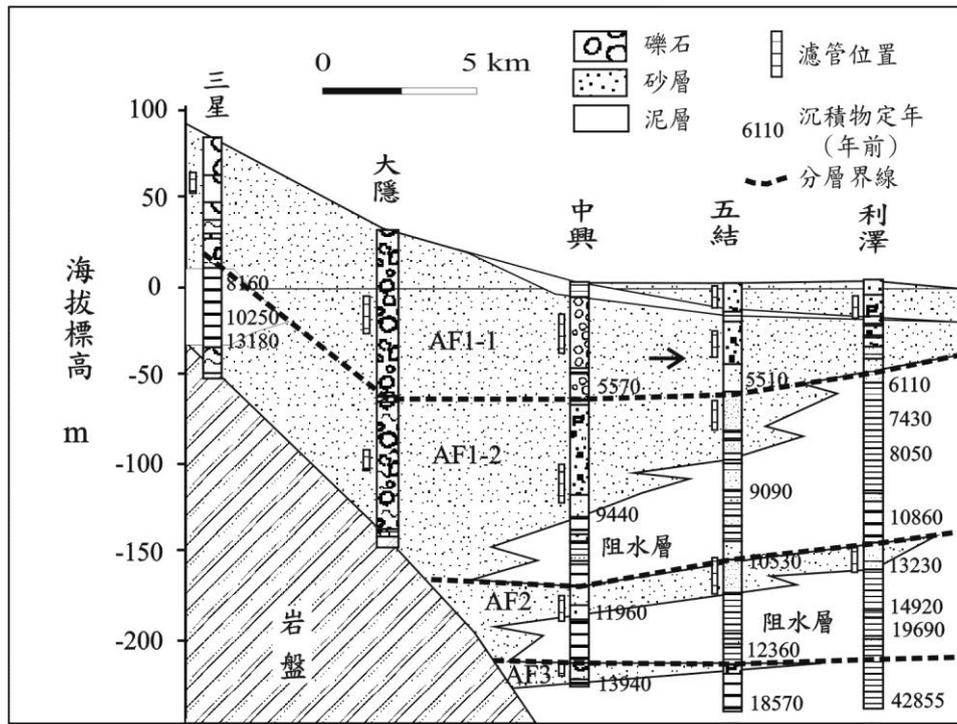


圖 2.3-1 蘭陽平原東西向地質分層剖面圖

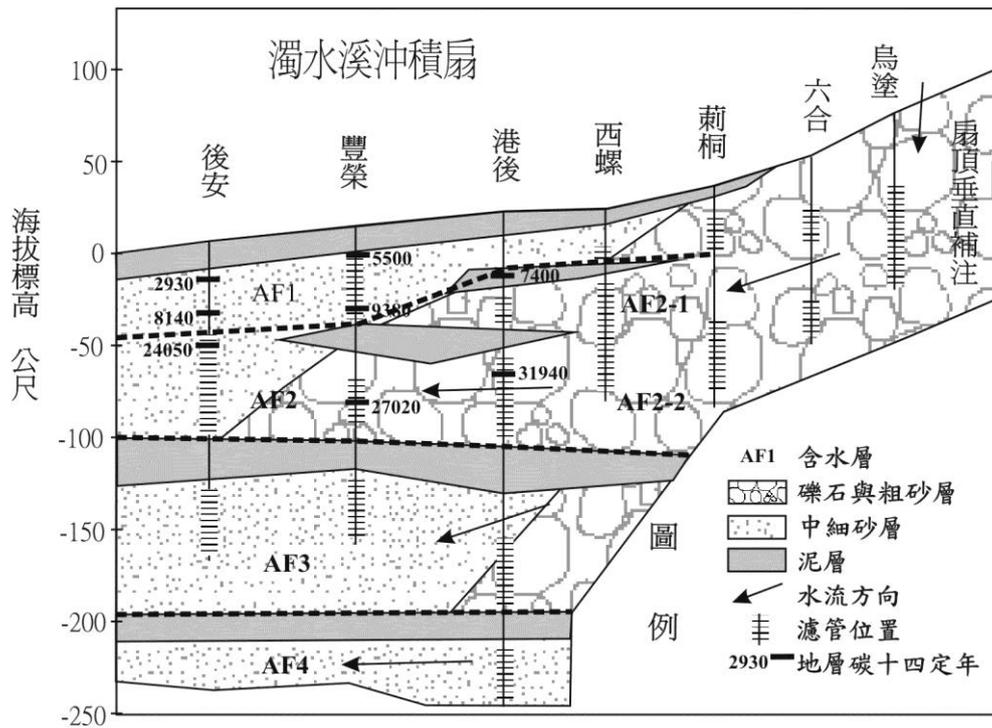


圖 2.3-2 濁水溪地區東西向地質分層剖面圖

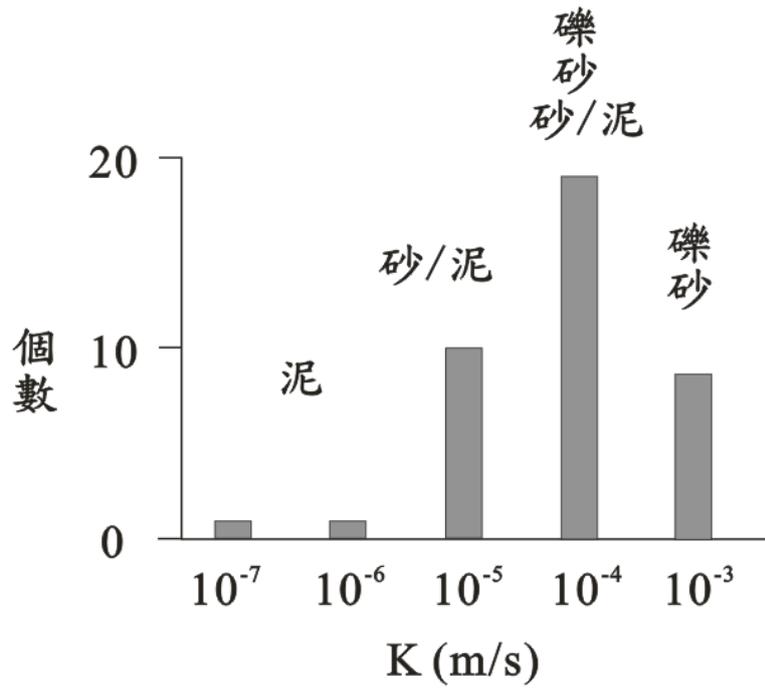


圖 2.3-3 水力傳導係數 K 與含水層粒徑之關係

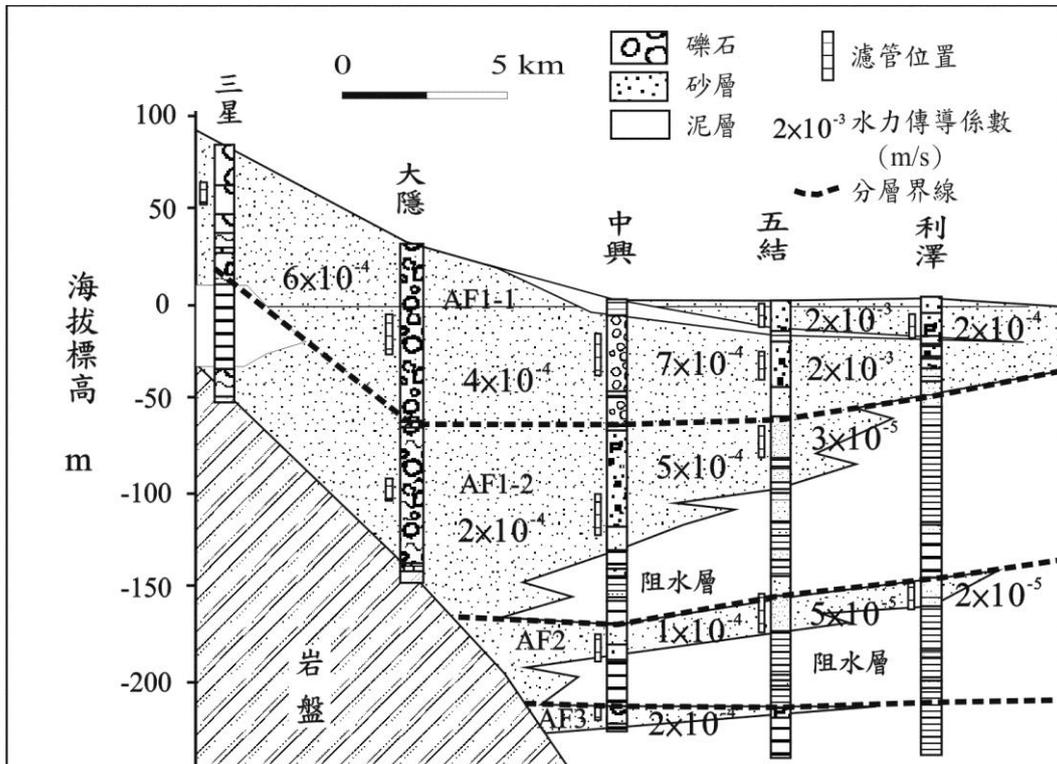


圖 2.3-4 東西向剖面之水力傳導係數 K

表 2.3-1 水文地質參數

編號	井名	T (m ² /min)	K (m/s)	含水層粒徑	複井 T (m ² /min)	複井 S
1	岳明一	0.0360	5.00E-05	砂		
2	冬山一	1.5300	2.13E-03	礫		
3	冬山二	1.4358	1.12E-03	礫		
4	龍德一	0.5770	4.01E-04	礫/砂	0.816	0.00216
5	龍德二	0.0563	5.21E-05	砂/泥	0.0686	0.000521
6	龍德三	0.2270	2.10E-04	礫/砂	0.249	0.000196
7	龍德四	0.0243	3.38E-05	砂/泥	0.0664	0.000428
8	順安	0.0145	1.42E-05	礫/砂/泥		
9	利澤一	0.2274	2.11E-04	砂		
10	利澤二	0.0128	1.78E-05	砂/泥		
11	大隱一	0.6080	4.05E-04	礫	0.43	0.00146
12	大隱二	0.2479	1.72E-04	礫	0.396	0.0002
13	五結一	1.6561	2.30E-03	砂		
14	五結二	1.2975	1.80E-03	砂		
15	五結三	0.0355	3.29E-05	砂/泥		
16	五結四	0.0688	4.78E-05	砂/泥		
17	三星	0.6580	6.09E-04	礫		
18	大洲一	2.8000	2.59E-03	礫		
19	大洲二	1.8800	1.74E-03	礫		
20	自強一	0.0264	2.45E-05	礫		
21	中興一	1.2903	7.17E-04	礫/砂/泥		
22	中興二	0.8998	4.98E-04	砂/泥		
23	中興三	0.0978	1.36E-04	砂/泥		
24	中興四	0.0603	1.68E-04	砂/泥		
25	內城一	2.9208	1.05E-03	礫		
26	公館	0.3960	5.50E-04	砂		
27	壯圍一	0.3454	9.87E-03	砂		
28	壯圍二	0.0043	2.26E-04	砂/泥		
29	壯圍三	0.0001	1.45E-07	泥		
30	宜農一	0.6155	6.88E-04	砂/泥		
31	宜農二	0.0721	5.00E-05	砂/泥		
32	同樂	0.1750	3.24E-04	礫/砂/泥		
33	吳沙一	0.4930	1.39E-04	砂/泥		
34	吳沙二	0.0280	2.59E-05	砂/泥		
35	古亭一	0.7990	1.11E-03	砂		
36	古亭二	0.0070	6.48E-06	泥		
37	二龍	0.4210	3.90E-04	砂		
38	大福	1.1461	6.26E-04	砂/泥		
39	礁溪一	0.4000	5.01E-04	礫石		
40	礁溪二	0.0250	2.51E-05	砂/泥		
41	頭城一	0.7261	9.95E-04	砂		

2.4 水位水質分析

蘭陽平原地下水分層水位如表 2.4-1 及圖 2.4-1。水位最高為三星井（海拔 58.5 m），最低為二龍井（海拔-0.65 m）。自湧井第 1-1 含水層有 1 口：順安，第 1-2 含水層有 3 口：大洲、宜農及中興，第 2 含水層有 4 口：壯圍、中興、五結及利澤，第 3 含水層有 1 口：中興。推測受壓與非受壓的界線大約在大洲站與大隱站之間。

水位分布明顯顯示，地下水的流向為由西向東流，進入大隱站後已開始有分層，大隱 2 號井的水位高於大隱 1 號井，顯示可能深層的水往上層流。西邊扇頂區的水力梯度較高（ 4.4×10^{-3} ），東邊平原區的沙泥層水力梯度較低（ 1.0×10^{-3} ）。局部地區已有低於海平面之地下水位，大福站及二龍站的地下水位為海平面下 0.23~0.65 m，可能導因人為之抽水。

表 2.4-1 蘭陽平原觀測井之水位

編號	井名	標高(m)	2013 年 4 月水位		2013 年 9 月水位	
			距井口	海拔標高(m)	距井口	海拔標高(m)
1	岳明一	5.09	3.87	1.22	4.08	1.01
2	冬山一	6.47	2.09	4.38	2.40	4.07
3	冬山二	6.47	2.25	4.22	2.47	4.0
4	龍德一	6.80	4.81	1.99	4.93	1.87
5	龍德二	6.80	6.70	0.1	4.75	2.05
6	龍德三	6.80	3.44	3.36	4.22	2.58
7	龍德四	6.80	2.4	4.4	2.88	3.92
8	順安	8.98	自湧	>8.98	自湧	>8.98
9	利澤一	4.03	2.38	1.65	2.80	1.23
10	利澤二	4.03	自湧	>4.03	自湧	>4.03
11	大隱一	40.64	11.36	29.28	11.36	29.28
12	大隱二	40.64	6.41	34.23	6.10	34.54
13	五結一	3.89	2.74	1.15	3.0	0.89
14	五結二	3.89	1.77	2.12	2.20	1.69
15	五結三	3.89	1.76	2.13	1.81	2.08
16	五結四	3.89	自湧	>3.89	自湧	>3.89
17	三星	92.86	34.36	58.5	31.22	61.64
18	大洲一	17.79	1.89	15.9	1.89	15.9
19	大洲二	17.79	自湧	>17.79	自湧	>17.79
20	自強一	104.81	無水	<104.81	無水	<104.81
21	中興一	6.23	1.57	4.66	1.36	4.87
22	中興二	6.23	0.66	5.57	0.64	5.59

編號	井名	標高(m)	2013年4月水位		2013年9月水位	
			距井口	海拔標高(m)	距井口	海拔標高(m)
23	中興三	6.23	自湧	>6.23	自湧	>6.23
24	中興四	6.23	自湧	>6.23	自湧	>6.23
25	內城一	37.29	4.46	32.83	3.87	33.42
26	公館	3.87	2.66	1.21	3.02	0.85
27	壯圍一	2.00	1.93	0.07	1.18	0.82
28	壯圍二	2.00	0.6	1.4	0.88	1.12
29	壯圍三	2.00	自湧	>2.0	自湧	>2.0
30	宜農一	6.69	0.9	5.79	1.02	5.67
31	宜農二	6.69	自湧	>6.69	自湧	>6.69
32	同樂	17.07	7.87	9.2	7.12	9.95
33	吳沙一	6.71	2.4	4.31	2.24	4.47
34	吳沙二	6.71	1.32	5.39	0.92	5.79
35	古亭一	2.91	2.06	0.85	1.17	1.74
36	古亭二	2.91	0.6	2.31	0.88	2.03
37	二龍	2.00	2.65	-0.65	3.17	-1.17
38	大福	2.62	2.85	-0.23	3.20	-0.58
39	礁溪一	12.53	6.10	6.43	5.14	7.39
40	礁溪二	12.53	6.34	6.19	5.07	7.46
41	頭城一	6.65	3.46	3.19	3.72	2.93

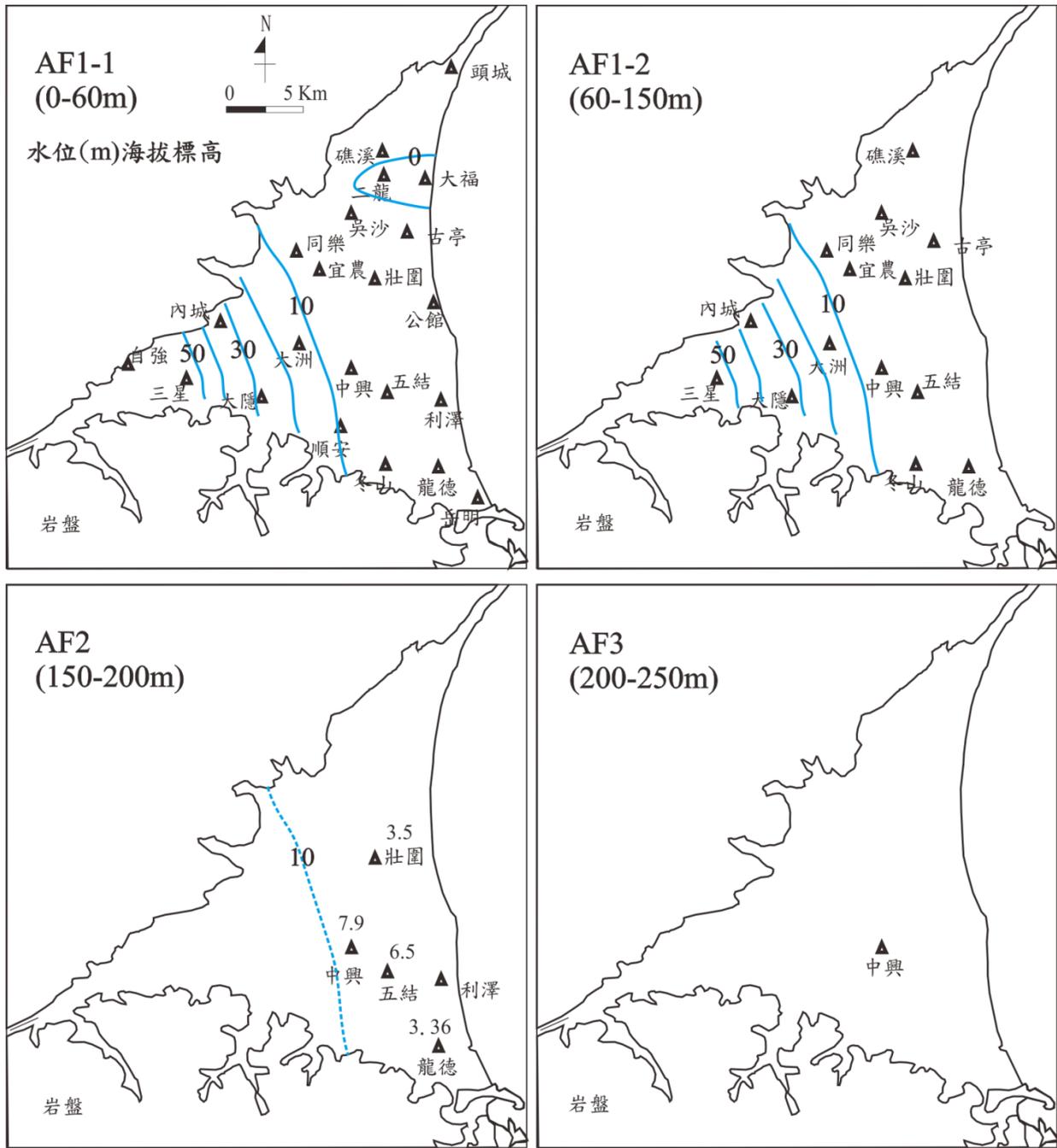


圖 2.4-1 蘭陽平原地下水分層之水位(2013 年 4 月)

2.5 同位素

地下水的氘濃度為民國 91 年的數據(表 2.5-1)，其判斷準則為氘濃度 $< 1\text{TU}$ 的地下水為 1953 年之前的老水，若 $> 1\text{TU}$ 則為 1953 年後補注的新水(劉聰桂，2002)。由圖 2.5-2 可知，含水層 1-1 除了大福及吳沙外，皆為 1953 年後補充的新水；含水層 1-2 則只有大洲為新水、其餘都是老水；含水層 2 及含水層 3 則都是老水。

蘭陽平原 2013 年 4 月地下水氫氧同位素比值，除了大福站外，皆沿著天水線分布，顯示地下水的來源皆為降雨(圖 2.5-3)。氧同位素的分層分布如圖 3.2-10。最低值為三星站-7.3、最高值為大福站-2.6。第一含水層北側的值偏小，約-6.5 至-6.0；南側的值稍大，約-4.7 至-6.5。深層的第二及三含水層，約-6.5。

表 2.5-1 蘭陽平原地下水之同位素濃度

	井位	氘	δD	$\delta^{18}O$
1	岳明		-20.7	-4.71
2	冬山(一)		-24.9	-5.5
3	冬山(二)		-25.6	-5.1
4	龍德(一)		-24.7	-5.2
5	龍德(二)		-24.0	-5.3
6	龍德(三)		-25.8	-5.5
7	龍德(四)		-36.8	-6.60
9	利澤(一)	2.3	-25.9	-5.3
10	利澤(二)	0	-34.2	-6.5
11	大隱(一)	1.9	-35.2	-6.3
12	大隱(二)	0.3	-36.3	-6.6
13	五結(一)	1.9	-34.9	-6.5
14	五結(二)	0.3	-35.8	-6.6
15	五結(三)	0.2	-34.5	-6.5
16	五結(四)	0	-34.2	-6.4
17	三星	2	-43.0	-7.3
18	大洲(一)	2.6	-42.7	-7.1
19	大洲(二)	4.9	-42.3	-7.2
20	中華(自強)	1.2		
21	中興(一)	2.5	-29.9	-5.7
22	中興(二)	0	-37.0	-6.8
23	中興(三)	0.1	-36.0	-6.5
24	中興(四)	0	-35.3	-6.5
25	內城		-36.5	-6.5

	井位	氫	δD	$\delta^{18}O$
26	公館	3.5	-23.4	-4.5
27	壯圍(一)		-34.3	-6.5
28	壯圍(二)		-35.2	-6.5
29	壯圍(三)		-35.7	-6.5
30	宜農(一)		-33.4	-6.2
31	宜農(二)		-33.0	-6.4
32	同樂	1.6	-32.6	-6.2
33	吳沙(一)	0.4	-30.5	-5.8
34	吳沙(二)	0.3	-32.4	-6.0
35	古亭(一)	0.3	-32.7	-6.3
36	古亭(二)	0.2	-33.5	-5.8
37	二龍	1	-32.4	-6.0
38	大福		-14.3	-2.6
39	礁溪新小(淺)		-37.1	-6.4
40	礁溪國小		-36.0	-6.5
40	礁溪新小(深)		-35.6	-6.2
41	頭城	1.4	-33.2	-5.9

氫數據來源：劉聰桂（2002）；氫氧同位素：彭宗仁（2013）採樣日期 2013 年 4 月

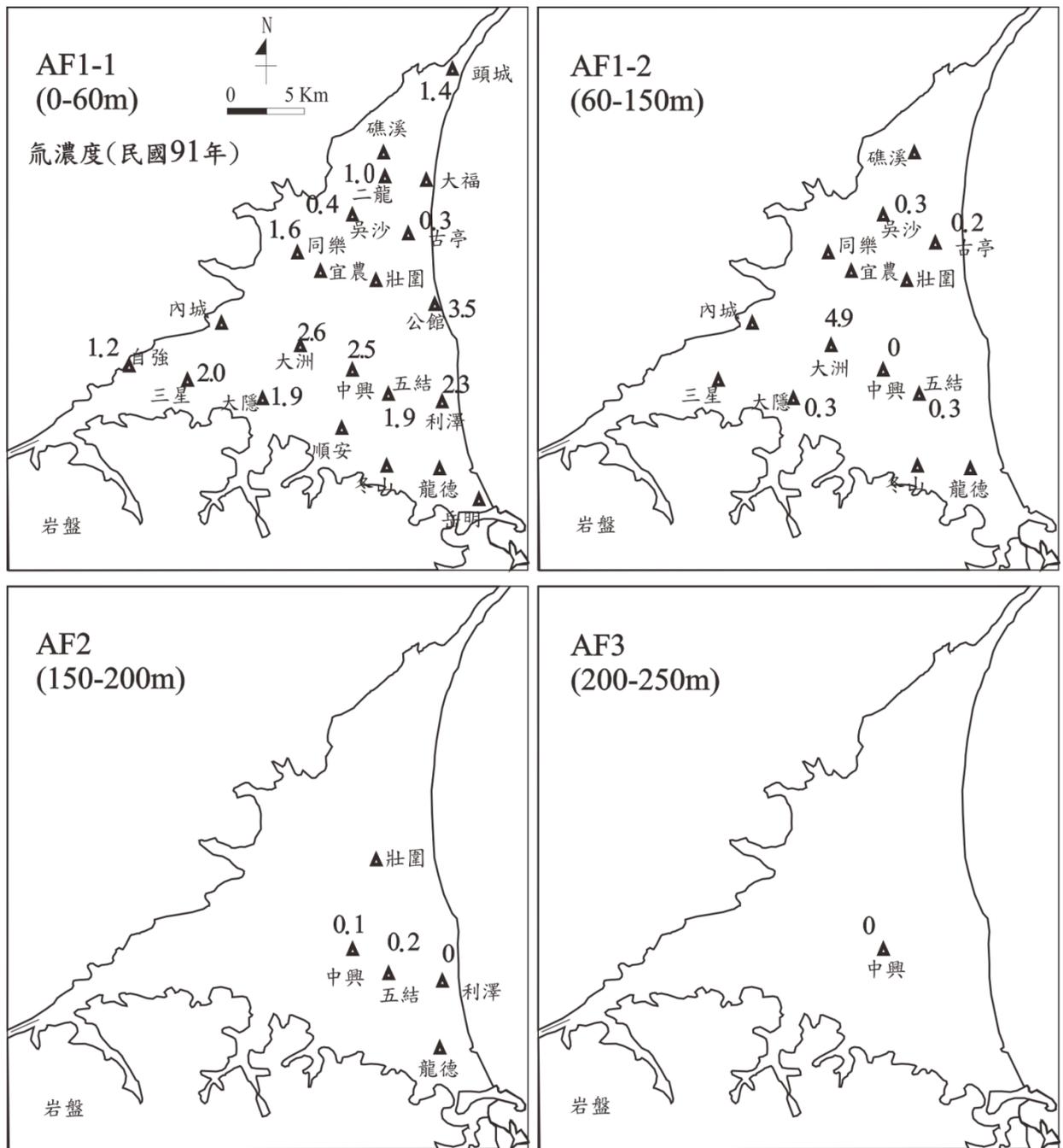


圖 2.5-1 蘭陽平原氡濃度分布圖

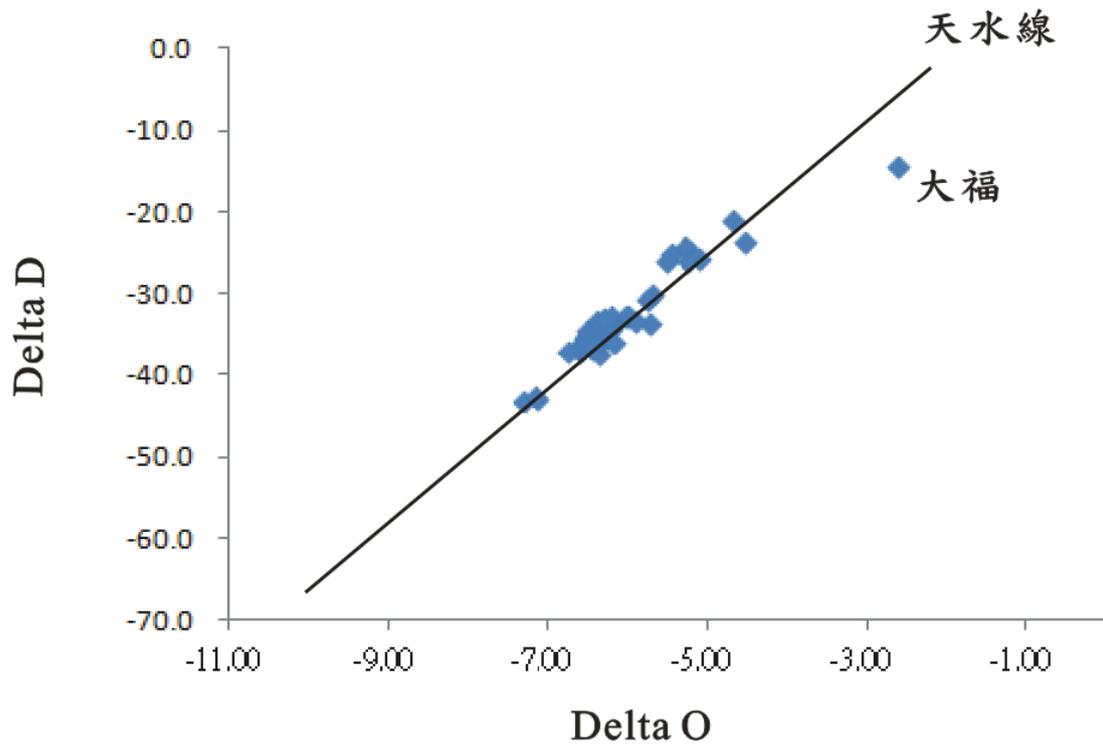


圖 2.5-2 蘭陽平原 102 年 4 月地下水氫氧同位素與天水線 (彭宗仁, 2002)

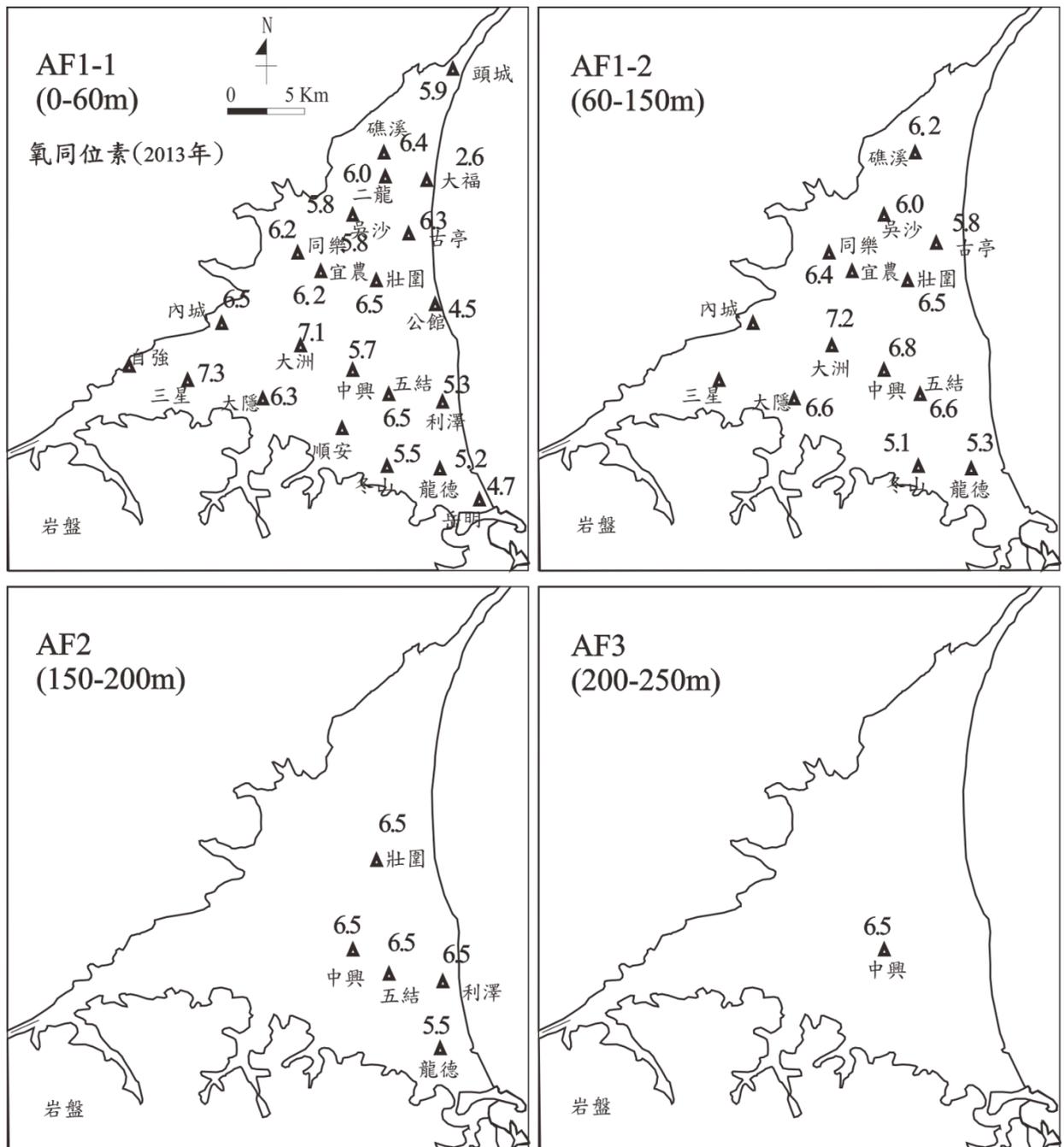


圖 2.5-3 蘭陽平原 102 年 4 月地下水氫氧同位素分層分布圖

第三章 湧泉調查

扇頂補注區的範圍，若以鑽探資料為主，因大洲站有巨厚礫石，所以邊界應在大洲站以東（圖 1.2-1 及圖 3.1-1）。但湧泉多出現在大洲站以西，例如：大湖路、柯林湧泉、鹿埔湧泉等，表示該地區為受壓與非受壓水層之交界（圖 3.1-2），因此扇頂補注區的交界應在大洲站以西。另外農委會水保局（未發表）的埤塘位置圖顯示（圖 3.1-3），埤塘多位於大洲站以西，此處次的埤塘可能大多為天然湧泉所形成，也有可能指示出受壓與非受壓水層之交界。

蒐集現有的湧泉共約 13 處（表 3.1-1），經 8 月 6 日現地調查（表 3.1-2），有些湧泉明顯，例如大湖路、柯林及鹿埔湧泉（圖 3.1-4 至 3.1.5），有些湧泉則並無明顯湧出現象，例如水井路及松樹門。部分湧泉位於私人土地上，因有商業開發，可能已混入井水，例如花泉、八甲、大隱、廣興、水筠等。另有兩處屬自來水公司之深溝淨水廠及廣興給水廠，文獻記載日據時代有湧泉，但因供應自來水，改為寬口井（井徑達 3.6 m）抽水。

大湖路湧泉的導電度很低約 $158 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，應來自於北邊山區之水源（溪水導電度約 $162 \mu\text{S}/\text{cm}$ ），因為蘭陽溪溪水的導電度較高。柯林湧泉的導電度較高約 $519 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，應來自於蘭陽溪溪水（溪水導電度約 $473 \mu\text{S}/\text{cm}$ ）。鹿埔湧泉的導電度較高約 $311 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，應來自於羅東溪溪水（鄰近的大隱一井導電度約 $256 \mu\text{S}/\text{cm}$ ）。

受壓與非受壓水層之交界界線若在大洲站以東，與大洲站以西的柯林湧泉，相差距離約 3 km。為釐清此問題，本計畫沿著羅東溪進行河道流速流量量測，以計算河道之出入滲率（圖 3.1-6）。分別於 5 月 16-17 日及 7 月 5 日共進行兩次流量量測。

5 月 16-17 日結果顯示：扇央區的大隱一路斷面，流量為 $0.0218 \pm 0.0018 \text{ cms}$ ，在其下游的大隱八路斷面流量為 $0.0195 \pm 0.00066 \text{ cms}$ ，入滲量約為 0.00233 cms ，除以有水面積 2100 m^2 ，入滲率約為 $1.11 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ （圖 3.1-7 及表 3.1-3）。扇尾區的廣興橋斷面，流量為 $0.123 \pm 0.0025 \text{ cms}$ ，在其下游的北成橋斷面流量為 $0.343 \pm 0.004 \text{ cms}$ ，出滲量約為 0.219 cms ，除以有水面積 9900 m^2 ，出滲率為 $2.21 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 。從河床出入滲調查數據可知，廣興橋以上為入滲河道，廣興橋以下至北成橋為出滲河道。

廣興橋至北成橋之間長約 2000 m，本研究於 7 月 5 日增加光華路斷面流量量測。結果顯示廣興橋至光華路為出滲河道，出滲率為 $5.50 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ；光華路至北成橋為入滲河道，入滲率為 $1.70 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ （表 3.1-4）。為了進一步了解廣興橋至光華路的出入滲情況，量測河床的垂向壓力差（圖 3.1-8），在河床點埋設 P1 及 P2 兩組壓力計（每點放置 10 分鐘），P1 與 P2 垂直距離為 10 cm，

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

若 $\Delta P < 10\text{cm}$ (水壓) 則表示入滲；反之、若 $\Delta P > 10\text{cm}$ 則表示出滲。共量測約 21 點，每點水平距離約 50 m，結果顯示有 2 點應為出滲河道(圖 3.1-9)。現場觀察發現，入滲段河道有出現泥質沉積，出滲段河道則河水較清澈、沒有泥層(圖 3.1-10)。

羅東溪出入滲調查與地面湧泉分布位置相當一致。今年度的柯林國小鑽探也顯示，泥層偏多，上部 2 m 及 8 m 深度以下有許多泥層(圖 3.1-11)，因此未受壓及受壓界線應在廣興橋附近，大約等高線 25~30 m。

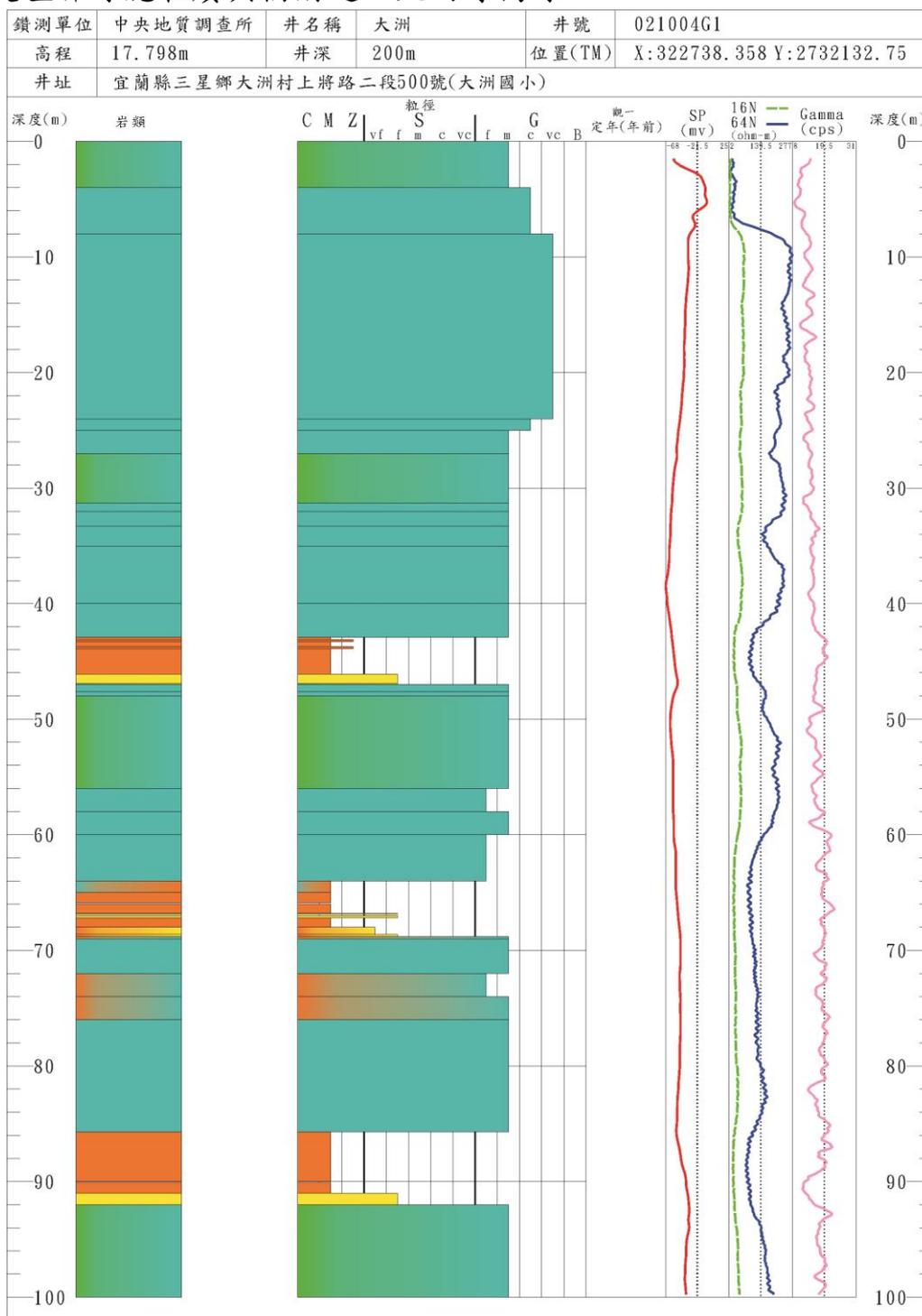


圖 3.1-1 大洲站之岩心紀錄

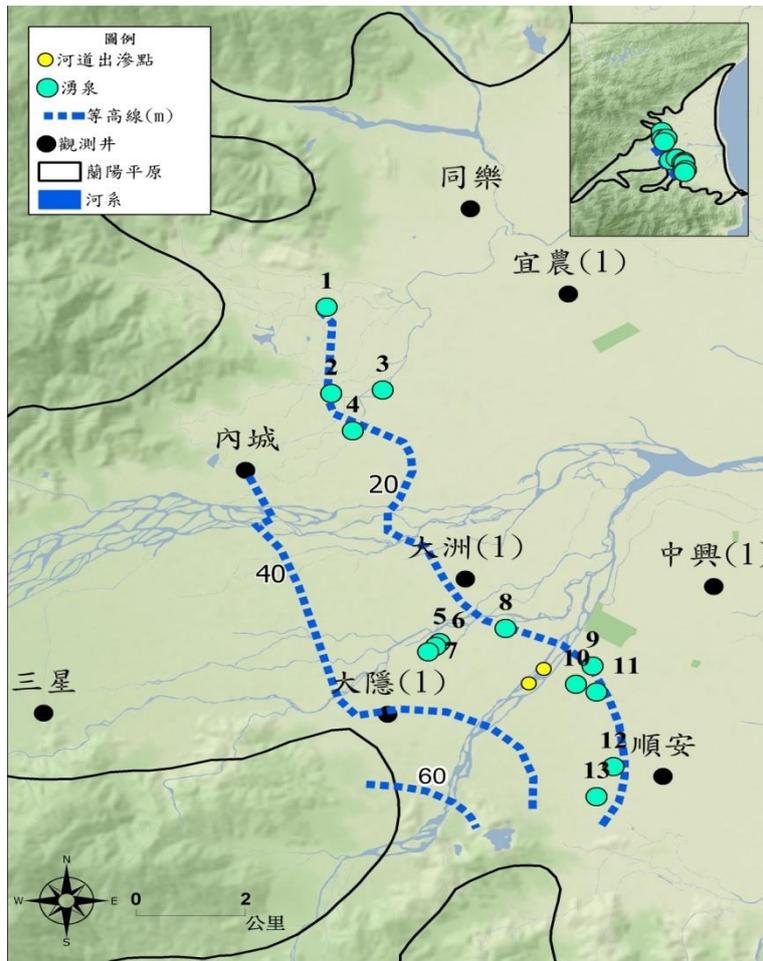


圖 3.1-2 蘭陽平原湧泉位置

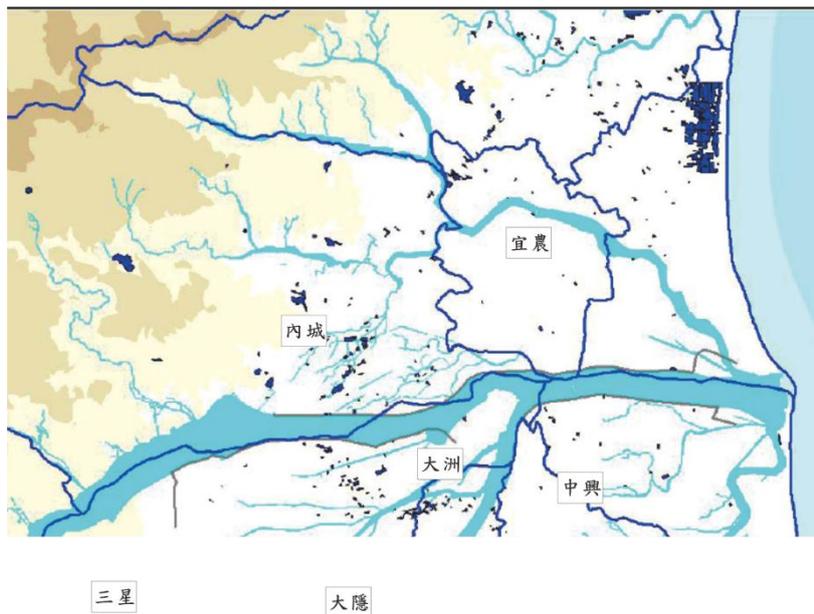


圖 3.1-3 蘭陽平原埤塘分布位置

表 3.1-1 蘭陽平原湧泉列表

名稱	其他名稱	所有權	臨近地址
1. 大湖路	螃蟹冒泡 大湖底休閒農業區	鄉公所	員山鄉湖北村大湖路 18 號
2. 花泉	橫山頭	私人農場	員山鄉八甲路 15-1 號
3. 八甲	八甲休閒魚場	私人	員山鄉八甲路 1-10 號
4. 深溝	淨水廠	自來水公司	員山鄉員山路 2 段 236 號
5. 安農	安農溪分洪堰 三星湧泉公園	農田水利會	
6. 柯林		農田水利會	三星鄉大埔二路 487 號
7. 大隱	大隱休閒農場	私人	三星鄉大埔路 104-17 號
8. 廣興	廣興農場	私人	冬山鄉光華三路 132 巷 12 號
9. 水筠	水筠間民宿 四人埤圳湧泉公園	部分私人	冬山鄉水井一路 246 巷 42 號
10. 水井	水井路/復興路交叉口	農田水利會	冬山鄉水井路 2 號
11. 羅東	廣興給水廠	自來水公司	冬山鄉廣興路 90 巷 51 號
12. 鹿埔		農田水利會	冬山鄉鹿埔路 656 巷口
13. 松樹門		農田水利會	冬山鄉松樹路 29 巷 22 號

表 3.1-2 蘭陽平原部分湧泉之導電度與水溫

名稱	座標	導電度 $\mu\text{S}/\text{cm}$	水溫 $^{\circ}\text{C}$	氣溫 $^{\circ}\text{C}$	流量 cms
大湖路	24° 44.730 121° 42.193	158	22.7	33.5	0.01
柯林	24° 40.761 121° 43.209	519	26.2	32.9	0.005
鹿埔	24° 39.504 121° 45.184	311	26.8	32.2	<0.001

量測時間：民國 102 年 8 月 6 日 10-12am



圖 3.1-4 大湖路湧泉(上)遠觀；(下)近照。



圖 3.1-5 (上)柯林湧泉；(下)鹿埔湧泉。

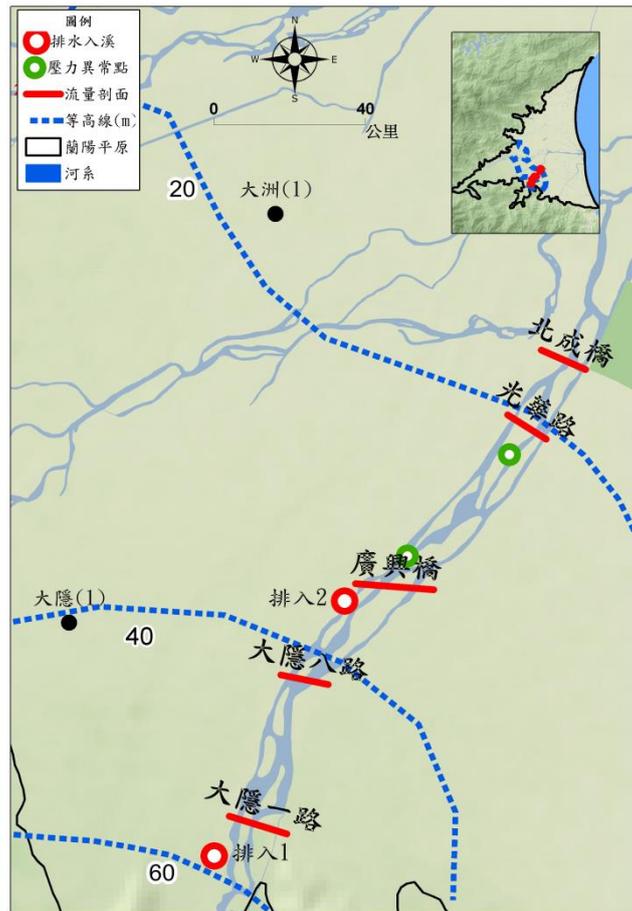


圖 3.1-6 羅東溪出入滲量測位置

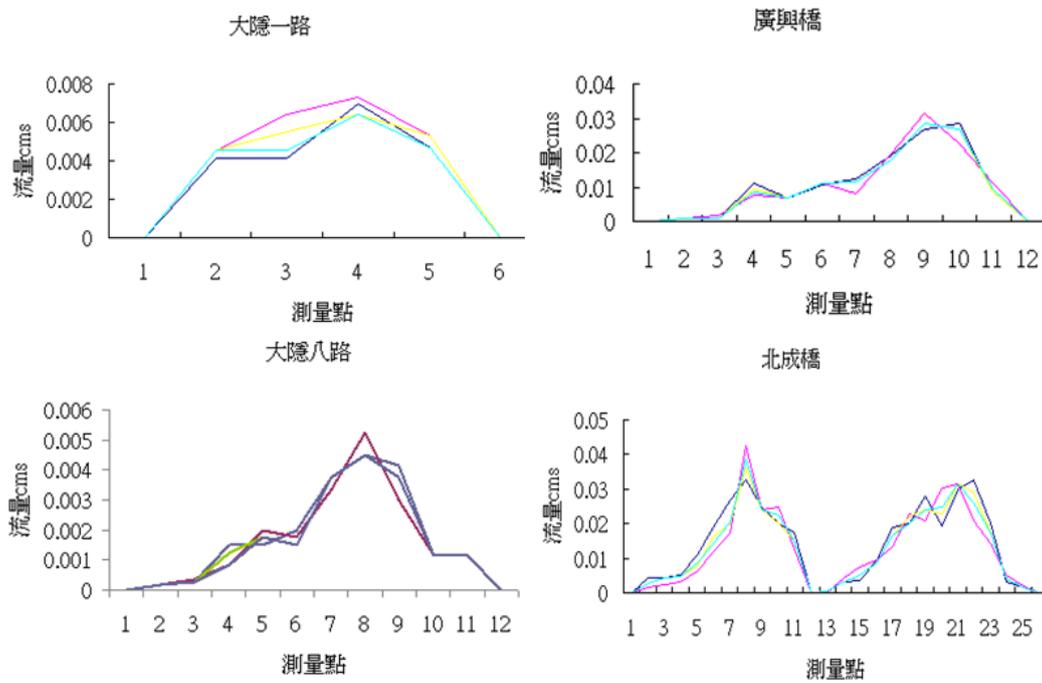


圖 3.1-7 羅東溪四個河道斷面的流量，測量點間距為 30cm，每個斷面量測 4 次

表 3.1-3 羅東溪第一次出入滲率量測結果

2013 年 5 月 17 日上午		2013 年 5 月 16 日下午	
羅東扇扇央		羅東扇扇尾	
標高	60-30m	標高	30-10m
大隱一路流量 cms	0.0218	廣興橋流量 cms	0.123
大隱八路流量 cms	0.0195	北成橋流量 cms	0.343
入滲量 cms	0.00233	入滲量 cms	-0.219 (出滲)
長度 m	1000	長度 m	2000
寬度 m	2.1	寬度 m	4.95
入滲率 m/s	1.11E-06	入滲率 m/s	-2.21E-05 (出滲)

表 3.1-4 羅東溪第二次出入滲率量測結果

2013 年 7 月 5 日			
廣興橋流量 cms	0.0072	光華路流量 cms	0.027
光華路流量 cms	0.027	北成橋流量 cms	0.021
入滲量 cms	-0.0198	入滲量 cms	0.006
長度 m	1000	長度 m	1000
寬度 m	3.6	寬度 m	3.5
入滲率 m/s	-5.50E-06 (出滲)	入滲率 m/s	1.70E-06

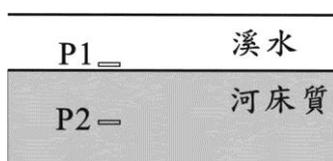


圖 3.1-8 出入滲壓力量測，p1 與 p2 間隔 10cm

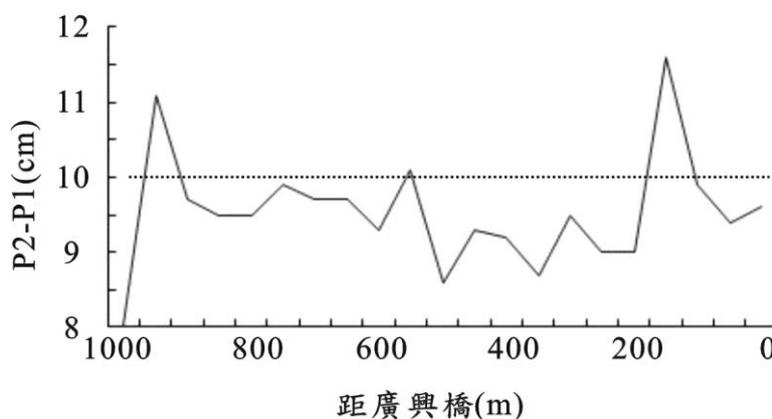


圖 3.1-9 出入滲壓力量測結果，有兩點的壓力大於 10cm，表示出滲



圖 3.1-10 羅東溪入滲河道泥層較厚（上圖），出滲河道河水較清澈（下圖）

鑽測單位	中央地質調查所	井名稱	柯林	井號	020851G1
高程	22.538m	井深	100m	位置(TM)	X:323208.295 Y:2730426.104
井址	宜蘭縣冬山鄉柯林村(埔林31)				

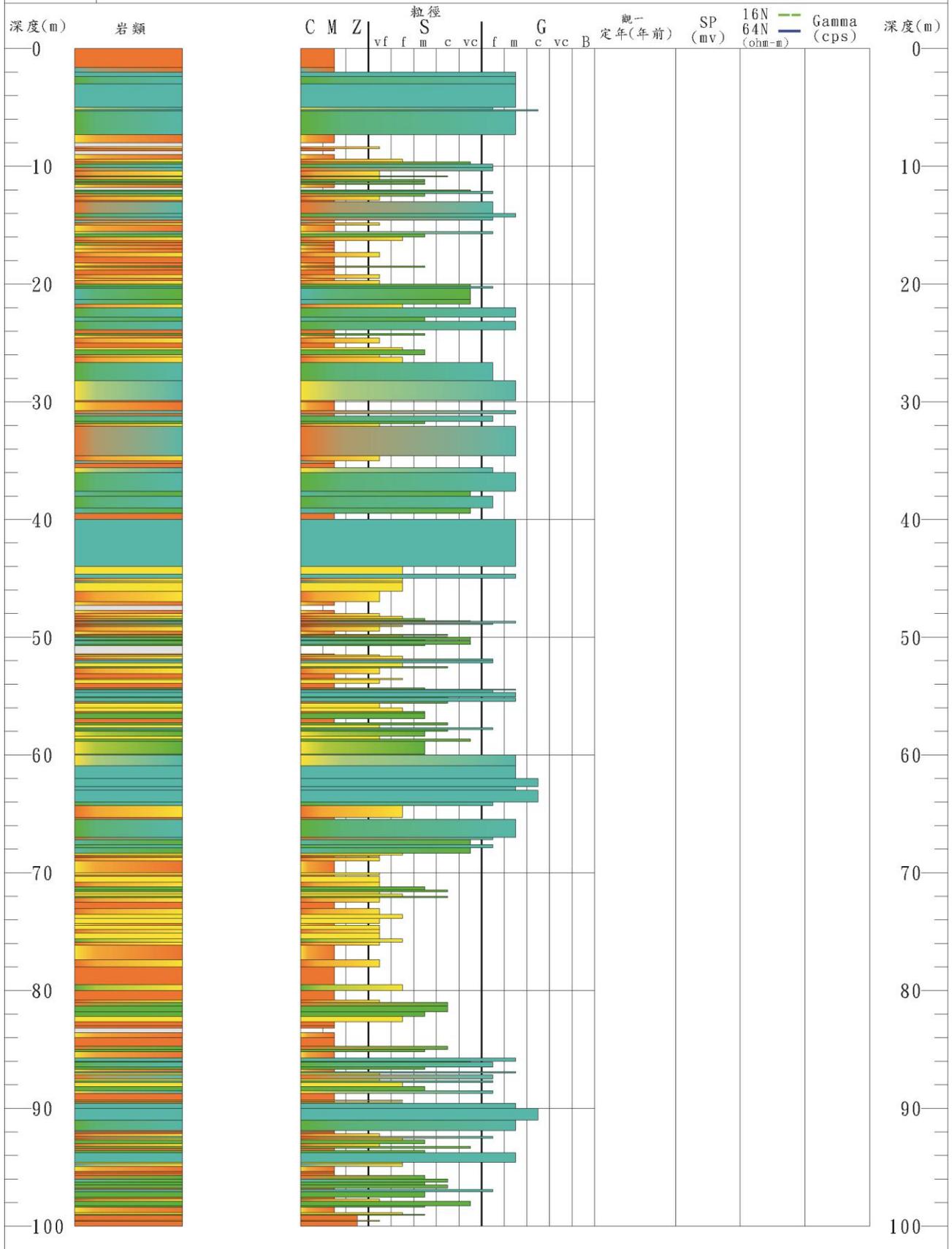


圖 3.1-11 柯林國小鑽探柱狀圖

第四章 地球化學補充調查

4.1 調查方法與規劃

4.1.1 地面水及地下水採樣方法

地面水採樣方法：尋找有水的河道，站在橋面上或接近河道處，將貝勒管丟入河道，採到水後，回收貝勒管，收取水樣。現場並以溫度、溶氧計、導電度計量測，本計畫以美國 Hydrolab mini-sonde 複合測棒深入河水中量測（圖 4.1-1）。

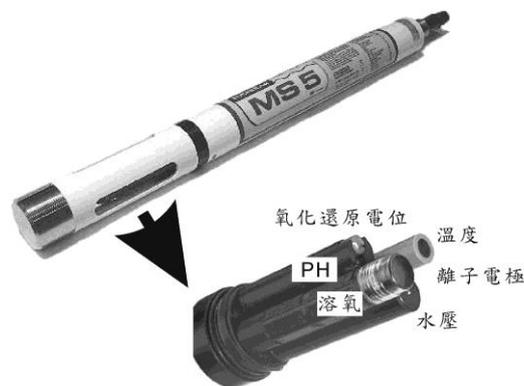


圖 4.1-1 美國 Hydrolab 水質測棒

地下水採樣方法：本計畫之採樣法大致依照行政院環境保護署於 92 年 11 月公告「地下水採樣方法」(W103.52B)，先抽出一至三倍井水(purging)後採樣，但因觀測井井徑達 6 英吋，最深井深達 300 m，若以低流量抽水(如 2 L/min)，每口時間所費甚久，因此實際抽水量約 5~10 cmh，單口採樣時間最長約 1 時 30 分。採樣後在現場以冰桶保存，在 24 小時內寄快遞送至嘉南藥理科技大學，全程以冰桶保存。

地下水的基本性質在現場檢測比較準確：溫度(T)、溶氧(DO)、氫離子濃度(pH)、氧化還原電位(ORP)、導電度(EC)等。現場人員每站量測之前先以標準液(導電度為 $1412 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、pH 三點校正為 4.0-7.0-10.0、溶氧為空氣飽和校正、氧化還原電位為 +280mV)，依照使用手冊方法校正。然後將水管出水口接封閉測量槽(flow cell)，以避免空氣混入，以手提式導電度計(美國 ORION Cond 130)、溶氧計(德國 WTW Oxi 315)、pH 計(德國 WTW pH Electrode SenTix 21)，每隔 5 分鐘記錄抽水之溫度、pH、EC、濁度，當抽出三倍井管水後，或 pH 及 EC 值穩定 ($\text{pH} \pm 0.1$, $\text{EC} \pm 5\%$)，才停止抽水。抽水同時每 5 分鐘量靜水位，並填寫現場採樣記錄表。

水樣保存：依照環保署規定，鹼度保存不超過 24 小時；硝氮保存不超過 48

小時；氯化物及氨態氮（需添加硫酸）可保存 7 天；一般重金屬過濾後加硝酸可保存六個月，硫離子需添加醋酸鋅並以氫氧化鈉調成鹼性可保存 7 天。

檢測方法與品管：本計畫之分析方法(表 4.1-1)，主要依據行政院環保署公告(NIEA)或國際組織之標準方法(APHA)。實驗室之品保品管程序，每一批次約 5~10 樣，以檢量線、空白樣品、查核樣品、重覆樣品及添加樣品來控制品管。查核樣品需來自不同於檢量線之標準品，添加樣品的基質為所採的地下水水樣，例如鹹水基質(氯化鈉高濃度)或是鈣鎂硬度高的地下水。

陰陽離子平衡：主要離子為地下水中溶解主成份：鈣、鎂、鉀、鈉、氯、硫酸根、碳酸氫根等七項，此陰離子及陽離子會呈電性平衡狀態，並與導電度呈正比關係(APHA, 1998)，因此可利用陰陽離子平衡來控管檢驗數據。本計劃的品管流程，先量測導電度，再分別檢驗陽離子及陰離子，其當量與導電度比值(D)需

$$0.9 < D < 1.3$$

$$D = EC / 100 \times \text{陰離子當量(或陽離子當量)}$$

$$EC \text{ 導電度 } \mu\text{S/cm}; \text{ 離子當量 } \text{meq/l}$$

表示檢測值和理論值符合，若有誤差，則需重新檢測導電度及離子濃度。在陰陽離子分別都通過導電度的校核後，再計算陰陽離子平衡，若誤差在 10% 以內，表示檢測值和理論值符合，若有誤差，在高鹽度水樣，通常先檢查氯離子及鈉離子的檢測數據，若查不出原因應重測。

數據分析步驟：氧化還原帶之建立。大區域的地下水常有氧化還原帶的分布。缺氧的水體受微生物還原作用，原有之溶氧消耗盡後，因能量多寡，依次會將硝酸鹽、硫酸鹽等還原為氮氣及硫離子，還原反應由溶氧還原至甲烷生成依次發生。地下水由補注區到受壓含水層，水中物質會因空氣被地層隔絕，沿流徑之地層沉積物中有機質因長時間降解(放出電子)，消耗許多有氧物質(例如溶氧)，故含水層由上游往下游，產生還原帶(Chapelle, 2001)，例如溶氧還原帶、硝酸鹽還原帶、鐵還原帶、硫酸根還原帶、甲烷生成帶等(圖 4.1-2)。

表 4.1-1 現場及實驗室化驗共 17 項

	項目	方法	單位
1	導電度	電子式	μS/cm
2	溫度	電子式	°C
3	pH	電極法	
4	氧化還原電位	電子式	mV
5	溶氧	電極法	mg/l
6	鹼度	滴定	mg/l
7	氯	離子層析	mg/l
8	硫酸根	離子層析	mg/l
9	鈉	光度計	mg/l
10	鉀	光度計	mg/l
11	鈣	滴定	mg/l
12	鎂	滴定	mg/l
13	氨氮	比色法	mg/l
14	硝氮	離子層析	mg/l
15	鐵	AA	mg/l
16	錳	AA	mg/l
17	硫化物	比色法	mg/l

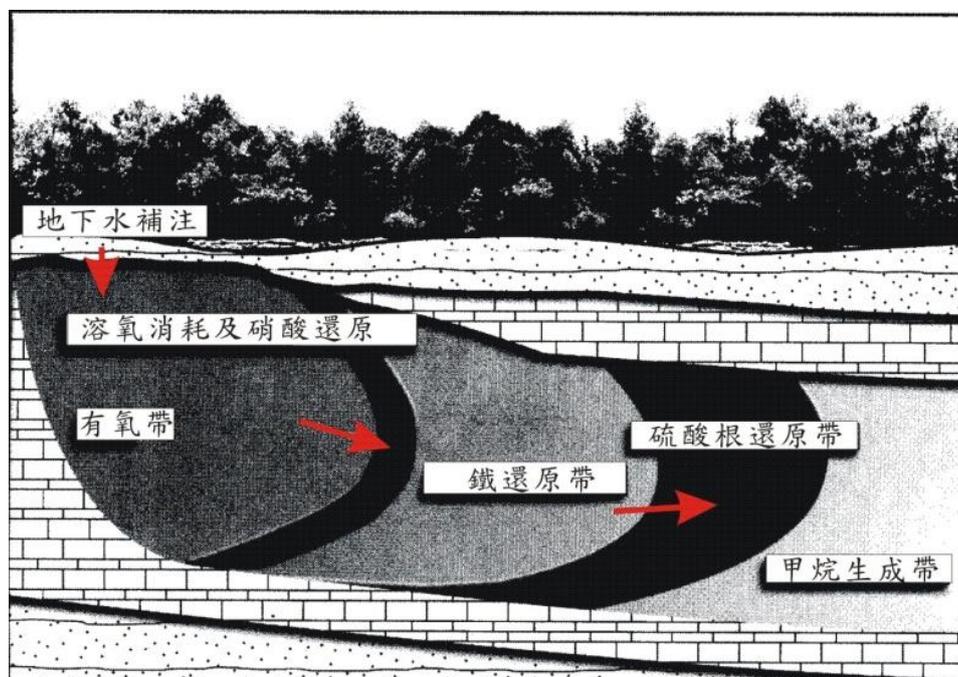


圖 4.1-2 地下水還原系列示意圖(Chapelle,2001)

區域性大範圍的地下水質調查，可以依此分類各還原帶。以濁水溪地區為

例：扇頂為地下水補注區，地下水中含溶氧及硝酸鹽，基本上氦及硫離子濃度很微量。扇中及扇尾進入受壓水層，不含溶氧，氦及硫離子濃度升高。進入最扇尾（雲林沿海地區）有些觀測井已可測到甲烷氣。調查地下水之溶氧及硝酸鹽濃度，以釐清溶氧帶及硝酸鹽還原帶之分布位置，可供地下水補注區及保護區劃設之參考。

本計畫收集扇頂區的歷年水質數據，例如早期的地下水勘測隊、地下水觀測網的新建井水質化驗、水利署的常態性水質監測、加上本計畫所檢驗的數據，以探討水質之優劣及時間演變（表 4.1-2）。

表 4.1-2 飲用水源及灌溉用水質標準

檢測項目	單位	環保署飲用水	環保署飲用水水	灌溉用水 水質標準
		水源水質標準 甲	源水質標準 乙	
1. 水溫 T	°C	-----	-----	<35
2. 氦離子濃度 pH	-----	-----	-----	6.0-9.0
3. 氧化還原電位 ORP	mV(at25°C)	-----	-----	-----
4. 溶氧 DO	mg/L	-----	-----	>3
5. 導電度(at25°C) EC	µS/cm	-----	-----	750
6. 總溶解固體 TDS	mg/L	-----	500	-----
7. 鈣 Ca	mg/L	-----	-----	-----
8. 鎂 Mg	mg/l	-----	-----	-----
9. 硬度 Hard	mg/L	-----	-----	-----
10. 鉀 K	mg/L	-----	-----	-----
11. 鈉 Na	mg/L	-----	-----	-----
12. 總鹼度 Alk.	mg/L	-----	-----	-----
13. 氯鹽 Cl ⁻	mg/L	-----	250	175
14. 硫酸根 SO ₄ ⁻²	mg/L	-----	250	200
15. 硝酸鹽氮 NO ₃ ⁻ -N	mg/L	-----	10.0	-----

*甲類：自來水、簡易自來水 乙類：乙1：盛裝水、公共飲用之連續供水
乙2：社區自設公共給水、包裝水

趨勢分析：使用 Mann-Kendall 法 (Kendall, 1975)。顯著值 S 以公式 4-1 定義之：

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(X_j - X_k) \dots\dots\dots(\text{式 4-1})$$

$$\text{sign}(X_j - X_k) = 1 \quad \text{若 } X_j - X_k > 0$$

$$\text{sign}(X_j - X_k) = 0 \quad \text{若 } X_j - X_k = 0$$

$$\text{sign}(X_j - X_k) = -1 \quad \text{若 } X_j - X_k < 0$$

X_j 為時間 j 之數值、 X_k 為時間系列之數值 (共有 n 個值)。顯著值 S 為正值，表示有增加趨勢；若為負值，表示遞減之趨勢。其顯著性之分布機率 $f(z)$ 可由標準化後之統計值 (Z 值) 及變異數 $\text{VAR}(S)$ 來推算：

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \dots\dots\dots(\text{式 4-2})$$

n 為數據個數、 g 群組數、 t_p 為第 p 個群組之數據個數。標準化後之統計值 (Z 值)：

$$\text{若 } S=0 \text{ 則 } Z=0$$

$$\text{若 } S>0 \text{ 則 } Z=(S-1)/[\text{VAR}(S)]^{1/2}$$

$$\text{若 } S<0 \text{ 則 } Z=(S+1)/[\text{VAR}(S)]^{1/2} \dots\dots\dots(\text{式 4-3})$$

分布機率 $f(z)$

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \dots\dots\dots(\text{式 4-4})$$

一般以 90~95% 為顯著水平，本研究以 90% 為判斷是否有顯著趨勢。

4.1.2 地下水溫度剖面調查方法

地下水的溫度受地面氣溫、地下水補注、地下水流動、及地溫梯度的影響。在抽水頻繁的地區，因人為抽水加速地下水的流動，導致地下水溫出現異常的分布。地下水溫剖面，通常可以指示地下水流向。其工作方法為先單口井量測該井的水溫剖面，量測鄰近的多口井後，再合成地區性的地下水溫剖面。以礁溪溫泉地區為例 (圖 4.1-3)，綜合 9 口井之井溫剖面，合成地下水水溫剖面，發現 20-50 m 處的溫度異常，推測為主要之抽水層次。

垂直井溫剖面量測方法，使用 Troll 200 測棒 (圖 4.1-4)，進入地下水面後，每間隔 5 m 測量一點水溫數據，每點停留至少 2 min，因每點溫度同時有水壓數據，即可換算該井深的溫度。量測時由上往下量一次，第一點需停留 10 min 以

上，以待測棒與地下水之間溫度達到平衡。

美國 In-situ troll 200 為水壓、導電度與溫度三合一自記式測棒。溫度量測範圍-20~80°C、準確度 0.1°C、解析度 0.01°C；壓力量測範圍可達 350 m 水壓、準確度 0.1%（相當於 2 cm）、解析度 0.005%（1 mm）。監測數據自記於測棒內，由人工定期連接電腦收取數據，同時進行數據確認。水溫確認方式為比對標準溫度計的讀數，誤差需在 0.1°C 內，超過此值，需送回原廠校正。水壓確認方式，儀器的水位讀值與水位尺量測值比對，若誤差大於 2 cm，需送回原廠校正。

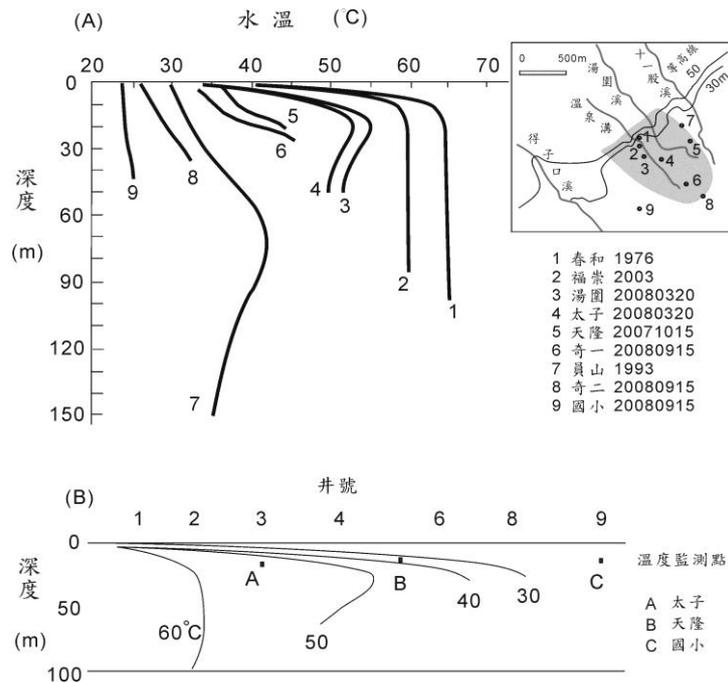


圖 4.1-3 (A) 礁溪溫泉之井溫剖面。(B) 水溫剖面，由西北向東南、水溫漸降，推測 20-50m 處之水流最快。



圖 4.1-4 美國 In-situ Troll-200 水壓、水溫及導電度自記測棒

4.2 水質調查結果

4.2.1 地面水及地下水之溶氧及硝酸鹽帶

蘭陽平原本年度採樣之地下水溶氧及硝酸鹽濃度如表 4.2-1 及表 4.2-2，溶氧濃度之空間分布如圖 4.2-1。溶氧大於 0.5 mg/l 的井大都分布在扇頂，例如三星、大隱及內城，及靠山區的平原，例如冬山、礁溪及岳明。表示地下水補注，除了從蘭陽溪來的水源，應有許多地下水的來源為山區側邊來的小溪，例如北邊的得子口溪、南邊的羅東溪及冬山河。地面水的採樣位置皆靠近山區與平原交界處，2013 年 4 月旱季除了兩條溪為乾涸狀態--大小礁溪及羅東溪，溪水中的溶氧都很高，達 7~9 mg/l（表 4.2-3、表 4.2-4），表示溪水並無污染，另外，冬季氣溫及水溫低，溶氧會稍高。

本區地下水的硝酸鹽氮濃度都不高（表 4.2-5），推測從山區來的水源硝酸鹽濃度並不高，2000 年至 2013 年的數據統計，曾經硝酸鹽氮濃度大於 1 mg/l 的井有 5 口：大隱一、三星、自強、礁溪二及頭城。本年度採樣檢測（2013 年 4 月）以礁溪站的硝酸鹽氮濃度最高 2.25 mg/l，推測可能本站位於市區，受到人為影響較大（圖 4.2-2）。地面水的硝酸鹽氮有三處的濃度較高，粗坑溪（自強站的上游）2.04 mg/l、安平坑溪（冬山站的上游）3.66mg/l、新城溪（龍德站的上游）3.68 mg/l，蘭陽溪主流的硝酸鹽氮很低、低於 0.01 mg/l。

扇頂補注區的範圍，若以鑽探資料為劃設依據，以沒有上覆泥層、且有巨厚礫石含水層劃為扇頂區，其東側範圍約在大洲站與中興站之間，但若以溶氧大於 0.5 mg/l 為依據（圖 4.2-1），則不含大洲站（大洲站兩口井的溶氧都低於 0.5 mg/l），大洲站雖有厚的礫石層，但其溶氧及硝酸鹽氮都明顯偏低（圖 4.2-2）。

表 4.2-1 地下水之溶氧等基本水質(2013 年 4 月)

編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮
		μS/cm		mg/l	mV	mg/l
1	岳明一	321	5.79	2.07	118	0.06
2	冬山一	306	7.65	0.91	-188	0.16
3	冬山二	313	7.96	0.92	-204	0.21
4	龍德一	384	7.97	0.79	-190	0.12
5	龍德二	996	8.75	0.94	-206	0.28
6	龍德三	1425	7.80	0.32	-221	0.15
7	龍德四	1473	6.89	0.18	-141	0.48
8	順安	230	7.32	0.33	-143	0.09
9	利澤一	218	8.15	0.75	-193	0.02
10	利澤二	831	7.13	0.15	-163	0.26

編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮	
		μS/cm		mg/l	mV	mg/l	
11	大隱一	256	6.85	6.05	142	1.63	
12	大隱二	416	7.25	2.12	105	0.32	
13	五結一	783	9.06	0.44	-216	0.30	
14	五結二	576	8.66	0.42	-195	0.02	
15	五結三	925	8.92	0.42	-207	0.31	
16	五結四	882	8.90	0.14	-178	0.25	
17	三星	489	6.94	3.39	72	0.48	
18	大洲一	564	7.09	0.44	-130	0.10	
19	大洲二	517	7.59	0.24	-140	0.01	
20	自強一	無水					
21	中興一	409	7.25	1.07	-146	0.08	
22	中興二	489	7.46	1.47	-152	0.22	
23	中興三	510	7.33	0.13	-144	0.37	
24	中興四	513	7.25	0.12	-138	0.16	
25	內城一	180	6.94	5.71	174	0.60	
26	公館	2350	8.72	0.29	-269	0.12	
27	壯圍一	583	7.92	0.61	-159	0.10	
28	壯圍二	1115	8.25	0.29	-188	0.10	
29	壯圍三	908	7.56	0.15	-150	0.34	
30	宜農一	318	6.37	0.10	-219	0.36	
31	宜農二	303	6.49	0.64	-179	0.24	
32	同樂	319	7.61	0.17	-183	0.31	
33	吳沙一	430	7.16	0.40	-152	0.27	
34	吳沙二	224	8.26	0.28	-206	0.10	
35	古亭一	522	9.11	0.63	-151	0.01	
36	古亭二	6460	9.27	0.14	-249	0.18	
37	二龍	341	9.43	0.23	-185	0.08	
38	大福	23300	8.19	0.22	-186	0.16	
39	礁溪一	234	7.05	1.45	76	1.43	
40	礁溪二	190	7.15	3.42	150	2.25	
41	頭城一	255	8.64	0.27	-113	0.44	

表 4.2-2 地下水之溶氧等基本水質(2013 年 9 月)

編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮
		μS/cm		mg/l	mV	mg/l
1	岳明一	403	5.92	2.19	180	0.07
2	冬山一	311	7.68	0.23	-248	0.21
3	冬山二	322	7.86	0.22	-274	0.07
4	龍德一	430	7.07	0.22	-240	0.06
5	龍德二	1402	8.35	0.21	-328	0.24
6	龍德三	1603	7.64	0.12	-245	0.15
7	龍德四	1613	6.62	0.19	-194	0.51
8	順安	318	7.00	0.32	-281	0.43
9	利澤一	240	7.38	0.11	-260	0.09
10	利澤二	1750	6.83	0.18	-250	0.26
11	大隱一	320	6.83	5.69	129	0.68
12	大隱二	461	7.03	2.19	88	0.14
13	五結一	981	8.04	0.32	-313	0.16
14	五結二	636	7.71	0.16	-281	0.27
15	五結三	1045	8.14	0.35	-259	0.36
16	五結四	941	8.05	0.04	-227	0.29
17	三星	556	7.06	5.85	212	0.68
18	大洲一	627	7.30	0.22	-217	0.05
19	大洲二	586	7.33	0.32	-167	0.04
20	自強一					
21	中興一	441	7.05	1.23	167	0.12
22	中興二	553	7.09	0.14	-225	0.24
23	中興三	566	7.04	0.39	-213	0.37
24	中興四	564	6.98	0.20	-235	0.15
25	內城一	186	7.04	6.30	29	0.38
26	公館	3800	8.06	0.39	-305	0.05
27	壯圍一	625	8.03	0.16	-223	0.56
28	壯圍二	1189	8.36	0.21	-283	0.12
29	壯圍三					
30	宜農一	346	7.63	0.26	-238	0.40
31	宜農二	337	7.60	0.38	-219	0.27
32	同樂	450	7.62	0.47	-294	0.47
33	吳沙一	417	7.24	0.32	-229	0.19
34	吳沙二	249	7.99	0.25	-282	0.08
35	古亭一	557	7.99	0.23	-203	0.24

編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮
		μS/cm		mg/l	mV	mg/l
36	古亭二	6620	8.20	0.41	-273	0.10
37	二龍	342	8.33	0.14	-297	0.15
38	大福	22100	7.36	0.29	-271	0.28
39	礁溪一	251	7.15	1.15	55	1.13
40	礁溪二	187	7.13	0.14	-78	0.41
41	頭城一	289	7.36	0.39	-164	1.08

表 4.2-3 地面水及雨水之溶氧等基本水質(2013 年 4 月)

編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮
		μS/cm		mg/l	mV	mg/l
1	福德坑溪	165	7.53	7.75	256	0.44
2	得子口溪	257	7.66	8.77	224	<0.01
3	大小礁溪	無水				
4	五十溪	162	7.71	7.32	150	<0.01
5	粗坑溪	141	7.15	8.55	175	2.04
6	蘭陽溪	473	8.10	8.32	147	<0.01
7	羅東溪	無水				
8	十三分坑	269	7.23	7.75	138	<0.01
9	安平坑	180	7.48	7.82	197	3.66
10	新城溪	184	7.95	8.13	214	3.68
11	雨水	35	4.80	8.45	233	0.23
12	雨水	61	5.20	8.32	274	<0.01

表 4.2-4 地面水及雨水之溶氧等基本水質(2013 年 9 月)

編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮
		μS/cm		mg/l	mV	mg/l
1	福德坑溪	166	7.13	7.32	217	0.28
2	得子口溪	284	7.32	8.52	239	0.12
3	大小礁溪	181	7.55	7.61	245	0.21
4	五十溪	153	7.34	7.17	119	0.69
5	粗坑溪	109	7.04	8.37	173	0.21
6	蘭陽溪	295	7.65	8.91	153	0.50
7	羅東溪	251	7.83	7.51	164	0.18
8	十三分坑	290	7.54	7.35	194	1.33

編號	站名	導電度	pH	溶氧	氧化還原電位	硝態氮
		$\mu\text{S/cm}$		mg/l	mV	mg/l
9	安平坑	221	7.74	7.59	184	1.40
10	新城溪	231	7.68	8.56	212	0.27
11	雨水	30	4.70	8.11	211	<0.01
12	雨水	45	5.05	7.46	217	<0.01

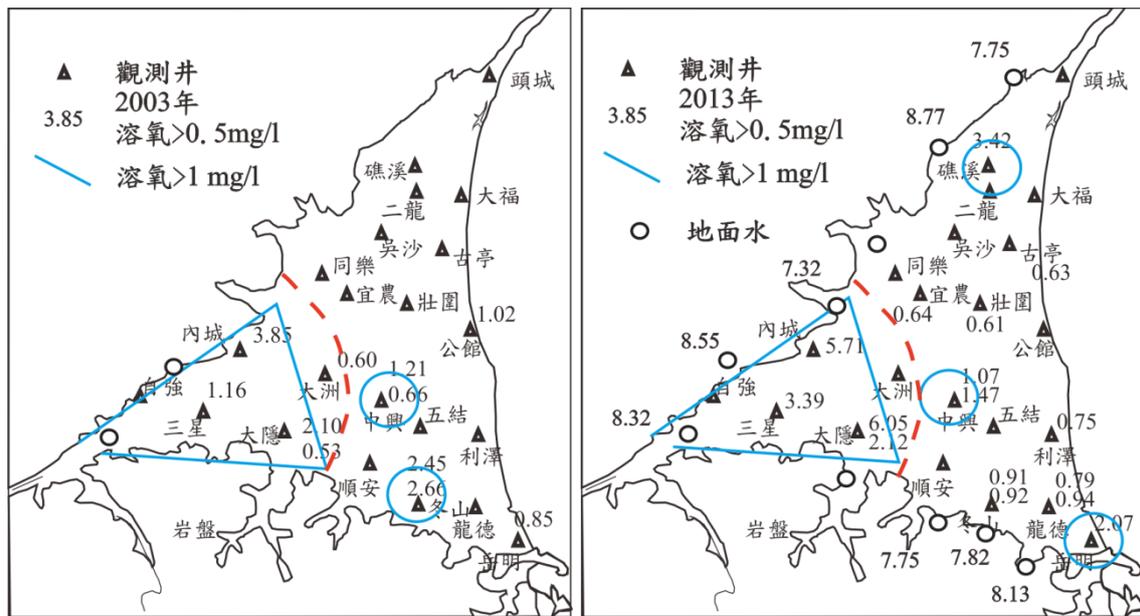


圖 4.2-1 蘭陽平原地下水之溶氧濃度；(A)2003 年；(B)2013 年 4 月。紅色虛線為根據礫石分布所畫的扇頂範圍。

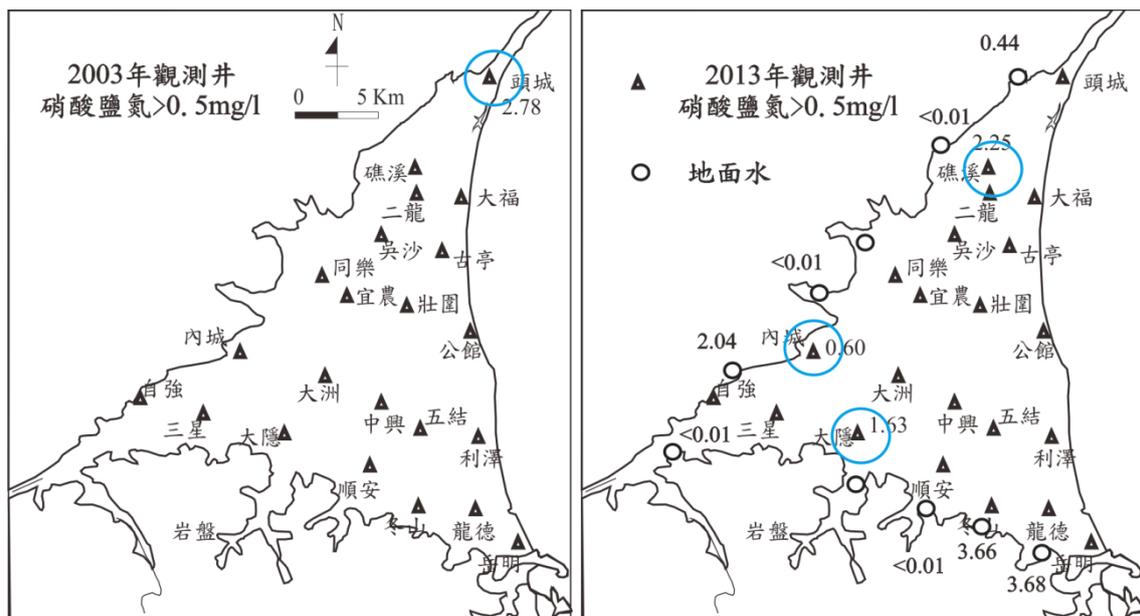


圖 4.2-2 蘭陽平原地下水之硝酸鹽氮濃度；(A)2003 年；(B)2013 年 4 月

表 4.2-5 觀測井歷年硝酸鹽氮濃度(mg/l)

編號	站名	89 年度	91 年度	92 年度	93 年度	94 年度	102 年 4 月	102 年 9 月
1	岳明一	0.058	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.06	0.07
2	冬山一		0.37	0.27	0.15	0.01	0.16	0.21
3	冬山二		0.09	0.15	<0.01	0.02	0.21	0.07
4	龍德一	0.063	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.12	0.06
5	龍德二	0.558	0.24	<0.01	<0.01	0.01	0.28	0.24
6	龍德三	0.068	0.24	0.42	<0.01	0.01	0.15	0.15
7	龍德四	0.455	0.42	<0.01	<0.01	0.01	0.48	0.51
8	順安			<0.01	0.15	0.01	0.09	0.43
9	利澤一	0.152	0.38	<0.01	0.15	<0.01	0.02	0.09
10	利澤二	0.05	0.51	0.15	0.2	0.01	0.26	0.26
11	大隱一	0.329	1.37	<0.01	1.03	0.15	1.63	0.68
12	大隱二	0.065	0.17	<0.01	0.35	0.04	0.32	0.14
13	五結一	0.05	0.44	0.4	0.16	0.01	0.3	0.16
14	五結二	0.509	0.41	<0.01	<0.01	0.01	0.02	0.27
15	五結三	0.049	0.42	0.31	<0.01	0.01	0.31	0.36
16	五結四	0.529	0.34	<0.01	<0.01	0.01	0.25	0.29
17	三星			<0.01	2.27	0.3	0.48	0.68
18	大洲一			<0.01	0.17	0.01	0.1	0.05
19	大洲二			<0.01	0.15	<0.01	<0.01	0.04
20	自強一	0.123	0.44		1.05	0.16		
21	中興一	0.065	0.06	<0.01	0.15	0.01	0.08	0.12
22	中興二	0.049	<0.01	<0.01	0.15	0.01	0.22	0.24
23	中興三	0.063	0.25	0.45	0.15	0.01	0.37	0.37
24	中興四	0.053	0.09	<0.01	0.15	0.01	0.16	0.15
25	內城一		0.8	<0.01	0.82	0.08	0.6	0.38
26	公館			<0.01	<0.01	0.01	0.12	0.05
27	莊園一		0.09	0.15	0.17	0.01	0.1	0.56
28	莊園二		0.09	<0.01			0.1	0.12
29	莊園三		0.12	<0.01	0.16	0.01	0.34	
30	宜農一		0.07	0.41	0.15	0.01	0.36	0.40
31	宜農二		0.06	<0.01	0.14	0.01	0.24	0.27
32	同樂			<0.01	0.15	0.01	0.31	0.47
33	吳沙一			0.35	<0.01	<0.01	0.27	0.19
34	吳沙二			<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.08
35	古亭一			0.2	<0.01	0.02	<0.01	0.24
36	古亭二			<0.01	<0.01	<0.01	0.18	0.10

編號	站名	89 年度	91 年度	92 年度	93 年度	94 年度	102 年 4 月	102 年 9 月
37	二龍			<0.01	<0.01	<0.01	0.08	0.15
38	大福		<0.01	<0.01	<0.01	0.17	0.16	0.28
39	礁溪一						1.43	1.13
40	礁溪二		0.06	<0.01	<0.01	0.01	2.25	0.41
41	頭城一	0.137	2.34	2.78	<0.01	0.07	0.44	1.08

4.2.2 地面水及地下水之導電度

蘭陽平原地下水歷年的導電度如表 4.2-6，分層分布如圖 4.2-3 (2003 年) 及圖 4.2-4 (2013 年 4 月)。從第 1-1 含水層的導電度分布可以明顯看出，側邊山區來的水源影響很大。沿山區的觀測井地下水的導電度都低於 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，同時側邊山區溪水的導電度也較低，約在 150~250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (圖 4.2-4)，反應出靠山邊的地下水應來自山區的小溪，而蘭陽溪溪水的補注僅限於中間部分。根據環保署溪水歷年監測數據，蘭陽溪的溪水導電度較高，約在 400~600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (圖 4.2-5)，冬山河及新城溪的溪水導電度較低，約在 150~250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (圖 4.2-6)，與本計畫的調查結果一致。

表 4.2-6 觀測井歷年導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)

編號	站名	89 年度	91 年度	92 年度	93 年度	94 年度	102 年 4 月	102 年 9 月
1	岳明一	322	374	399	458	502	321	403
2	冬山一	446	286	315	312	277	306	311
3	冬山二	212	166	164	252	195	313	322
4	龍德一	311	321	333	361	420	384	430
5	龍德二	1283	1328	1292	1301	1312	996	1402
6	龍德三	1561	2430	1695	1723	1858	1425	1603
7	龍德四	1574	1535	1498	1483	1575	1473	1613
8	順安		241	340	300	235	230	318
9	利澤一	230	190	174	171	169	218	240
10	利澤二	1646	1842	1875	1809	1851	831	1750
11	大隱一	234	161	215	303	398	256	320
12	大隱二	413	379	411	425	195	416	461
13	五結一	517	681	843	853	813	783	981
14	五結二	525	522	525	536	518	576	636
15	五結三	930	964	941	955	949	925	1045
16	五結四	800	802	793	784	800	882	941
17	三星		501	527	644	536	489	556

編號	站名	89 年度	91 年度	92 年度	93 年度	94 年度	102 年 4 月	102 年 9 月
18	大洲一		485	560	568	516	564	627
19	大洲二		423	651	750	520	517	586
20	自強一	303	353		388	152		
21	中興一	402	373	386	384	563	409	441
22	中興二	468	440	468	473	442	489	553
23	中興三	522	543	531	563	518	510	566
24	中興四	530	510	524	527	506	513	564
25	內城一	164	154	169	191	166	180	186
26	公館		927	561	2590	2060	2350	3800
27	壯圍一	459	575	546	576	597	583	625
28	壯圍二	1102	1054	1062			1115	1189
29	壯圍三	897	938	926	932	933	908	
30	宜農一	331	282	428	326	310	318	346
31	宜農二	295	270	269	293	253	303	337
32	同樂		258	221	239	201	319	450
33	吳沙一		285	642	477	375	430	417
34	吳沙二		232	237	225	212	224	249
35	古亭一		475	506	513	505	522	557
36	古亭二		45800	46000	46100	47000	6460	6620
37	二龍		210	481	443	416	341	342
38	大福	27630	30000	29100	29400	23700	23300	22100
39	礁溪一						234	251
40	礁溪二						190	187
41	頭城一	225	234	248	249	256	241	289

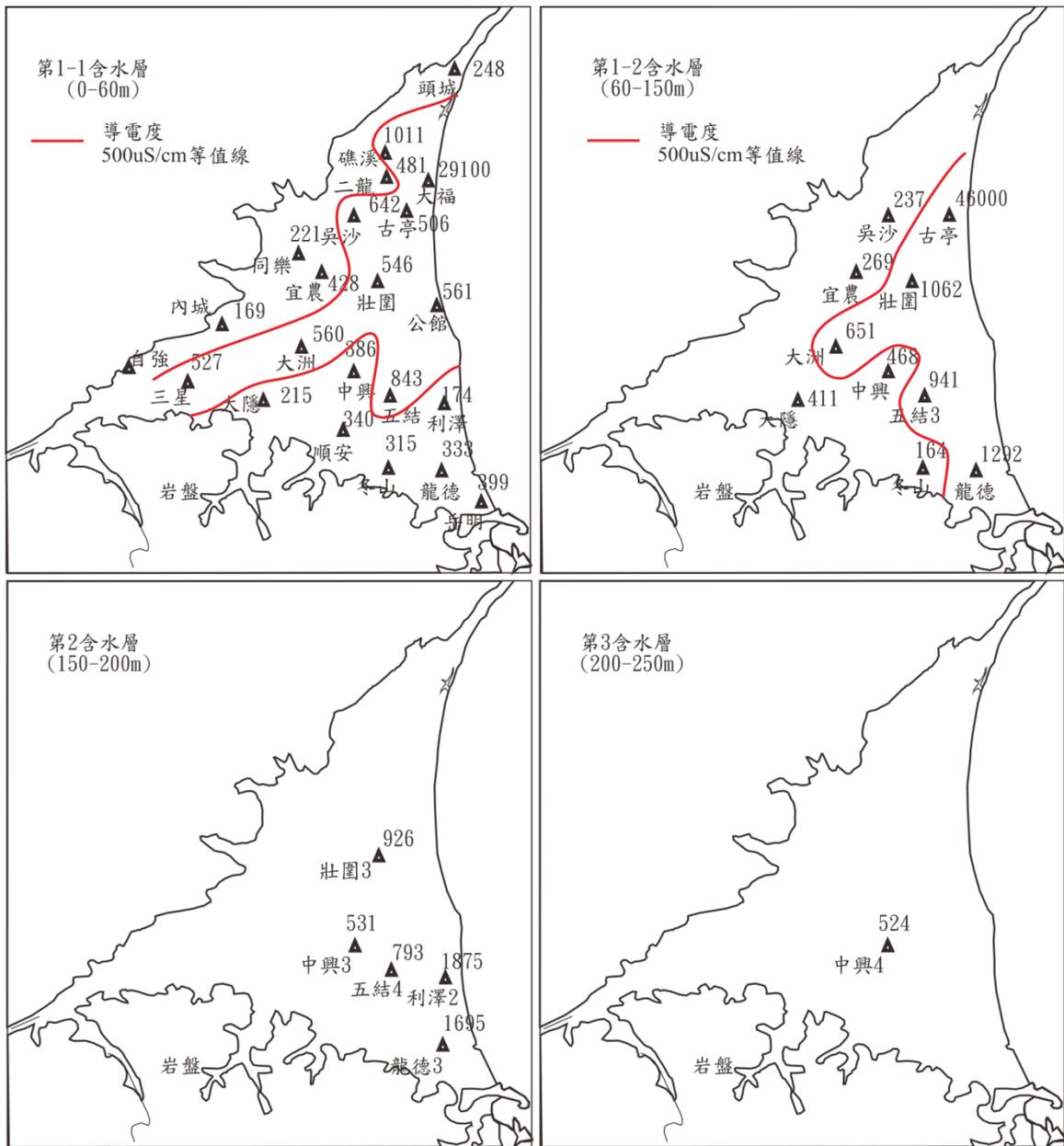


圖 4.2-3 蘭陽平原地下水分層之導電度(2003 年)

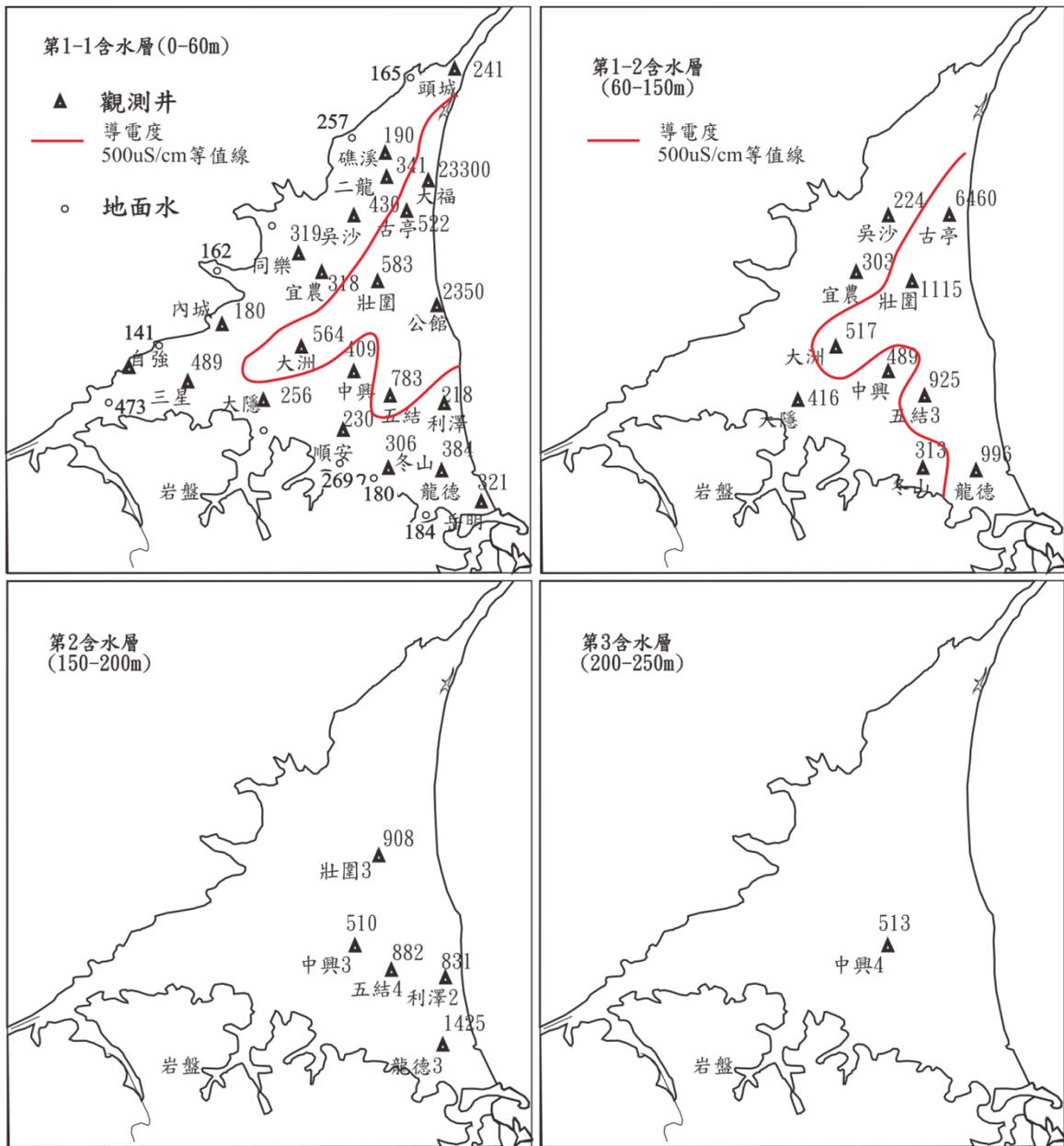


圖 4.2-4 蘭陽平原地下水分層之導電度(2013 年 4 月)

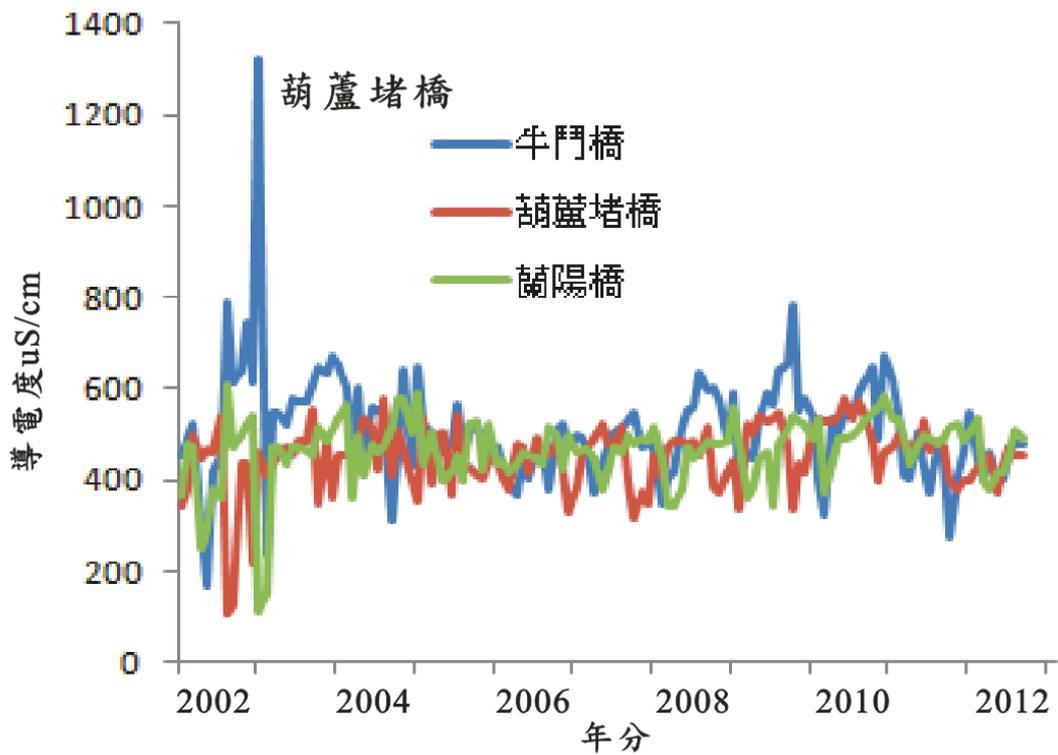


圖 4.2-5 蘭陽溪溪水之歷年導電度 (數據來源：環保署 edw.epa.gov.tw)

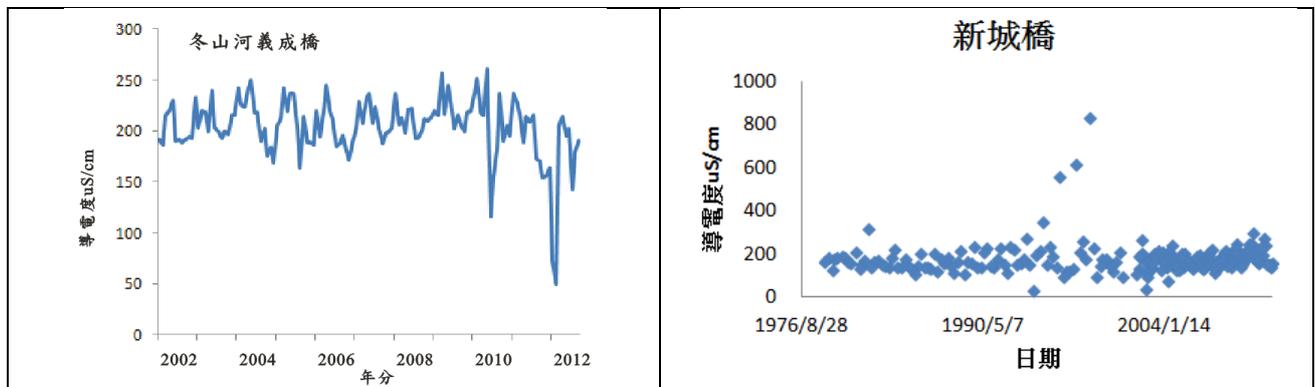


圖 4.2-6 (A)冬山河及(B)新城溪溪水之歷年導電度 (數據來源：環保署 edw.epa.gov.tw)

4.2.3 地面水及地下水之主要成分

蘭陽平原地面水的主要離子濃度表 4.2-7、百分比如表 4.2-8，地下水之主要離子濃度表 4.2-9、百分比如表 4.2-10。依主要離子濃度可將地面水及地下水分三類：碳酸氫鈣（碳酸氫根>60%且鈣>50%）、碳酸氫鈉（碳酸氫根>60%且鈉>50%）、氯化鈉（氯>80%且鈉>60%）。地面水、補注區及鄰近補注區的井都屬於碳酸氫鈣，例如：岳明、冬山一二、順安、大隱一二、三星、大洲一二、中興一二三、內城、同樂等。較深層及位於較下游的井屬於碳酸氫鈉，例如：龍德二三四、五結一二三四、中興四、壯圍一二三、古亭一等。靠海邊有三口井受到海水的混入，以氯化鈉為主：公館、古亭二、大福（圖 4.2-7）。

表 4.2-7 地面水及雨水主要離子成分(mg/l)

	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
福德坑溪	75	7.5	14.7	15.4	3.6	8.8	3.4
得子口溪	116	7.5	15.9	25.4	7.4	16.7	2.7
五十溪	74	6.6	11.8	16.9	3.1	9.7	2.1
粗坑溪	70	5.6	10.4	16.7	3.5	6.9	1.9
蘭陽溪	195	4.9	75.1	58.4	13.8	12.4	2.8
十三分坑	103	6.3	51.4	23.7	9.6	7.5	3.7
安平坑	86.2	6.5	12.7	19.5	6.5	9.5	1.3
新城溪	85.1	5.1	10.7	18.9	6.4	8.9	1.7
雨水	10.8	5.4	2.6	1.4	1.6	4.2	1.0
雨水	12.4	6.3	2.4	1.3	1.9	5.7	1.1

表 4.2-8 地面水及雨水主要離子成分(百分比)

	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子
福德坑溪	70%	12%	18%	50%	19%	31%
得子口溪	78%	9%	14%	47%	23%	30%
五十溪	74%	11%	15%	54%	16%	30%
粗坑溪	75%	10%	14%	57%	20%	24%
蘭陽溪	65%	3%	32%	62%	25%	13%
十三分坑	57%	6%	36%	49%	33%	17%
安平坑	76%	10%	14%	50%	28%	23%
新城溪	79%	8%	13%	50%	28%	23%
雨水	46%	40%	14%	17%	32%	51%
雨水	47%	41%	12%	13%	32%	55%

表 4.2-9 地下水主要離子成分(mg/l)

站名	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
岳明(一)	132	7.6	50.1	41.5	8.5	7.5	2.4
冬山(一)	126	8.6	15.2	31.7	5.7	21.6	2.9
冬山(二)	138	10.9	11.7	36.5	4.5	17.4	2.1
龍德(一)	173	19.5	7.3	31.7	6.2	36.1	3.7
龍德(二)	627	15.4	11.8	4.5	3.6	217.0	8.5
龍德(三)	734	61.7	1.1	19.6	16.7	293.0	6.2
龍德(四)	691	116	2.7	16.7	8.3	275.0	19.6
順安	132	4.7	3.4	21.8	8.6	11.2	1.5
利澤(一)	117	8.3	6.7	18.5	6.3	11.5	2.7
利澤(二)	518	13.6	1.5	32.8	21.3	94.0	29.6
大隱(一)	91	5.5	33.5	25.7	10.6	8.1	2.5
大隱(二)	159	4.5	50.7	44.4	16.8	14.3	1.6
五結(一)	449	5.9	7.6	15.4	7.7	147.0	11.6
五結(二)	313	4.4	9.1	30.8	21.2	66.3	4.4
五結(三)	543	4.6	2.6	6.0	5.3	201.0	16.7
五結(四)	525	5.7	2.6	20.8	20.4	133.0	22.7
三星	189	7.8	72.4	61.4	15.7	7.4	3.6
大洲一	190	5.8	80.4	70.2	20.4	10.6	2.7
大洲二	195	4.5	74.5	65.2	19.3	11.6	2.3
中興(一)	211	5.3	12.7	35.4	11.4	25.3	2.2
中興(二)	221	4.4	30.3	52.1	15.4	23.7	2.9
中興(三)	291	4.1	1.2	50	14.2	33.4	2.5
中興(四)	276	4.5	1.4	31.4	9.9	69.4	2.3
內城	59	5.5	28.4	19.8	5.9	5.1	1.8
公館	84	590	85	50	48	290	22
壯圍(一)	333	6.6	3.1	12.7	14.6	91.4	11.5
壯圍(二)	680	5.7	4.6	7.5	6.6	226	20.7
壯圍(三)	530	4.5	5.4	4.4	2.9	210	15
宜農(一)	170	4.2	2	25.2	8.2	30.7	2.5
宜農(二)	159	4.7	1.9	28.5	9.6	18.3	2.8
同樂	165	6.9	7.0	29.9	8.8	14.6	2.9
吳沙一	230	8.5	3.9	30.8	13.8	38.7	5.1
吳沙二	101	5.1	14.4	21.0	5.6	17.0	1.9
古亭一	285	5.5	2.4	13.5	12.8	83.7	11.9
古亭二	128	1692	29.1	188	69.5	798	58.4
二龍	164	5.3	15.4	7.6	2.4	63.2	15.7

站名	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉離子	鉀離子
大福	210	5982	1100	146	310	3262	138
礁溪(一)	108	6.5	10	15.0	3.0	18.0	11.5
礁溪(二)	95	5.6	7.6	19.0	2.8	8.7	2.7
頭城(一)	88	10.5	17.2	21.6	5.6	19.8	4.2

表 4.2-10 地下水主要離子成分 (百分比)

站名	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉鉀離子
岳明(一)	63%	6%	31%	65%	22%	12%
冬山(一)	79%	9%	12%	52%	15%	33%
冬山(二)	80%	11%	9%	61%	12%	27%
龍德(一)	80%	16%	4%	42%	14%	44%
龍德(二)	94%	4%	2%	2%	3%	95%
龍德(三)	87%	13%	0%	6%	9%	84%
龍德(四)	77%	22%	0%	6%	5%	89%
順安	91%	6%	3%	47%	31%	23%
利澤(一)	84%	10%	6%	46%	26%	28%
利澤(二)	95%	4%	0%	20%	21%	59%
大隱(一)	64%	7%	30%	50%	34%	16%
大隱(二)	69%	3%	28%	52%	33%	15%
五結(一)	96%	2%	2%	10%	8%	83%
五結(二)	94%	2%	3%	24%	28%	48%
五結(三)	98%	1%	1%	3%	4%	93%
五結(四)	98%	2%	1%	11%	19%	70%
三星	64%	5%	31%	64%	27%	9%
大洲一	63%	3%	34%	61%	30%	9%
大洲二	66%	3%	32%	60%	30%	10%
中興(一)	89%	4%	7%	46%	25%	30%
中興(二)	83%	3%	14%	52%	26%	22%
中興(三)	97%	2%	1%	48%	23%	29%
中興(四)	97%	3%	1%	29%	15%	56%
內城	56%	9%	35%	57%	28%	15%
公館	7%	84%	9%	13%	20%	67%
壯圍(一)	96%	3%	1%	10%	20%	70%
壯圍(二)	98%	1%	1%	3%	5%	92%
壯圍(三)	97%	1%	1%	2%	2%	95%
宜農(一)	95%	4%	1%	38%	20%	42%
宜農(二)	94%	5%	1%	46%	26%	28%

站名	碳酸氫根	氯離子	硫酸根	鈣離子	鎂離子	鈉鉀離子
同樂	89%	6%	5%	51%	25%	24%
吳沙一	92%	6%	2%	34%	26%	40%
吳沙二	79%	7%	14%	46%	20%	34%
古亭一	96%	3%	1%	12%	19%	69%
古亭二	4%	95%	1%	18%	11%	70%
二龍	85%	5%	10%	10%	5%	84%
大福	2%	86%	12%	4%	14%	81%
礁溪(一)	82%	8%	10%	36%	12%	52%
礁溪(二)	83%	8%	8%	58%	14%	27%
頭城(一)	69%	14%	17%	43%	19%	39%

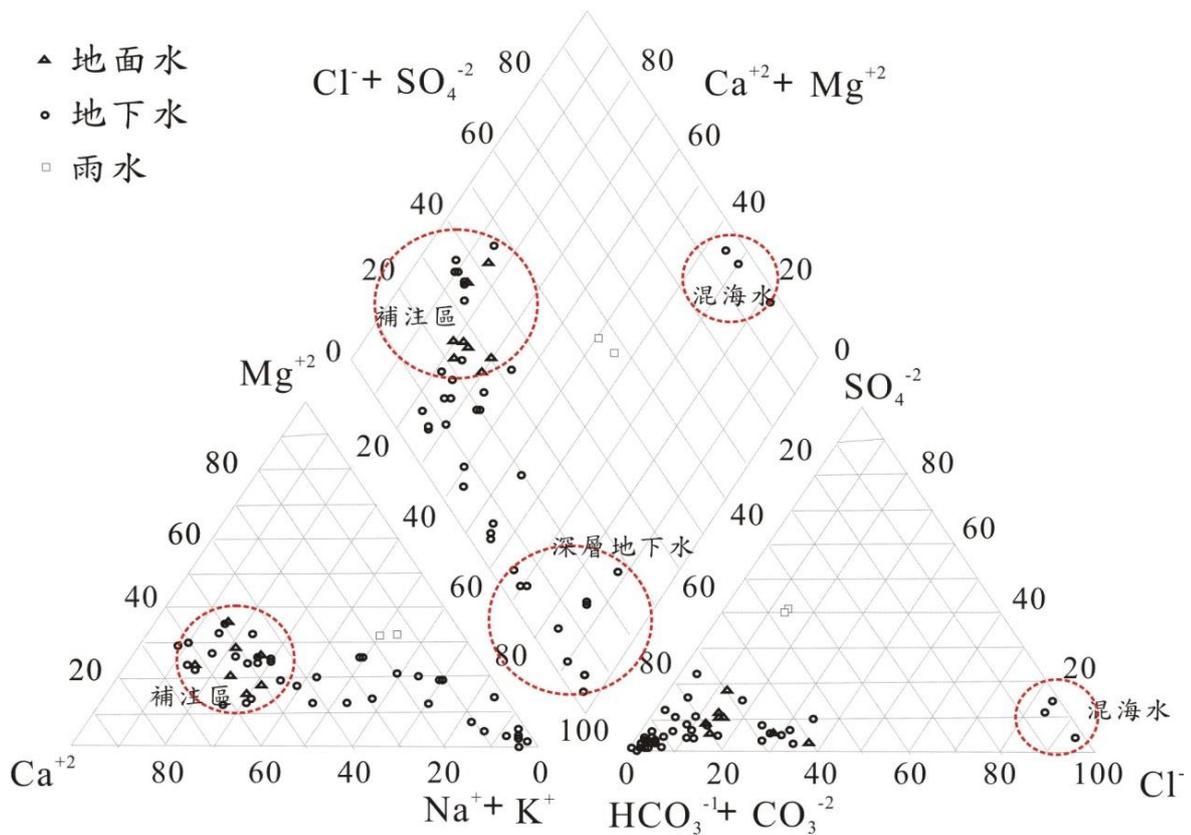


圖 4.2-7 地面水及地下水之主要離子分類

4.2.4 地面水及地下水之次要成分

地面水的氨態氮並不高，最高為安平坑 0.66 mg/l (表 4.2-11)；地下水的氨態氮以深層的井水較高，最高為利澤二 10.87 mg/l (表 4.2-12)。地面水的氨態氮可來自於集水區的土壤水或人為汙染源，但集水區的植物會吸收氨態氮以作為營養，蘭陽平原地面水的氨態氮不高，可能表示人為汙染並不嚴重。地下水中的氨態氮應來自地層，氨態氮高的水樣大多分布於受壓及較深的含水層，其氧化還原環境都偏向於還原環境，地層中若含有機物較多，有機物降解時會放出氨。

地面水的鐵離子並不高，最高為福德坑 0.67 mg/l (表 4.2-11)；地下水的鐵離子以深層的井水較高，最高為大福井 5.14 mg/l (表 4.2-12)。地面水的錳離子也不高，最高為安平坑 0.53 mg/l；地下水的錳離子以深層的井水較高，最高為大福井 2.28mg/l。

地面水的硫化物離子都很低，皆低於檢測下限 0.03 mg/l (表 4.2-11)；地下水的硫化物離子以深層的井水較高，最高為古亭一 0.69mg/l (表 4.2-12)。

表 4.2-11 地面水及雨水之次要離子成分(mg/l)

	氨態氮	鐵離子	錳離子	硫化物
福德坑溪	0.13	0.67	0.35	<0.03
得子口溪	0.35	0.17	0.11	<0.03
五十溪	0.21	<0.05	<0.05	<0.03
粗坑溪	<0.1	<0.05	0.08	<0.03
蘭陽溪	0.64	0.51	0.33	<0.03
十三分坑	0.32	0.09	0.24	<0.03
安平坑	0.66	0.55	0.53	<0.03
新城溪	<0.1	<0.05	<0.05	<0.03
雨水	<0.1	<0.05	<0.05	<0.03
雨水	<0.1	<0.05	<0.05	<0.03

表 4.2-12 地下水之次要離子成分(mg/l)

站名	氨態氮	鐵離子	錳離子	硫化物
岳明(一)	0.26	1.47	0.27	<0.03
冬山(一)	0.11	1.35	0.11	0.04
冬山(二)	0.13	<0.05.	<0.05	0.15
龍德(一)	0.12	0.16	0.32	<0.03
龍德(二)	1.24	0.24	0.36	<0.03
龍德(三)	2.47	0.69	0.21	<0.03
龍德(四)	3.54	2.37	0.18	0.04
順安	2.22	1.67	0.17	<0.03
利澤(一)	0.17	0.64	0.15	<0.03
利澤(二)	10.87	3.27	0.19	0.04
大隱(一)	<0.1	0.31	<0.05	<0.03
大隱(二)	<0.1	0.18	0.37	0.04
五結(一)	1.28	0.62	<0.05	<0.03
五結(二)	1.27	0.37	0.28	<0.03
五結(三)	3.75	0.28.	0.22	<0.03
五結(四)	6.87	0.62	0.16	<0.03
三星	<0.1	0.37	<0.05	<0.03
大洲一	<0.1	0.14	<0.05	<0.03
大洲二	<0.1	<0.05	<0.05	<0.03
中興(一)	0.15	0.69	0.09	<0.03
中興(二)	0.63	1.74	0.17	0.07
中興(三)	0.79	0.81	0.16	0.05
中興(四)	2.51	0.39	0.18	<0.03
內城	1.24	3.33	<0.05	<0.03
公館	2.34	0.32	0.28	<0.03
壯圍(一)	1.15	0.47	0.33	<0.03
壯圍(二)	2.57	0.35	0.15	0.04
壯圍(三)	3.91	1.17	0.19	0.05
宜農(一)	1.08	1.13	0.44	<0.03
宜農(二)	2.11	0.28	0.34	<0.03
同樂	0.54	<0.05	<0.05	<0.03
吳沙一	0.78	0.58	0.39	0.06
吳沙二	1.57	0.47	0.31	0.07
古亭一	3.54	1.36	0.61	0.69
古亭二	3.22	4.57	0.67	0.61
二龍	2.48	2.56	0.37	0.21

站名	氨態氮	鐵離子	錳離子	硫化物
大福	2.75	5.14	2.28	<0.03
礁溪(一)	0.47	0.27	<0.05	0.04
礁溪(二)	1.24	0.34	0.19	<0.03
頭城(一)	<0.1	<0.05	<0.05	<0.03

4.3 地下水溫度剖面調查結果

地下水溫度剖面調查有三個應用：（一）了解補注水之溫度、（二）地溫梯度、（三）地下水流動層次。蘭陽平原應用觀測井所量測的地下水溫度剖面如圖 4.3-1。

（一）補注水之溫度

補注區的井（三星、大隱、內城）溫度最低，約 20-22 °C。其中又以內城為全區溫度最低、約 20.3 °C，此井的水源應來自北邊山區，而非蘭陽溪的溪水。三星井的水溫最低約 22.0-22.2 °C，應來自蘭陽溪上游的溪水。地下水往下游流動，因下層地溫梯度的加熱，溫度漸漸升高，三星往下到大洲，最低溫約 22.7 °C；再往下到中興，最低溫約 23.0 °C。值得注意、五結井的異常高溫、26.8 °C，比中興井多了 3.8°C，兩井間的水平距離不到 3 km。宜蘭 1981-2010 年的年均氣溫約 22.5 °C，五結井淺層的地溫比氣溫高 4.3 °C，應是異常現象，其原因仍有待更多觀測與研究。

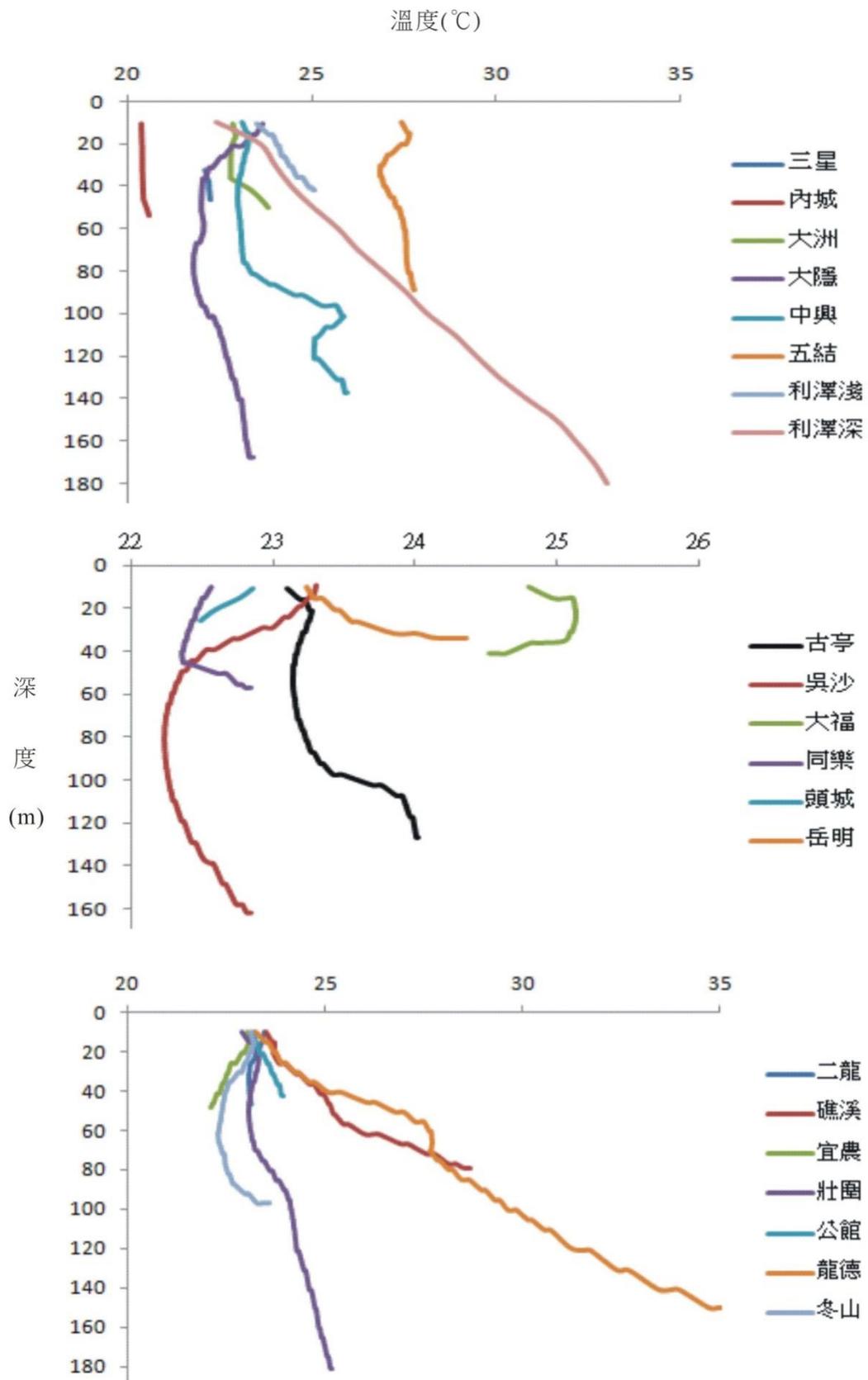
（二）地溫梯度

鄰近補注區，因受補注水流動的影響，部分井下段的地溫梯度偏低（< 2 °C/100 m），例如吳沙 0.8 °C/100 m、壯圍 1.2 °C/100 m、大隱 1.7 °C/100 m。地溫梯度最高為龍德井及礁溪井約為 8 °C/100 m，其次為利澤井約為 6 °C/100 m，可能因岩盤下有裂縫、並且有熱水上湧，造成局部地溫梯度較高，其中礁溪為知名的溫泉產地。

（三）地下水流動層次

中興井的井溫剖面則呈兩次反轉（圖 4.3-2），20-50 m 的溫度往下變小，50-80 m 緩緩增加，80-100 m 快速增加，100-120 m 又變小，120-140 m 增加。推測 80m 以上都受到地下水補注的影響，所以溫度偏低，80-110 m 的地層因夾泥層較多，所以維持地層較高的溫度，120 m 處的較低溫應是地下水流入的影響。

壯圍井井溫經對比地溫梯度還原後（圖 4.3-3），有三處呈現明顯的水溫變低。-60 m 處的水溫變低最大、降低達 0.7°C，-120 m 為降低 0.2 °C，-160 m 處降低 0.1°C（圖 4.3-4）。水溫降低表示補注區的水流入，因為流入的水溫度較原含水層的水低。



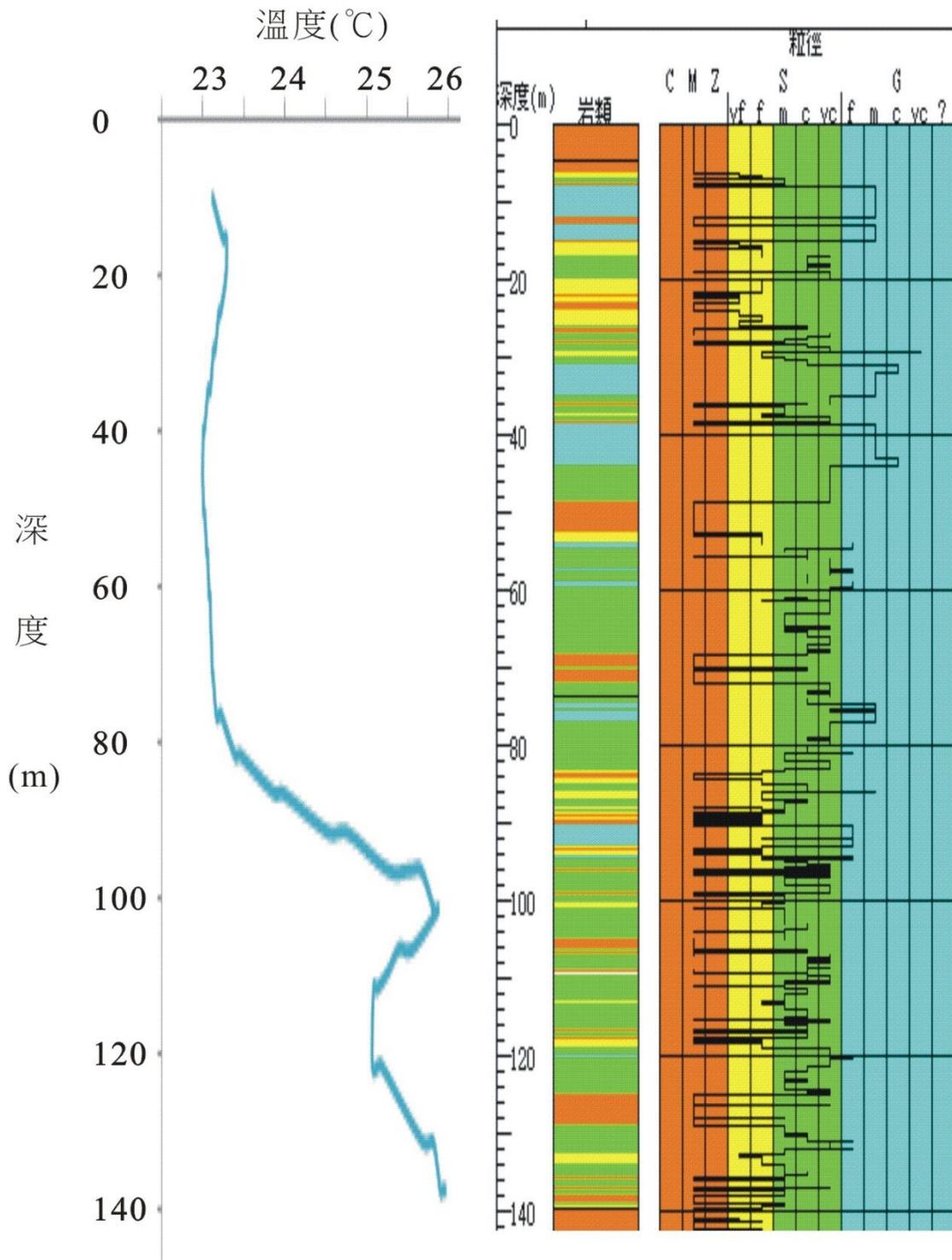


圖 4.3-2 中興井之井溫剖面與粒徑比對

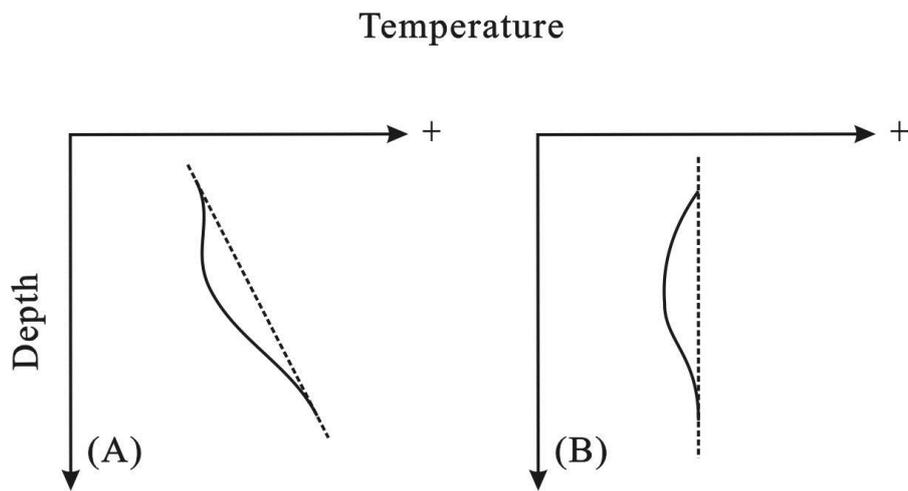


圖 4.3-3 (A) 原井溫曲線(實線)及地溫梯度線(虛線)；(B) 將井溫曲線依地溫梯度還原成還原線(reduced line)

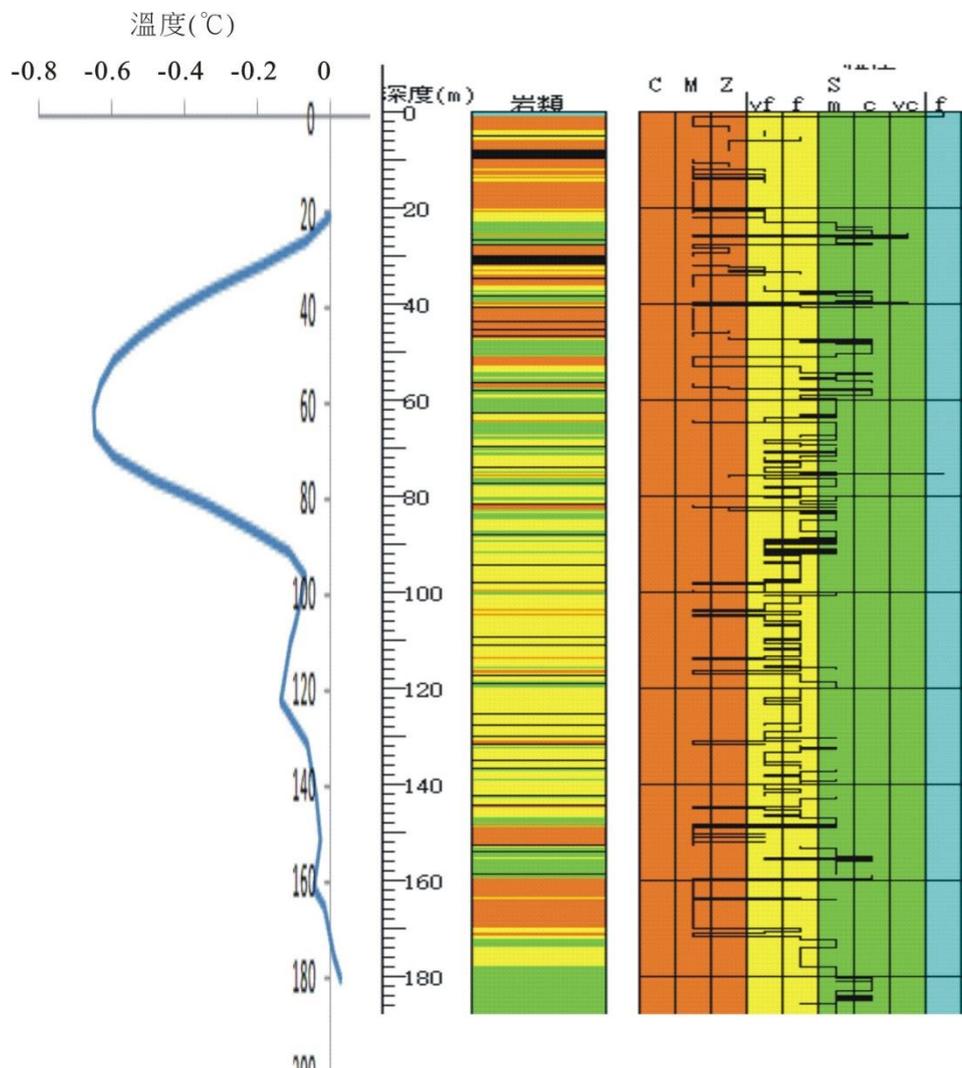


圖 4.3-4 壯園井之井溫還原剖面與粒徑比對

第五章 結論

1. 地面水與地下水水質採樣與分析：

溶氧及硝酸鹽：蘭陽平原地下水溶氧大於0.5mg/l的井大都分布在扇頂，溪水中的溶氧都很高達 7-9mg/l，表示溪水並無汙染。本區地下水的硝酸鹽氮濃度都不高，推測從山區來的水源硝酸鹽濃度並不高。扇頂補注區的範圍，若以溶氧大於 0.5mg/l 為依據，則不含大洲站，該站雖有厚的礫石層，但其溶氧及硝酸鹽氮都明顯偏低。

導電度：蘭陽平原地下水第 1-1 含水層的導電度分布，受到側邊山區來的水源影響很大，沿山區的觀測井地下水導電度都低於 500 μ S/cm，同時山區溪水的導電度也較低，約在 150~250 μ S/cm，反應出靠山邊的地下水應來自山區的小溪，而蘭陽溪溪水的補注僅限於中間部分。

主要離子濃度：可將地面水及地下水分三類：碳酸氫鈣、碳酸氫鈉、氯化鈉。地面水、補注區及鄰近補注區的井都屬於碳酸氫鈣，例如：岳明、冬山一二、順安、大隱一二、三星、大洲一二、中興一二三、內城、同樂等。較深層及位於較下游的井屬於碳酸氫鈉，例如：龍德二三四、五結一二三四、中興四、壯圍一二三、古亭一等。靠海邊有三口井受到海水的混入，以氯化鈉為主：公館、古亭二、大福。

2. 綜整水文地質調查資料與分析：

蘭陽盆地基盤等深線顯示，未固結沉積層最深處位於北半部，最厚達 1400m，大約位於觀測井古亭站及大福站附近。觀測井龍德站在深度 242m 鑿遇岩盤，龍德西北方的中油武淵井也在 267m 鑿遇岩盤。至少有 17 個大小沖積扇，最大的為蘭陽溪沖積扇，其次為羅東溪沖積扇。

區域性含水層建議分為三層：第一含水層深度為 150m 內，此層形成於一萬年之全新世，局部地區可再分為 AF1-1(共 23 口)及 AF1-2 (共 10 口)；第二含水層的深度約為 150-200m(共 6 口)；第三含水層深度約為 200-250m，只有 1 口(中興四)。水力傳導係數以 10⁻⁴ m/s 為最多，其含水層的粒徑為礫、砂、或砂/泥互層，有些礫及砂的含水層，可能淘選較好，較不含泥，其水力傳導係數可達 10⁻³ m/s。本區含水層儲水係數約為 10⁻³ 至 10⁻⁴ 之間。

蘭陽平原地下水分層水位最高為三星井(海拔 58.5m)，最低為二龍井(海拔-0.65m)。推測受壓與非受壓的界線大約在大洲站與大隱站之間。地下水流向為由西向東，進入大隱站後已開始有分層，局部地區已有低於海平面，可能導因人為之抽水。

扇頂補注區的範圍，若以鑽探資料為主，因大洲站有巨厚礫石，所以邊界應在大洲站以東。但湧泉與埤塘多出現在大洲站以西，表示該地區為受壓與非受壓水層之交界。羅東溪河道流量量測結果顯示：扇央區的入滲率約為

1.11×10⁻⁶m/s，但扇尾區為地下水出滲至河川，出滲率為 2.21×10⁻⁵m/s。與地面湧泉分布位置相當一致。

3. 地下水溫度剖面調查：

補注水之溫度：補注區的井溫度最低，約 20-22 °C。其中又以內城為全區溫度最低、約 20.3 °C，此井的水源應來自北邊山區，而非蘭陽溪的溪水。三星井的水溫最低約 22.0-22.2 °C，應來自蘭陽溪上游的溪水。

地溫梯度：鄰近補注區，因受補注水流動的影響，部分井下段的地溫梯度偏低 (<2°C/100m)，例如吳沙 0.8°C/100m、壯圍 1.2°C/100m、大隱 1.7°C/100m。地溫梯度最高為龍德井及礁溪井約為 8 °C/100m，其次為利澤井約為 6 °C/100m，可能因岩盤下有裂縫、並且有熱水上湧，造成局部地溫梯度較高，其中礁溪為知名的溫泉產地。

地下水流動層次：中興井的井溫剖面則呈兩個低溫處，-80m 及-120m 處應是地下水流入的影響。壯圍井有三處呈現明顯的水溫變低。-60m 處的水溫變低最大、降低達 0.7°C，-120m 為降低 0.2°C，-160m 處降低 0.1°C。水溫降低表示補注區的水流入，因為流入的水溫度較原含水層的水低。

參考文獻

1. APHA (1998) Standard methods for the examination of water and waste water, 20th ed., *American Public Health Assoc., Washington, DC.*, 413-426.
2. Chapelle FH (2001) *Ground-water Microbiology and Geochemistry*. John Wiley & Sons, INC. 477pp.
3. Holmes RR, Terrio PJ, Harris MA, and Mills PC (2001) Introduction to field methods for hydrologic and environmental studies, US Geological Survey Open-File Report 01-50, 482p.
4. Kendall, M.G. (1975) Rank correlation methods. 4th ed. Charles Griffin, London.
5. Liu, C. C. (1995) The Ilan Plain and the southwestward extending Okinawa Trough. *J. Geol. Soc. China*, **38**, 229-242.
6. Sibuet, J. C., B. Deffontaines, S. K. Hsu, N. Thureau, J. P. Le Formal, C. S. Liu, and ACT party (1998) Okinawa Trough backarc basin: Early tectonic and magmatic evolution. *J. Geophys. Res.*, 13, 30245-30267.
7. 江新春 (1976), 宜蘭平原之震測, 礦業技術, 第 14 期, 第 6 號, 第 215-221 頁。
8. 江協堂、徐春田、張宏毅 (2008) 臺灣東北部宜蘭平原淺部地熱水研究。鑛冶, 第52 卷, 第2 期, 第112-121 頁。
9. 邱詠恬 (2008) 利用 GPS 觀測資料探討宜蘭平原之現今地殼變形, 國立台灣大學地質科學研究所碩士論文。
10. 康竹君、張翠玉、李建成 (2008) 南沖繩海槽之最西端及梨山斷層最北端：蘭陽平原的構造活動特性, Vol. 8, 中華民國地質學會會刊 (*Western Pacific Earth Sciences*), 第 17-42 頁。
11. 張瑞津、石再添、楊淑君、林譽方、陳翰霖 (1994), 花東縱谷沖積扇的地形學研究, 師大地理研究報告, 第二十一期, 第 43-74 頁。
12. 張瑞津、石再添、楊淑君、董德輝、林譽方、陳翰霖 (1995) 蘭陽平原沖積扇的地形學研究, 師大地理研究報告, 第二十三期, 151-191 頁。
13. 彭宗仁 (2002) 地下水穩定氫氧同位素研究—宜蘭及嘉南地區。經濟部中央地質調查所出版。
14. 曾弘志和黃道強 (1981), 宜蘭平原羅東 (溶) 一號井地下地質報告, 台灣油礦探勘總處測勘處。
15. 劉聰桂 (2002) 臺灣地區新建地下水觀測井之地下水定年分析及垂向水質變化調查(3/4)。經濟部水利署出版。
16. 鄭迄君 (2010) 蘭陽平原古沉積環境分析, 國立海洋大學應用地球科學研究所碩士論文。

17. 蘇品如、紀宗吉、曾俊傑、黃國榕 (2009) 宜蘭蘭陽溪下游井下岩芯沉積環境分析，共 75 頁。
18. 謝孟龍 (2006) 台灣山脈晚冰期及後冰期侵蝕速率是否不同—曾文溪及蘭陽溪平原岩芯紀錄的檢視。第十一屆「台灣之第四紀」研討會論文集：53-57。