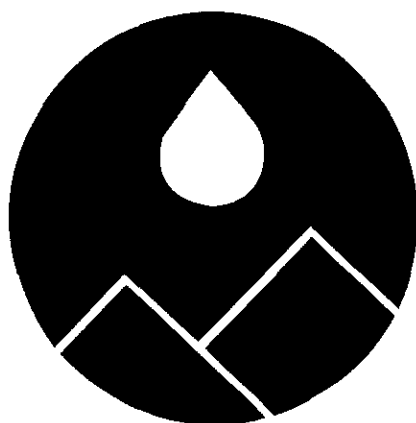




區域性地下水水文特性分析-濁水溪沖積扇

Analysis of Regional Groundwater Hydrology
- Choshuichi Fan



主辦單位：經濟部水資源局

執行單位：國立交通大學防災工程研究中心

中華民國八十九年十二月

區域性地下水水文特性分析 —濁水溪沖積扇

委託機關：經濟部水資源局

受託機關：國立交通大學

執行單位：國立交通大學防災工程研究中心

中華民國八十九年十二月

區域性地下水水文特性分析期末報告

目錄

目錄	I
圖目錄	III
表目錄	VI
第一章 緒論	1-1
1.1 緣起	1-1
1.2 計劃目標	1-1
1.3 研究方法	1-1
第二章 濁水溪沖積扇水文地質	2-1
2.1 濁水溪沖積扇區域概述	2-1
2.2 區域地質概況	2-2
2.3 地下分層與地層概述	2-2
第三章 分層地下水水位分析	3-1
3.1 地下水位時間變化分析	3-1
3.2 地下水位空間變化分析	3-6
第四章 分層地下水水質分析	4-1
4.1 研究方法	4-1
4.2 污染物可能造成之影響及危害	4-1
4.3 各相關水質標準	4-2
4.4 各項水質的空間分佈與結果分析	4-4
4.5 地質統計分析	4-12
第五章 地下水水平衡分析	5-1
5.1 模式邊界範圍與邊界條件	5-1
5.2 模式輸入之資料	5-3
5.3 地下水水平衡推估結果之綜合評估	5-10

第六章 水文地質參數之空間結構分析	6-1
6.1 分析流程.....	6-1
6.2 UCODE 模式.....	6-4
6.3 模式率定與檢核	6-19
6.4 共變異矩陣之計算及地質參數分區之評定	6-20
第七章 地下水管制區相關因素探討	7-1
7.1 說明.....	7-1
7.2 管制考量因素.....	7-2
7.3 評分標準及方式.....	7-4
7.4 配合措施及分析流程.....	7-6
7.5 濁水溪沖積扇實例分析.....	7-10
第八章 結論與建議	8-1
附錄一 參考文獻	附錄一-1
附錄二 期中審查意見及處理情形	附錄二-1
附錄三 期末審查意見及處理情形	附錄三-1

圖目錄

圖 2.1	濁水溪沖積扇地質鑽探井位及水文地質剖面位置圖	2-6
圖 3.1	濁水溪站井分佈圖	3-8
圖 3.2	濁水溪沖積扇含水層一站井分佈圖	3-9
圖 3.3	濁水溪沖積扇含水層二之一站井分佈圖	3-10
圖 3.4	濁水溪沖積扇含水層二之二站井分佈圖	3-11
圖 3.5	濁水溪沖積扇含水層三站井分佈圖	3-12
圖 3.6	濁水溪沖積扇水文地質分層示意圖	3-13
圖 3.7	含水層一水位月移動平均圖	3-14
圖 3.8	含水層二水位月移動平均圖	3-15
圖 3.9	含水層三水位月移動平均圖	3-16
圖 3.10	含水層四水位月移動平均圖	3-17
圖 3.11	濁水溪沖積扇分區圖	3-18
圖 3.12	扇頂水位月移動平均圖	3-19
圖 3.13	扇央水位月移動平均圖	3-20
圖 3.14	扇尾水位月移動平均圖	3-21
圖 3.15	沿海地區水位月移動平均圖	3-22
圖 3.16	扇頂水位月移動平均圖	3-23
圖 3.17	扇央-含水層一水位月移動平均圖	3-24
圖 3.18	扇央-含水層二水位月移動平均圖	3-25
圖 3.19	扇央-含水層三水位月移動平均圖	3-26
圖 3.20	扇央-含水層四水位月移動平均圖	3-27
圖 3.21	扇尾-含水層一水位月移動平均圖	3-28
圖 3.22	扇尾-含水層二水位月移動平均圖	3-29
圖 3.23	扇尾-含水層三水位月移動平均圖	3-30
圖 3.24	扇尾-含水層四水位月移動平均圖	3-31
圖 3.25	沿海地區-含水層一水位月移動平均圖	3-32
圖 3.26	沿海地區-含水層二水位月移動平均圖	3-33
圖 3.27	沿海地區-含水層三水位月移動平均圖	3-34
圖 3.28	沿海地區-含水層四水位月移動平均圖	3-35
圖 3.29	扇頂水位隨時間變化圖 (去除新增站井)	3-36
圖 3.30	虎溪日水位變化圖 (86年7月15日開始記錄)	3-37
圖 3.31	含水層一 86年9月與4月月平均水位	3-38

圖 3.32	含水層一 87 年 9 月與 4 月月平均水位	3-39
圖 3.33	含水層一 88 年 9 月與 4 月月平均水位	3-40
圖 3.34	含水層二 86 年 9 月與 4 月月平均水位	3-41
圖 3.35	含水層二 87 年 9 月與 4 月月平均水位	3-42
圖 3.36	含水層二 88 年 9 月與 4 月月平均水位	3-43
圖 3.37	含水層三 86 年 9 月與 4 月月平均水位	3-44
圖 3.38	含水層三 87 年 9 月與 4 月月平均水位	3-45
圖 3.39	含水層三 88 年 9 月與 4 月月平均水位	3-46
圖 3.40	含水層四 86 年 9 月與 4 月月平均水位	3-47
圖 3.41	含水層四 87 年 9 月與 4 月月平均水位	3-48
圖 3.42	含水層四 88 年 9 月與 4 月月平均水位	3-49
圖 4.1	含水層一站井之水溫分析圖	4-14
圖 4.2	含水層二站井之水溫分析圖	4-15
圖 4.3	含水層三站井之水溫分析圖	4-16
圖 4.4	含水層一站井之電導度分析圖	4-17
圖 4.5	含水層二站井之電導度分析圖	4-18
圖 4.6	含水層三站井之電導度分析圖	4-19
圖 4.7	含水層一站井之酸鹼值分析圖	4-20
圖 4.8	含水層二站井之酸鹼值分析圖	4-21
圖 4.9	含水層三站井之酸鹼值分析圖	4-22
圖 4.10.1	含水層一站井之氣鹽分析圖	4-23
圖 4.10.2	含水層一站井之氣鹽分析圖	4-24
圖 4.11.1	含水層二站井之氣鹽分析圖	4-25
圖 4.11.2	含水層二站井之氣鹽分析圖	4-26
圖 4.12.1	含水層三站井之氣鹽分析圖	4-27
圖 4.12.2	含水層三站井之氣鹽分析圖	4-28
圖 4.13	含水層一站井之總溶解固體量分析圖	4-29
圖 4.14	含水層二站井之總溶解固體量分析圖	4-30
圖 4.15	含水層三站井之總溶解固體量分析圖	4-31
圖 4.16	含水層一站井之化學需氧量分析圖	4-32
圖 4.17	含水層二站井之化學需氧量分析圖	4-33
圖 4.18	含水層三站井之化學需氧量分析圖	4-34
圖 4.19	電導度結構分析圖	4-35
圖 4.20	總溶解固體量結構分析圖	4-35
圖 4.21	氣鹽結構分析圖	4-36

圖 4.22	氣鹽變異量等值圖	4-37
圖 4.23	電導度變異量等值圖	4-38
圖 4.24	總溶解固體量變異量等值圖	4-39
圖 5.1	數值模擬邊界格網圖	5-14
圖 5.2	含水層一透水係數等值圖(m/min)	5-15
圖 5.3	含水層二透水係數等值圖(m/min)	5-16
圖 5.4	含水層三透水係數等值圖(m/min)	5-17
圖 5.5	含水層一儲水係數等值圖	5-18
圖 5.6	含水層二儲水係數等值圖	5-19
圖 5.7	含水層三儲水係數等值圖	5-20
圖 6.1	數值模擬分析流程	6-3
圖 6.2	抽水量分區圖	6-5
圖 6.3	UCODE 參數檢定流程圖	6-22
圖 6.4	非穩態模擬含水層一水位等值圖	6-23
圖 6.5	民國 88 年 12 月含水層一觀測水位等值圖	6-24
圖 6.6	非穩態模擬含水層二水位等值圖	6-25
圖 6.7	民國 88 年 12 月含水層二觀測水位等值圖	6-26
圖 6.8	方案一地質參數分區圖	6-27
圖 6.9	方案二地質參數分區圖	6-28
圖 6.10	方案三地質參數分區圖	6-29
圖 6.11	方案一經 UCODE 所優選出各分區導水係數 (Transmissivity)值	6-30
圖 6.12	方案二經 UCODE 所優選出各分區導水係數 (Transmissivity)值	6-31
圖 6.13	方案三經 UCODE 所優選出各分區導水係數 (Transmissivity)值	6-32
圖 7.1	地下水管制區制訂流程圖	7-13
圖 7.2	地下水位評分格網圖	7-14
圖 7.3	地層下陷量評分格網圖	7-15
圖 7.4	電導度評分格網圖	7-16
圖 7.5	地層地質評分格網圖	7-17
圖 7.6	地表高程評分格網圖	7-18
圖 7.7	地下水位指標管制區格網圖	7-19
圖 7.8	地層下陷量指標管制區格網圖	7-20
圖 7.9	電導度指標管制區格網圖	7-21

圖 7.10 管制區評分格網圖.....	7-22
圖 7.11 新舊管制區分佈比較圖.....	7-23

表目錄

表 3.1 濁水溪沖積扇每年鑽井數統計表.....	3-2
表 3.2 透水係數分級參考表 (中央地質調查所, 1997)	3-3
表 3.3 濁水溪沖積扇高低水位月份表.....	3-3
表 4.1 各項水質所引用的標準.....	4-3
表 4.2 含水層一各站井之各水質值.....	4-8
表 4.3 含水層二各站井之各水質值.....	4-9
表 4.4 含水層三各站井之各水質值.....	4-11
表 4.5 各項水質指標之結構分析成果表.....	4-12
表 5.1 模式層別對照表.....	5-2
表 5.2 垂向透水係數 K_z 初估值(m/s).....	5-5
表 5.3 嘉義地區種植面積表.....	5-6
表 5.4 彰化地區種植面積表.....	5-7
表 5.5 雲林地區種植面積表.....	5-8
表 5.6 濁水溪沖積扇非穩態模擬抽水量推估.....	5-12
表 5.7 水平衡量分析表.....	5-13
表 6.1 各方案比較之結果.....	6-19
表 7.1 地下水水位評分表.....	7-5
表 7.2 地表下陷量評分表.....	7-5
表 7.3 水質(電導度)評分表.....	7-6

第一章 緒論

1.1 緣起

為加強地下水之管理，改善台灣地區地下水水文地質基本資料之質與量，民國七十七年至民國八十一年止前台灣省水利局在農委會委託下完成全省地下水觀測站網全面更新之規畫，目前正由經濟部水資源局統籌積極的進行站網的建立，並已完成第一期包括濁水溪沖積扇及屏東平原之站網建置，隨著觀測井的設立，已有更多且更詳細的水文地質資料陸續獲得，並有相當豐碩的研究成果。惟就濁水溪沖積扇而言，以往之研究所應用的資料大多至民國八十四年止之第一階段站網建置所得資料，民國八十六年所建置之站井資料及中央地質調查所在本年度所更新完成之水文地質架構成果多尚未被應用，且以往之研究多有其它目的，並非針對地下水水文特性所進行，而此項目為「台灣地區地下水觀測站網整體計畫」中之一項，因此有必要針對此項要求以最新的水文地質資料進行分析。

1.2 計畫目標

本計畫目標即在整合最新的濁水溪沖積扇水文地質資料，以參數優選及水平衡分析等方法針對分層地下水水位時空變化、重要水文地質參數空間分佈等地下水水文特性進行分析，並將研究成果整合於地理資訊系統中以方便後續之應用。並參考過去地下水管制區辦法，考量目前新增的資料整合新的技術如地理資訊系統等，在考量週延、邏輯明確及量化容易等三大原則下，重新訂定較明確可量化的管制辦法，並以濁水溪沖積扇為實驗區域，針對此新辦法進行實例驗證。

1.3 研究方法

本計畫之研究方法及步驟說明如下：

(1) 資料收集

濁水溪沖積扇由於新站網的建置，已累積不少的水文地質資料，

尤其地下水水位資料更是隨著時間不斷累積之中，除此之外中央地質調查所並已在 89 年度完成濁水溪沖積扇水文地質架構的最後更新，此部份收集的資料將為後續步驟的基礎。

(2) 分層地下水水位時空變化趨勢分析

濁水溪沖積扇至目前為止已有數年連續監測的地下水水位資料，本研究將先以移動平均直接分析各測井之水位變化趨勢，接著再以水文地質分層為基礎進行站與站之空間內插，如此將可得水位在時空上之變化趨勢，此部份分析原理雖然簡單，惟卻是實際觀測資料最直接的呈現，並將成為後續進行參數檢定時之重要依據。

(3) 分層地下水水質分析

將選定幾種較具區域代表性的水質項目，如電導度及水溫等，以地質統計進行區域趨勢分析，及水質變化分析。

(4) 地下水水平衡分析

水平衡分析為進行複雜分析前之必經步驟，以往在濁水溪沖積扇亦已有相關之研究，惟目前已有更多站井及水位觀測資料，因此需再更新以往之成果。水平衡分析的優點為簡單明瞭，可提供水資源調配及模式模擬重要的參考及依據，並可藉此整合所收集的資料，其缺點為時間及空間上的解析度較低，本研究將以 MODFLOW 所附之質量平衡計算模組做為水平衡分析的基礎。

(5) 水文地質參數之空間結構分析

影響地下水流動最重要的水文地質參數如透水係數 (Hydraulic Conductivity) 及儲水係數 (Storage Coefficients)，等在空間上的分佈形態對地下水流動有重要且直接的影響，本研究將探討在濁水溪沖積扇目前的站井分佈及地質條件下，不同的參數分區或分佈所對應之最佳參數推估之可信度 (共變異矩陣) 變化情形，以分析在以降低模擬誤差 (模擬與觀測水頭誤差平方和) 及提高參數估計可信度 (共變異矩陣行列式值) 為前提下，水文地參數較合適的分區或分佈情形。此部份工作將分為下列步驟進行；

1.分層動態數值模式之建立

此部份將以過去觀測站網檢討時所建立的數值模式為基礎,以最新的觀測資料及水文地質架構,進行動態模式的更新建置,數值模式本身仍將使用 MODFLOW。

2.參數優選及敏感度矩陣計算

以 1 建立之模式為基礎,進一步以最新之 UCODE[Eileen P.,1998, Mary C.,1998]進行不同參數分區情形下之參數優選及敏感度矩陣計算,為因應 UCODE 本身計算量上的限制,本研究將以分階段優選方式進行。

3.共變異矩陣(Covariance Matrix)之計算及比較

以 2 式所得之不同參數分區之共變異矩陣並比較其矩陣行列式值,並此與水位模擬誤差值共同考量比較以求得較佳的參數分區型態。

(6) 地下水管制區相關因素初步探討

此項工作為本計畫重點之一,本研究將參考過去地下水管制區辦法,考量目前新增的資料整合新的技術如地理資訊系統等,並在考量週延、邏輯明確及量化容易等三大原則下,重新訂定較明確可量化的管制辦法,再以此辦法發展管制區訂定流程,並以濁水溪沖積扇為實驗區域,針對此新辦法進行實例驗證。

(7) 地理資訊系統整合

地下水流動原本為三度空間的問題,惟為分析、表達及後續應用的方便而以分層的方式為之,此乃是將一三維問題簡化為準三維(Quasi-Three Dimension)的形式上,上述從(1)至(5)已經獲得地下分層水位變化趨勢及重要水文地質參數空間分佈等地下水水文特性分析成果,為了提高此成果之附加價值,方便後續之展示及應用,本研究將以地理資訊系統,將上述成果以水文地質分層為基礎,整合於地理圖層之中,地理資訊系統將以使用率最普及的 ARCVIEW 為平台。

第二章 濁水溪沖積扇水文地質

2.1 濁水溪沖積扇區域概述

濁水溪沖積扇位於台灣西海岸中部，以濁水溪流域為主，其傳統之範圍東起八卦山台地及斗六丘陵為界，西至台灣海峽，北起烏溪，南至北港溪，面積約 1800 平方公里，本研究之範圍略大於傳統範圍，南部邊界延伸至朴子溪。

本區位處亞熱帶，月平均溫以一月最低，七月最高；相對濕度亦以一月最低，六月最高；蒸發量因地形、季節之不同而有顯著差異。濱海較大，平原次之，本區月別雨量分佈不均，雨季約自四月中旬開始至九月中旬結束，雨季期間降雨量約佔全年總雨量之八成，且本區雨量有自上游山區向西部平原及海岸遞減之趨勢。

本區之河流，除濁水溪與北港溪為主要河川外，較重要而獨立入海之細流尚有 12 條，共計 14 條。其中發源於中央山脈者，僅濁水溪一條，而北港溪乃發源於斗六丘陵之低山性平地河川，其餘 12 條細流均發源於台地或平原地帶。

全區以山林地區最大，耕地次之，近年來土地利用趨勢受經濟發展之影響，直接生產用地及其他用地逐漸減少，而建築用地與交通用地均年年增加。沿海地區由於養殖漁業獲利較高逐漸取代收益不佳之農業而快速成長，但以往養殖業需大量淡水以保持水質潔淨，在地表水源不足供應情況下遂大量抽取地下水，而因嚴重超抽引起地盤下陷，結果使沿海地區每遇豪雨則積水不退造成重大損失，惟近年來由於養殖區域減小及部份改以海水養殖的因素，致沿海地區水位有逐漸回升的趨勢。

2.2 區域地質概況

濁水溪流域地形大致自東向西漸次由高山山脈、丘陵、台地、以至於本研究區域之沖積扇平原。主要地層均呈南北狹長而略向西

之弧形帶狀分佈，中下游丘陵及平地區域在地表為現代沖積層，次為台地礫石層，下為頭嵙山礫石層三者之總厚度在數百公尺以上；以上各岩層均由未固結之粘土、細石、砂、礫等所組成；砂及礫層孔隙發達，含水性能甚佳，構成主要含水層次。更深則為上新世或更老之地層，主要由較緻密之砂頁岩所組成，透水及含水性不佳。上游山脈大部份屬第三紀亞變質岩系板岩極發達，含有許多複雜之褶曲與斷層，故山崩眾多，且風化侵蝕甚顯著，以致溪流終年混濁，板岩、變質砂岩、石英之碎屑等在上游侵蝕並經搬運而在平原地區堆積，形成本沖積扇。

2.3 地下分層與地層概述

經濟部中央地質調查所於八十八年完成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，完成水文地質剖面一至十二，深度至 300 公尺左右，及丘陵及河谷區之 8 站地層柱狀圖繪製水文地質剖面十三至十五，深度約達 250 公尺左右；劃分出濁水溪沖積扇概念分層，包括含水層一、阻水層一、含水層二、阻水層二、含水層三、阻水層三、含水層四及阻水層四。其各剖面走向及站井分布如圖 2.1 所示。沖積扇區含水層及阻水層之岩性變化與分布分述如次：

(1) 含水層一 (F1)

含水層一位在濁水溪沖積扇地區水文地質系統之最表層，分布範圍涵蓋全區，從地表起至最深約 103 公尺，厚度從 19~103 公尺不等，平均厚度 42 公尺。本層於沖積扇頂附近以礫石層和粗砂層為主，厚度較大；至扇央及扇尾其岩性漸次相變為細砂層和泥層，含水層一的表面及內部常有延展良好之厚泥層分佈，造成地下水層局部受壓(Confined)或分段之現象。

(2) 阻水層一 (T1)

阻水層一位於含水層一之下，廣泛分布於沖積扇央及扇尾，其西側延展入海，而東側則在離彰雲大橋十數公里處尖滅，最大

厚度 39 公尺，平均厚度約 14 公尺。本層主要為泥層，亦即由黏土、泥或粉砂層組成，局部夾細砂層及少數粗砂層。中央地調所將阻水層一之底部界面向扇頂外插展延，形成分布於全區之概念界面 B1，其深度在 35~129 公尺不等，平均深度約 56 公尺。

(3) 含水層二 (F2)

概念界面 B1 以下為含水層二，其分布範圍涵蓋全區，深度介於地表下 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。本層在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。在剖面八之南，本層所含之細砂層及泥層漸增，至剖面十則以細砂為主，夾有甚厚之泥層，與含水層一之間為阻水層一明顯分隔。在扇央及扇尾本層材料的粒徑變細，惟仍有粗砂或礫石層存在，顯示廣泛分布的含水層二在本區蓄水及供水上之重要性。部分地區的含水層二中間夾有二至三層延展範圍大之泥層，此等泥層對含水層有局部分割的作用，然而考慮其分布範圍和厚度相對小於四個主要阻水層，故僅將其歸為含水層二內之泥層凸鏡體，不各別命名。

(4) 阻水層二 (T2)

阻水層二位於含水層二之下，廣泛分布於沖積扇央及扇尾，其西側延伸入海。阻水層二最大厚度 46 公尺，平均厚度約 23 公尺，主要為泥層夾細砂層，局部夾有粗砂層。為配合數值模擬之需要，在剖面圖上將阻水層二之底部界面向扇頂外插延伸，形成分布全區之概念界面 B2，其深度介於 140~223 公尺之間，平均深度約 174 公尺。

(5) 含水層三 (F3)

受鑽探深度的限制，只在水文地質剖面一、二、六、八及十的局部地點適合繪製含水層三及更深之各個層次。概念界面 B2 以下為含水層三，其分布範圍亦涵蓋全區，規模略小於含水層二，深度在 140~275 公尺之間，厚度介於 42~122 公尺之間，變異頗

大，此肇因於濁水溪以北地區的含水層三遠比以南者發達所致，全區平均厚約 86 公尺。

含水層三在剖面六以北的區域，於沖積扇頂是以厚層礫石和粗砂為主，往扇央及扇尾則漸次相變為粗砂、細砂和泥層之互層；而在剖面六的南側，顆粒相對的較細，僅扇頂有礫石和粗砂層分布，在扇央及扇尾則變為以細砂層為主；剖面六以南，本層與含水層二有良好之分隔。

(6) 阻水層三 (T3)

阻水層三位於含水層三之下，在濁水溪以北的區域厚度較小，分布範圍亦較小，於剖面一之分布區有較佳之延展，其南側之第二條剖面，阻水層三僅侷限於海岸地區，呈短小凸鏡體；此層在濁水溪以南的地區較發達，從剖面六至剖面十均有完整之分布，對含水層形成有效的分隔作用。阻水層三最大厚度約 28 公尺，平均厚約 11 公尺，由泥層夾細砂層所組成。而阻水層三之底部界面向扇頂外插延伸，形成分布全區之概念界面 B3，其深度界於 238~293 公尺不等，平均深 271 公尺，此平均深度也是含水層一、二、三與阻水層一、二、二等六層總厚度之平均值。

(7) 含水層四 (F4)

概念界面 B3 以下為含水層四，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全區的含水層四及阻水層四做明確之描述。基本上在扇頂附近仍以礫石層及粗砂層為主，往扇央及扇尾則相變至以細砂為主。其分布深度約介於 238~313 公尺間，厚度介於 6~51 公尺間，平均厚約 24 公尺，是各含水層中厚度最小者。

(8) 阻水層四 (T4)

伏於含水層四下之厚泥層即為阻水層四，由於底部深度超過本計畫各井之鑽探深度，故無法確實了解其整體厚度和岩性變化。大致上本層由厚泥層夾細砂及少量粗砂層所組成，最大厚度

在 52 公尺以上，頂部深度介於 255~313 公尺之間，底部性質及深度則不明，上述各分層之垂直示意圖見圖 3.6 所示。

第三章 分層地下水水位分析

自民國 81 年起，前經濟部水利司開始推動台灣地區地下水觀測站網之更新建置，由中央地質調查所負責水文地質調查研究工作，水利處負責地下水觀測網建立及營運。迄民國 87 年為止在濁水溪沖積扇（包含嘉南平原北段）採一站多井的方式，共完成 73 個井站、188 口分層地下水觀測井，抽水試驗站 18 站，抽水試驗井 51 口（如圖 3.1~圖 3.5），觀測深度多維持在 200 公尺以內，最深可達 330 公尺。

本研究採取的觀測時間是由民國 81~88 年為止，以時間與空間兩個部分分別去探討其與地下水位的關係。

3.1 地下水水位時間變化分析

民國 81 年以後所設立之分層地下水觀測井，每一個小時記錄一次水位資料，由於是連續記錄，且資料蒐集完整，適於分析近年之地下水水位變化，本研究以民國 81~88 年濁水溪沖積扇地區的地下水水位資料，並以三種區分方式，包括分層、分區及分區分層的方式去進行分析整理。表 3.1 為分層分區站井設立時程表，由表中可知 83 年以後各區站井數較多，分析結果會較為可靠。

3.1.1 分層分析

圖 3.6 乃前述中央地質調查所最近完成之總報告中所建議之分層架構，圖中之含水層即為原報告中之富水層，與以往報告之不同為其整合了以往之含水層 2-1 與 2-2 為含水層二，並新增深層為含水層四。其中含水層與阻水層之滲透係數可參考表（表 3.2）（1997），至於地下水位站之設置乃由水利處執行，其分佈圖見圖 3.2~圖 3.5。本研究分別針對這四個含水層所收集到的資料先做日水位各分層整層的平均，對此平均

後之日水位進行月移動平均。

圖 3.7~圖 3.10 為分層平均水位變化圖由圖中可以看出兩點。

第一，地下水位約略有一定的週期變化，其中低水位期約在四月，高水位期約在 9 月，不過因水位平均並未分區，而把每層的站井一起平均，導致整個平均線略顯平緩，無法清楚的看出其變化趨勢，所以接著將在以分區的方式進行分析。

第二，圖上可以看到在 86 年的時候水位線有出現類似斷層的變化，這是因為在 85、86 年的時候，水利處新增加了一些站井，由於部分站井高程的不同，導致水位平均暴增。例如，位於八卦山脈的新光站，起始水位已高達 160 幾公尺，與整個沖積扇的平均水位相比，高出 130 幾公尺，所以會造成這樣暴增的情形。

表 3.1 濁水溪沖積扇每年鑽井數統計表

年		81年	82年	83年	84年	85年	86年
分區	分層						
扇頂	不分層		2	4			
扇央	含水層一	3	1	6			1
	含水層二	2	3	8			1
	含水層三	2	2	5	1		
	含水層四						1
扇尾	含水層一		3				7
	含水層二		2	6			4
	含水層三		3	6			6
	含水層四						3
沿海地區	含水層一	1	1	1			2
	含水層二	1	2	7	2		2
	含水層三	1	2	3			5
	含水層四						5

表 3.2 透水係數分級參考表 (中央地質調查所, 1997)

透水係數(K)		分級	岩性	水文地層
公尺/天	公尺/秒			
≥86	≥1.0×10 ⁻³	A(極佳級)	平原地區之礫石層或砂層 丘陵或台地區之礫石層	含水層
85~8.6	9.9×10 ⁻⁴ ~1.0 ×10 ⁻⁴	B(極佳級)		
8.5~0.86	9.9×10 ⁻⁵ ~1.0 ×10 ⁻⁵	C(中級)		
0.85~0.086	9.9×10 ⁻⁶ ~1.0 ×10 ⁻⁶	D(中級)		
≤0.085	≤9.9×10 ⁻⁷	E(極差級)	泥層、黏土層或固結岩層	阻水層

註：

1. 透水係數為平行層面方向之水力滲透係數(Hydraulic conductivity)；垂直層面方向之透水係數值可能低數倍至數百倍。
2. 固結岩指的是破裂面不發達之岩體。

表 3.3 濁水溪沖積扇高低水位月份表

			84	85	86	87	88	
扇頂		高	9	10	10	7-10	10	
		低	4-6	4	3	1	4	
扇央	含水層一	高	8-9	8-9	9-10	10	9	
		低	5	4	5	4	4	
	含水層二	高	7-10	9	9	6	10	
		低	5	3-4	4-5	4	3	
	含水層三	高	9	9	9	7	10	
		低	4	3	5	4	5	
	含水層四	高			10	11	10	
		低			7	6	4	
扇尾	含水層一	高	8-9	9	9	7	8	
		低	5	5	5	2	4	
	含水層二	高	9	9	9	7	8	
		低	5	4	5	5	4	
	含水層三	高	9	9	9	6	10	
		低	3	3	5	4	4	
	含水層四	高				7	10	
		低				1	4	
	沿海地區	含水層一	高	8	8-9	8	7	9
			低	4	4	4	1	4
含水層二		高	8	9	9	7	8	
		低	5	5	5	4	4	
含水層三		高	7	1	9	9	8	
		低	11	11	4	5	4	
含水層四		高				12	1	
		低				4	7	

3.1.2 分區分析

本研究以扇頂、扇央、扇尾及沿海地層下陷嚴重的地區等四個部分，區分整個濁水溪沖積扇（如圖 3.11），濁水溪平原為一高度低、起伏小且坡度緩之沖積扇平原，以二水附近鼻子頭為扇頂，全區向西緩傾，整個沖積扇平原成不等邊之三角形。於彰雲大橋以西為濁水溪沖積扇扇頂區域，由巨厚礫石沖積層組成，厚度超過 100 公尺，為透水性相當良好之自由含水層。扇央及扇尾的界線為水位零位線。而根據地盤沉陷之資料顯示，沉陷區域之消長除由濱海地區逐步向內陸拓展沉陷範圍外，南北方向則大致由較遠之南北區域向濁水溪口逼近，即彰化地區由鹿港十王功西港逐步往南，雲林地區則由金湖、宜梧十台西十蚊港十中山、後安寮逐步往北。

同樣也是由收集到的資料作各區內四層之日水位平均，接著再以此平均後之日水位進行月移動平均（圖 3.12~圖 3.15）。

由圖中可以看出，扇頂水位最高，沿海地區的水位最低，此水位走勢基本上合理，但除扇頂有稍微規律的週期變化外，扇央、扇尾及沿海地區水位線變化非常不規則，較不易歸納出其時間變化的型態，因此本研究接著進行分區分層分析。

3.1.3 分區分層分析

本研究以上述的分區與分層的方式，把整個濁水溪沖積扇區原本應該分成四區四層共 16 個區塊，但因為扇頂是自由含水層，可劃分成同一層，所以只有 13 個區塊，整理出來的資料如圖 3.16~圖 3.28，圖 3.16~圖 3.28 的分析同於前述分層或分區的分析方式，乃先對區塊內各水井之日水位作平均，再將此平均後之日水位進行月移動平均分析，表 3.3 為各年水位高低結果整理，以下將進一步分區說明。

一. 扇頂：

惟近年來每年最低水位似有提前現象，87年最低水位為1月，且受87年的颱風影響，有7月的妮蔻兒颱風，8月的奧托颱風，9月楊妮颱風，10月瑞伯颱風和芭比絲颱風，共五個颱風，所以雨量特別豐沛，以致87年水位變化較不一致。

二. 扇央：

整體來說，由表 3.3 可見含水層一的水位易受降雨入滲影響，高低水位較有週期變化，水位變化量較少，惟跳動頻率較深層低。含水層二水位變化的高低點與含水層一大致相同，唯水位變化頻率較高，顯示可能受人為抽水干擾影響。

含水層三剛開始的水位變化甚巨，其原因是因為剛開始只有六合站，83年8月間再加入溪湖站，同年10月加入了嘉興站及九隆站，以致於水位跳動如此劇烈。且發現86年5月間也是有暴增現象，原因是受到虎溪站(圖 3.30)的含水層三水位高，導致此區水位大增的現象。綜合四層水位變化趨勢可看出含水層水位有逐年下降的趨勢。另外由表 3.3 顯示出扇央部分之高水位期大都在9月，低水位期約在4月左右。

三. 扇尾：

本研究發現在扇尾含水層一(圖 3.21)，在85年間曾出現下跌的現象，原因是因為有一個站的資料有一段時間不全，導致會有下跌。同樣也是在86年間產生下跌，因為有新增站井東榮及明德的影響，而兩個站的水位處於零位線以下，與其他同區同層的站井相差一段高度之故。由表 3.1 可看出在86年以前扇尾含水層一只有3個站井，因此其水位變化相當大較不具區域代表性，86年因新站井的加入使水位變化大為緩和。

其他層次水位變化跳動情形與扇頂類似，水位已低於海平面，大致

維持在-5 公尺左右，惟並未有繼續下降的趨勢。由表 3.3 所示此區除 87 年外，高水位大都於 9 月，低水位則為 4 月及 5 月。

四. 沿海地區

沿海地區水位，皆在零位線以下圖 3.25 顯示含水層一水位有回升的現象，其平均水位大約在-5M 左右，惟由表 3.1 之位於此區總共只有四個水位站，因此其代表性尚待進一步評估。含水層二水位大約在 5m 左右，且變化頻率與振幅頗大，惟水位並未有繼續下降的趨勢，含水層三水位約在-5m 左右，變化頻率與振幅與含水層二類似，惟水位似有上升趨勢，含水層亦稍有回升，綜合言之，此區目前抽水量疑似超出該區可提供之量，惟抽水量並未持續增加，在水量方面含水層系統維持在一個新的平衡狀態，惟此狀態可引起其他的災害，如地層下陷及長期的海水入侵等。

3.2 地下水位空間變化分析

本研究對於地下水位空間分析採取的分析方法是取濁水溪沖積扇位於各層的各地下水位觀測站井 86、87、88 年 4 月與 9 月的月平均，利用等值線內插軟體(surfer)內的克利金方法(kriging)畫出分層水位等值圖(圖 3.31 ~圖 3.42)，以下依含水層別進一步分析。

含水層一：

由圖 3.31~3.33 可知，位於濁水溪沖積扇扇頂地區的觀測井，由於站井所在高程的不同，所以會造成位在八卦山脈及斗六丘陵的水位等值線急遽的變化，但扇頂的其他地區卻變化的很平緩。

濁水溪沖積扇扇頂地區的六合、烏塗等站，根據中央地質調查所所做的地質鑽探資料指出，多為卵礫石，且在雨季過後，地下水位上升，顯見含水層得到了雨水的入滲補助，這些站井應是位於非拘限含水層

中。

彰化地區之各層地下水係由扇頂及八卦山南麓之高水頭地區向西北及西方流動。雲林地區之各層地下水則皆以斗六丘陵為源頭，只有東和、石榴以北之地下水朝西北流向濁水溪或再沿溪南流向下遊，東和、石榴以南之地下水則向西及西南流至新虎尾溪口及北港溪口之沈降錐。

沿海地區養殖魚池密佈，魚塭長期大量抽水，以造成這一地區的大部分站井皆位在零位線以下，更有甚者，如海豐、海園、西港及漢寶等地下水位皆在海平面下一、二十公尺。整體而言零位線以下區域較其他層次小，惟 86 年新增之東榮站井離海岸已有相當距離，其水位卻在零位線以下，使得雲林部分地區的水位等值線呈現空間上的劇烈變化，值得進一步探討。另外，以整個沖積扇的尺度而言，高低水期水位的空間分佈除在部分洩降錐附近變化並不大。

含水層二：

由圖 3.34~3.36 知，與含水層一相比，這一層的水位空間變化就顯得比較平緩許多，主要乃無如含水層一東榮站水位的干擾，且水位線大致上平行於扇頂及扇央，且越往扇尾水位越低。

相對於含水層一，零位線已深入內部，零位線以下面積大為增加，且在箔子、蔡厝等地層下陷嚴重部分，地下水位比含水層一下降 20 公尺，這是一個值得警惕的訊息。高低水位其之分水位空間分佈差異亦不大。

含水層三與含水層四：

由圖 3.37~3.42 可知，含水層三與含水層四的水位變化趨勢，兩者大致相同，惟零水位線更為深入內陸，問題似乎更嚴重。



圖3.1 站井分佈圖

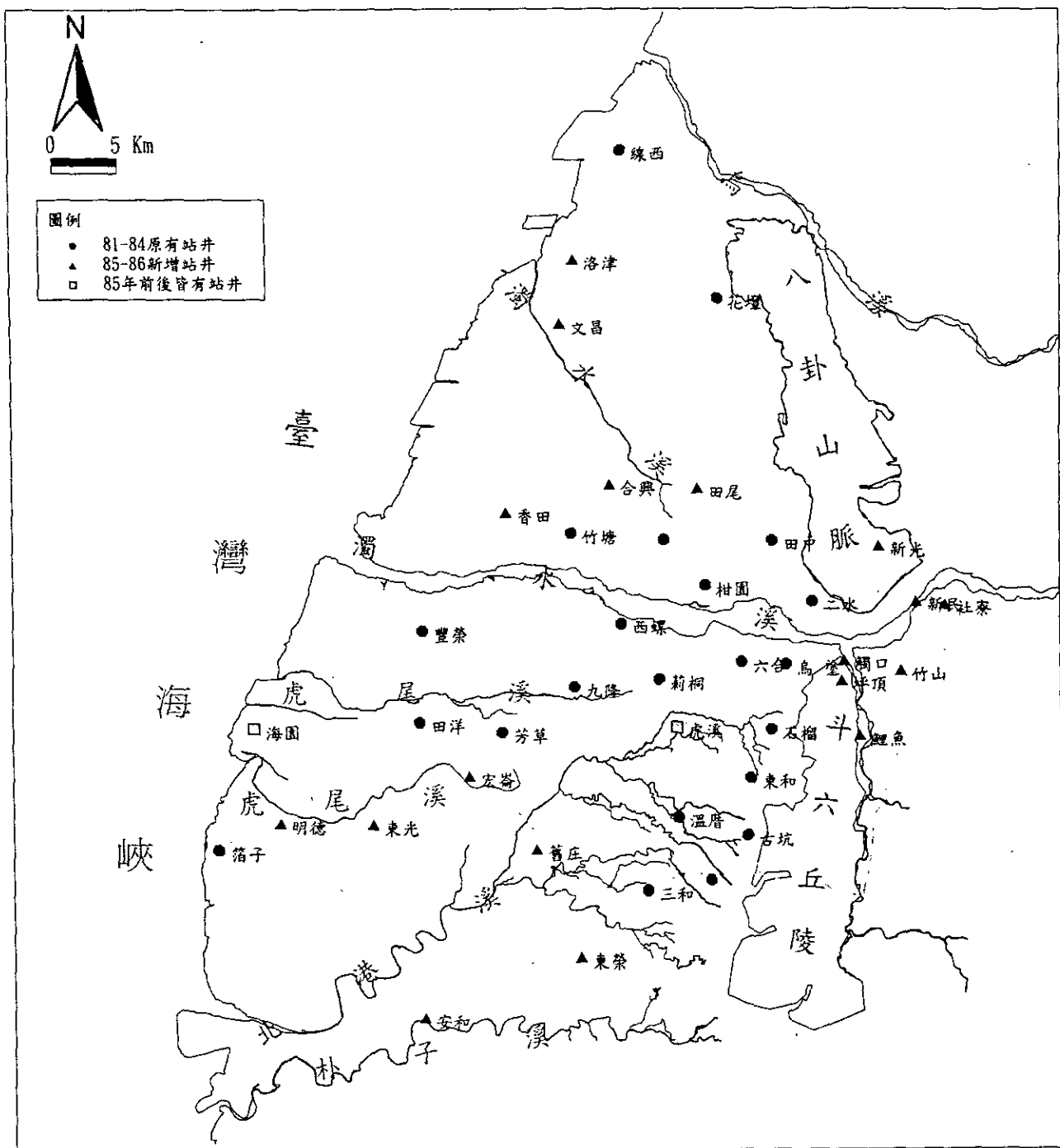


圖3.2 含水層一之站井分佈圖

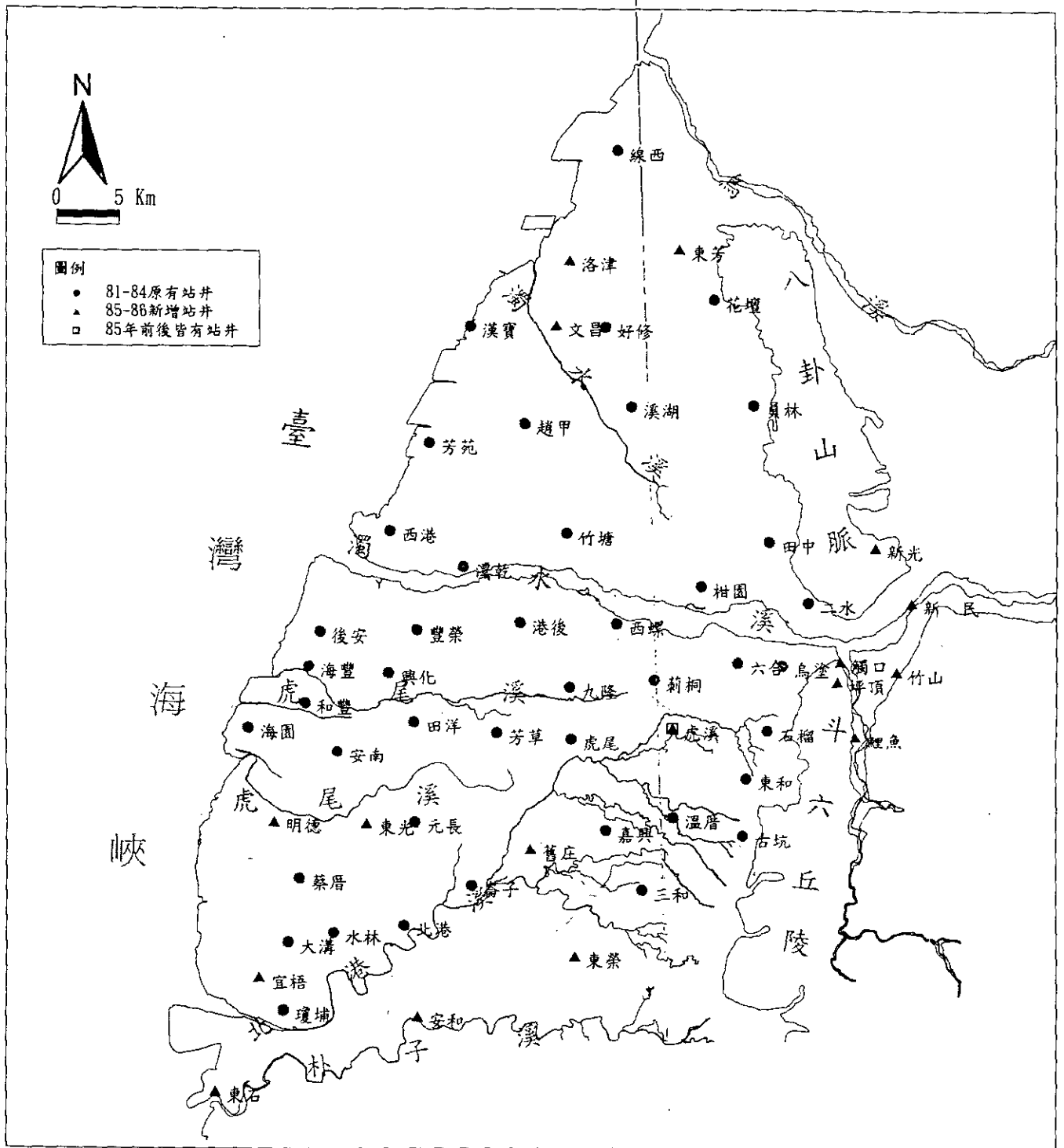


圖3.3 含水層二之站井分佈圖

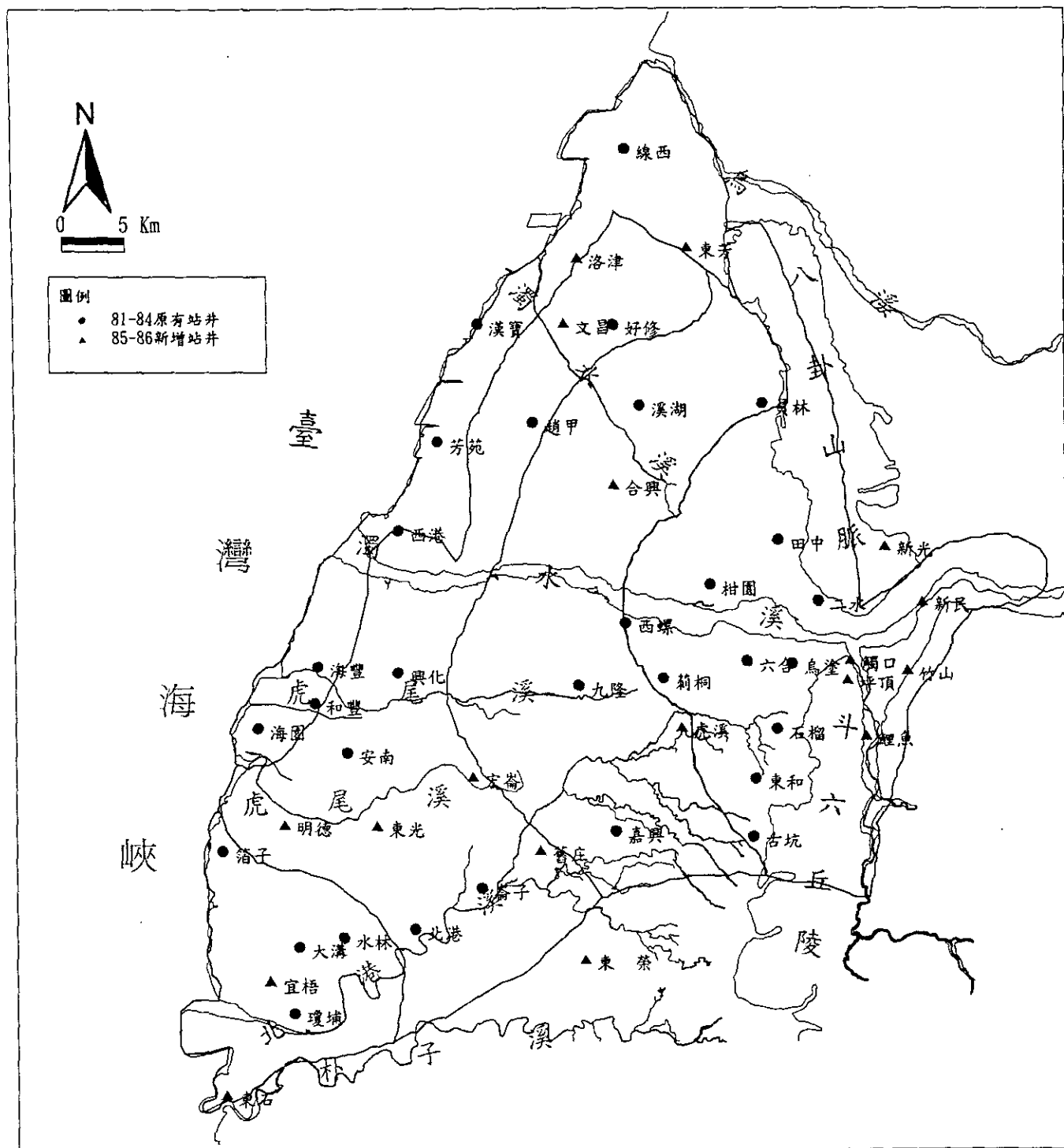


圖3.4 含水層三之站井分佈圖

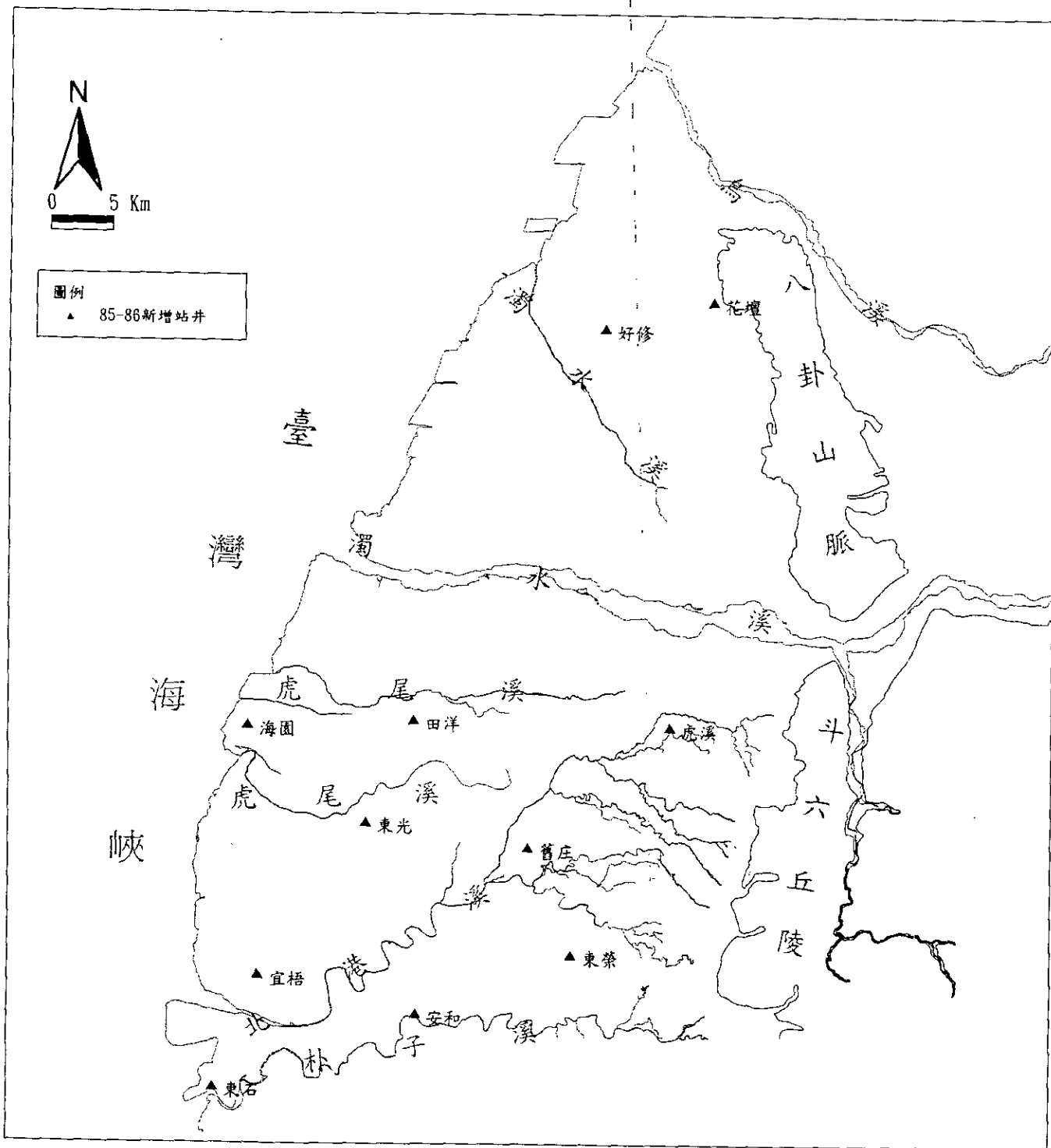


圖3.5 含水層四之站井分佈圖

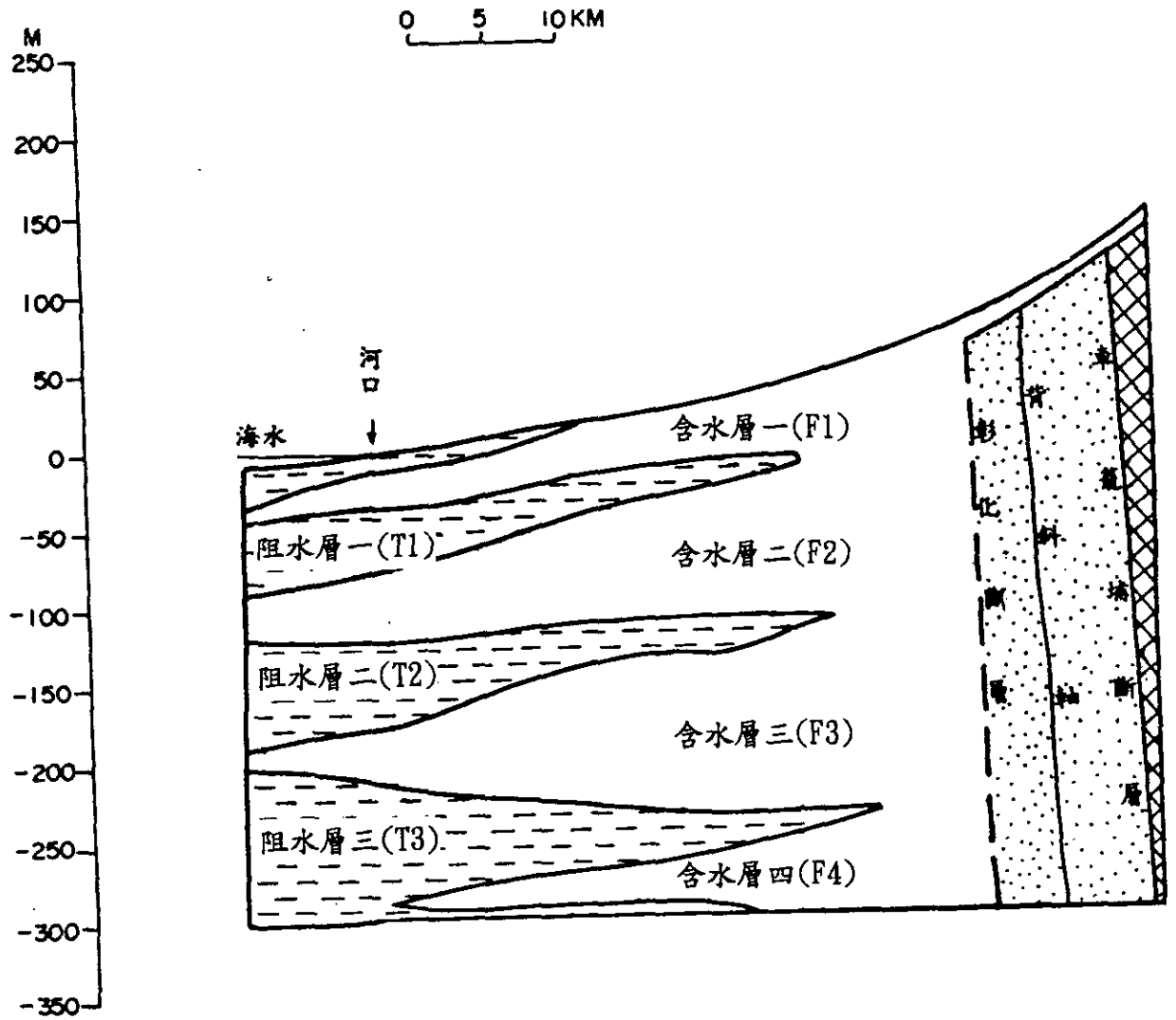


圖 3.6 濁水溪沖積扇水文地質分層示意圖

(資料來源 中央地調所 1999 年)

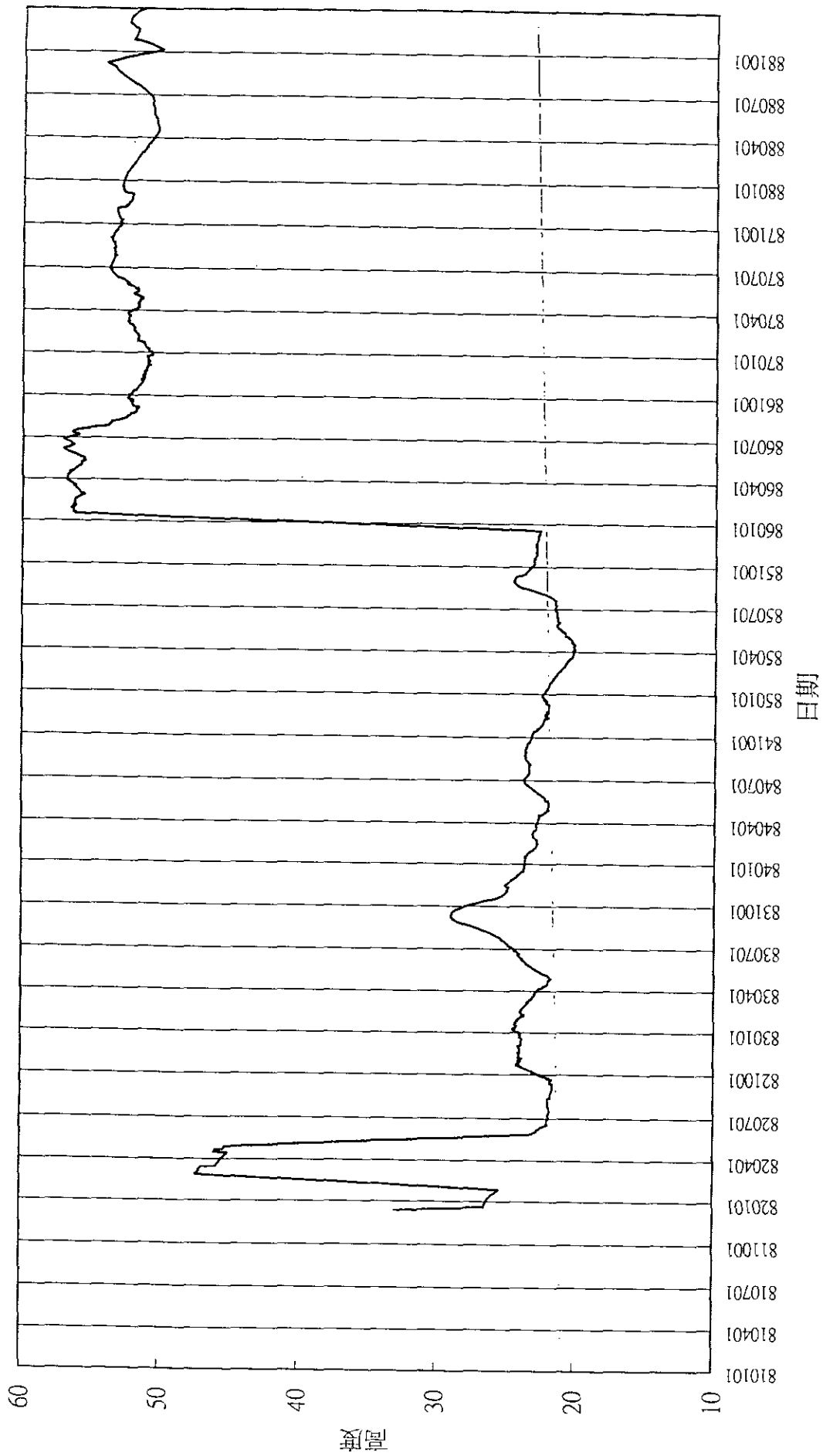


圖3.7 含水層一月移動平均圖

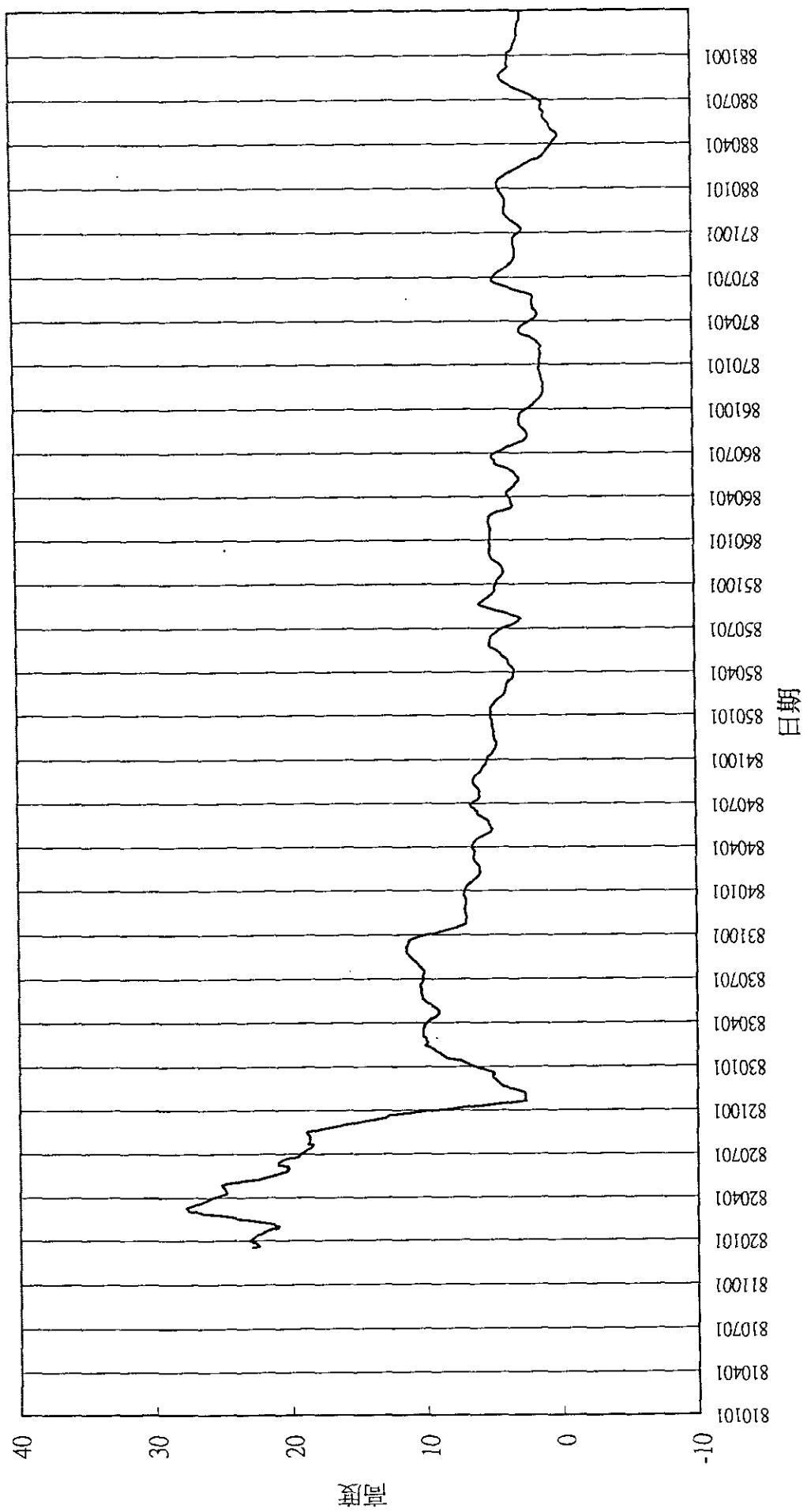


圖3.8 含水層二月移動平均圖

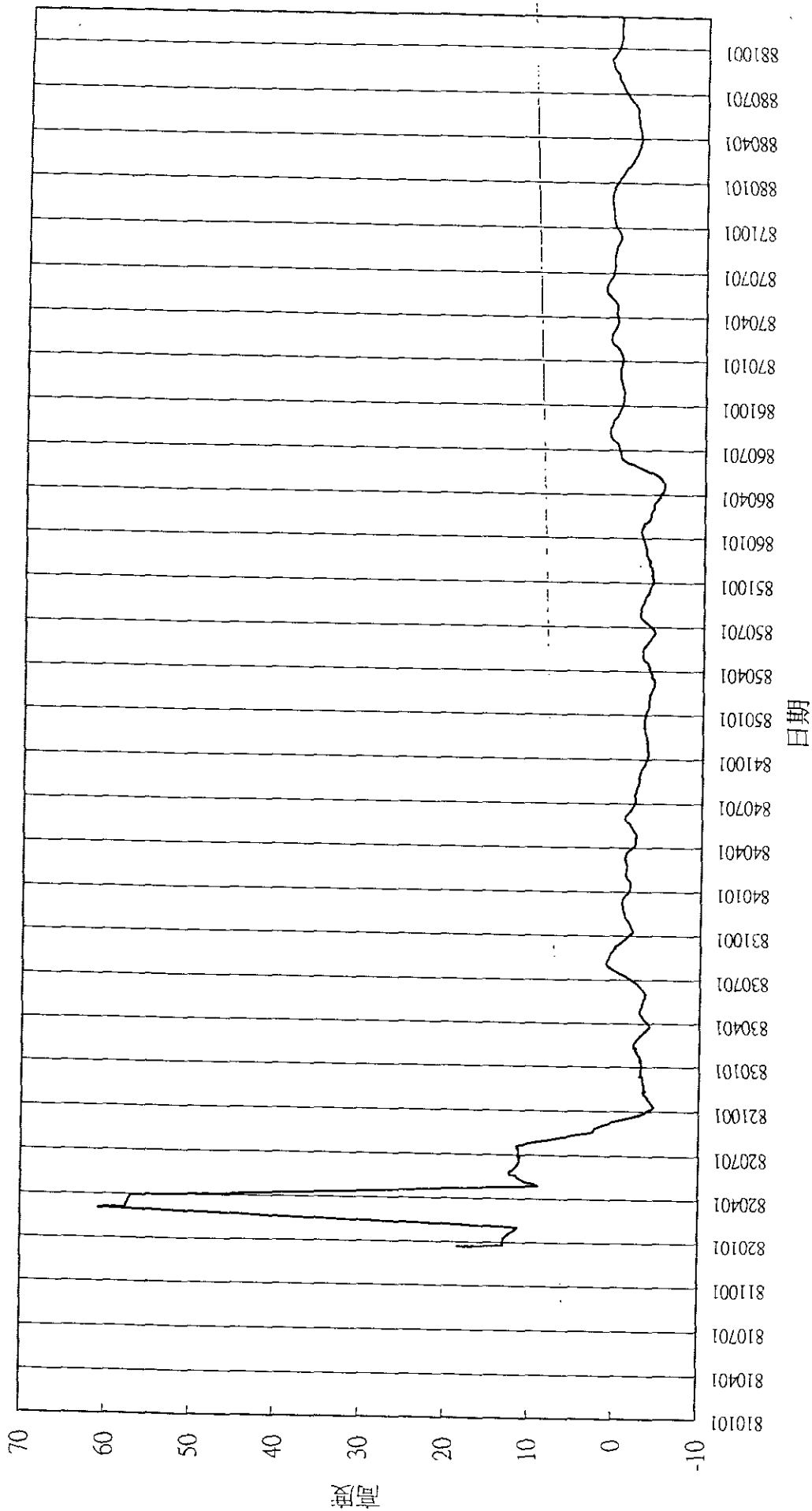


圖3.9 含水層三 月移動平均圖

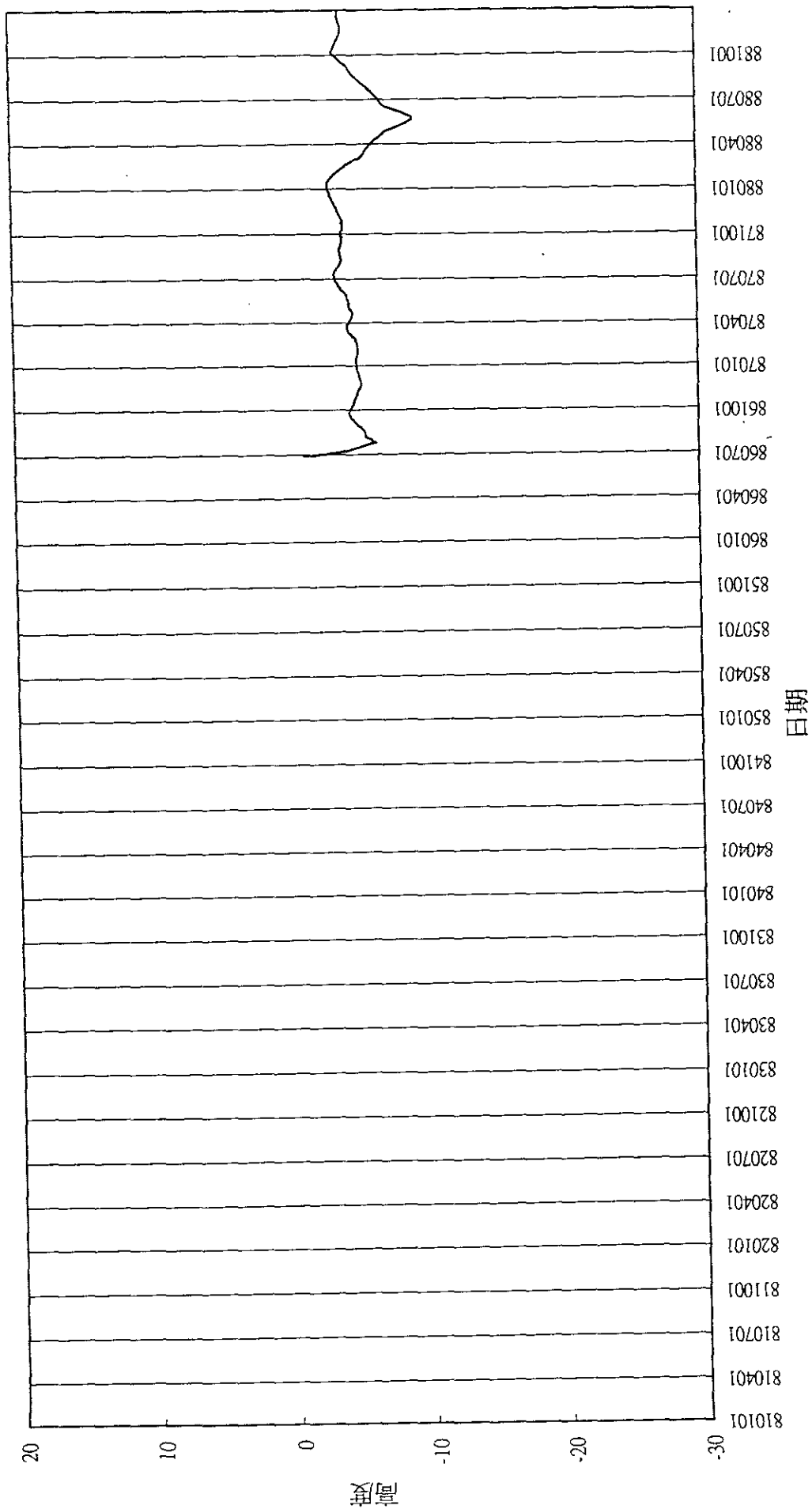


圖3.10 含水層四 月移動平均圖

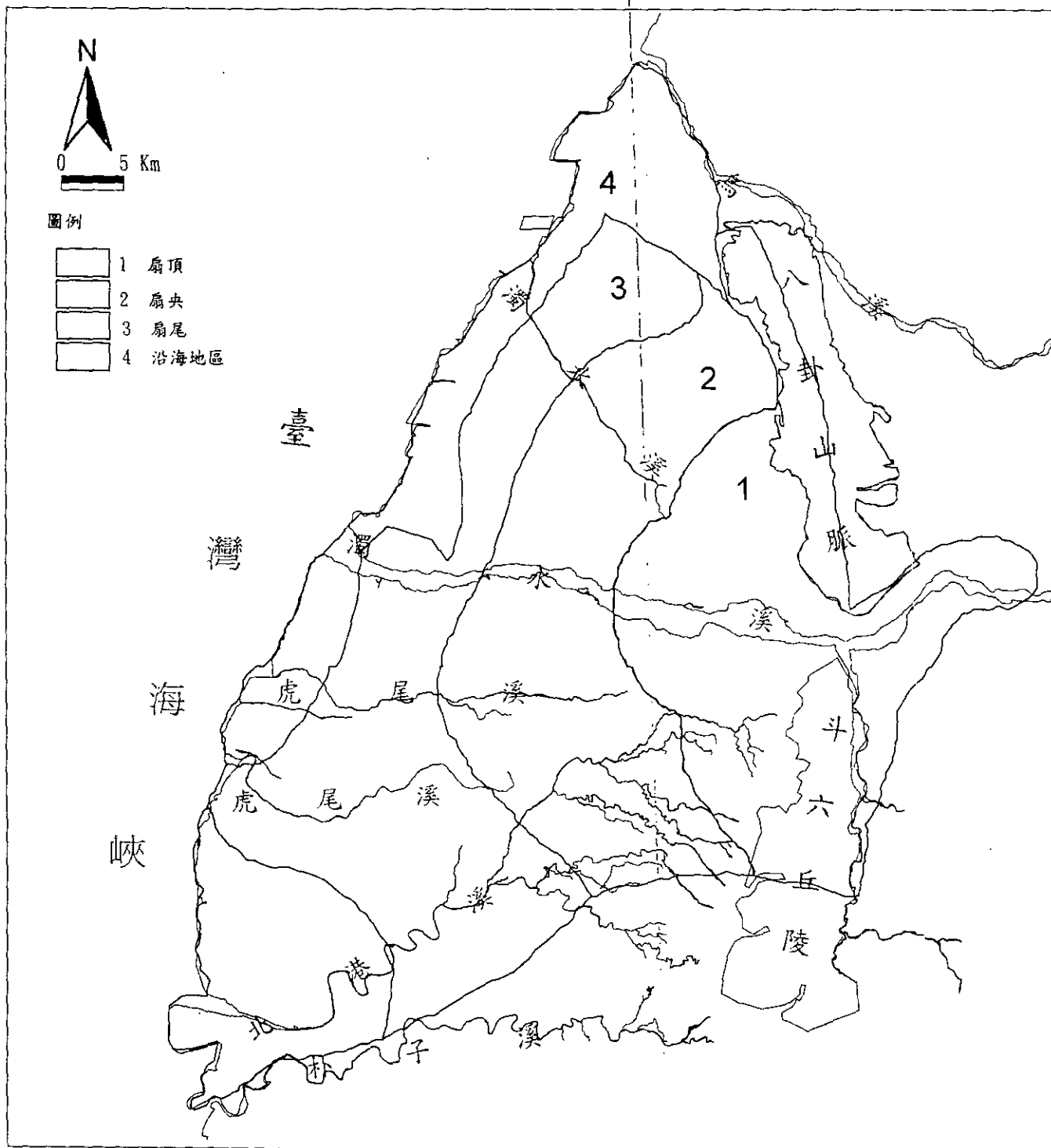


圖3.11 濁水溪沖積扇分區圖

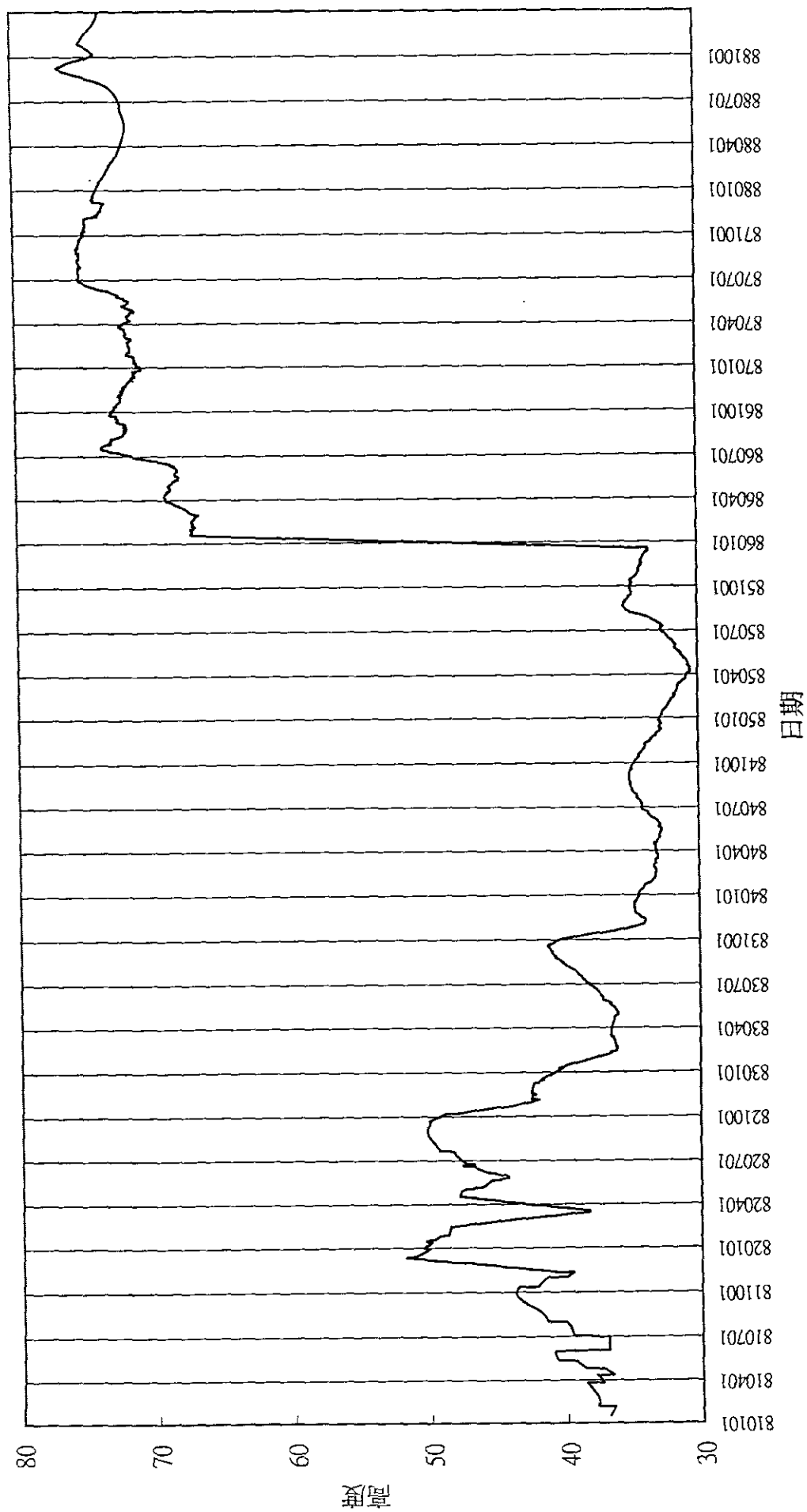


圖3.12 扇頂 月移動平均圖

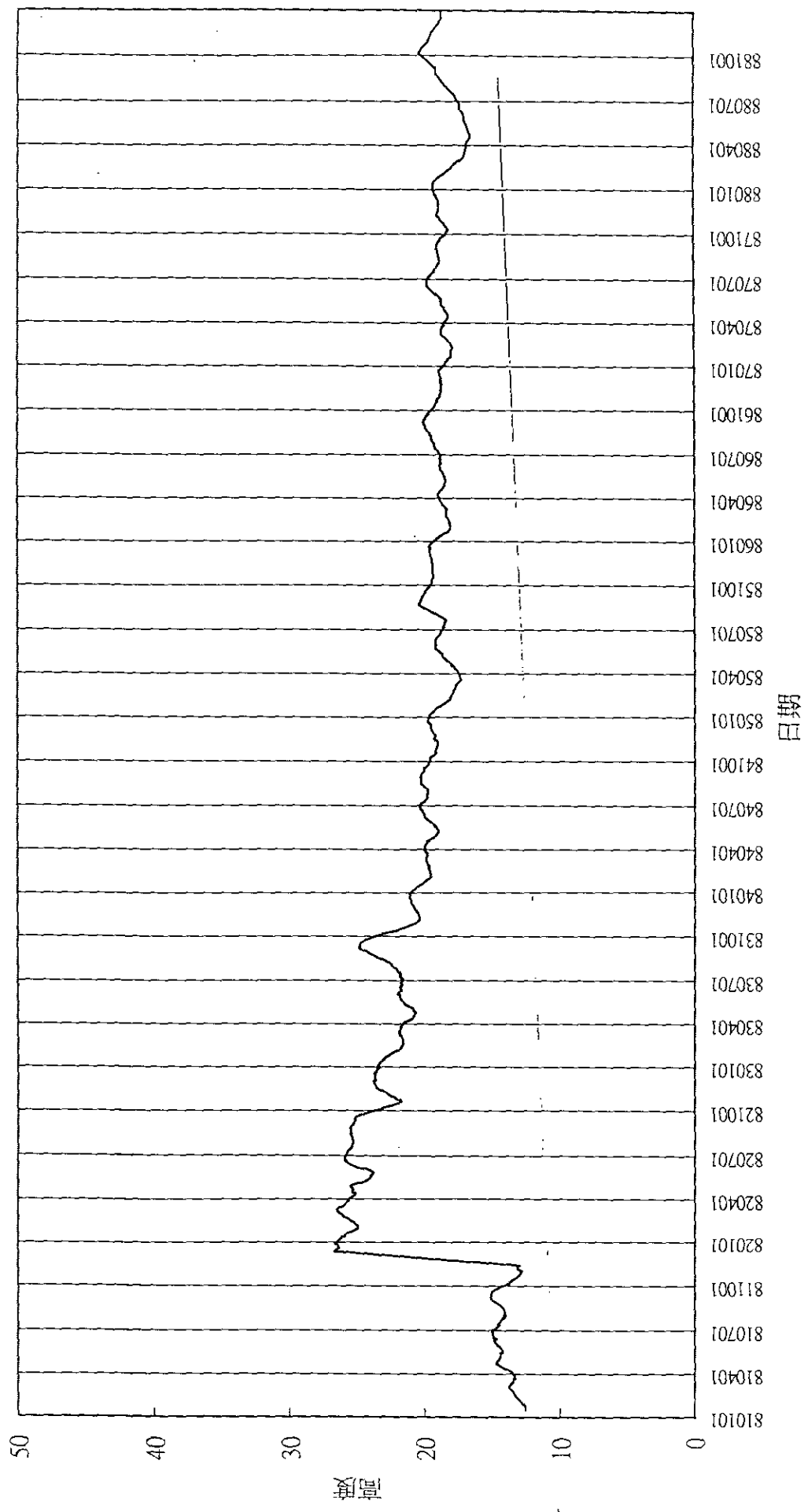


圖3.13 扇央 月移動平均圖

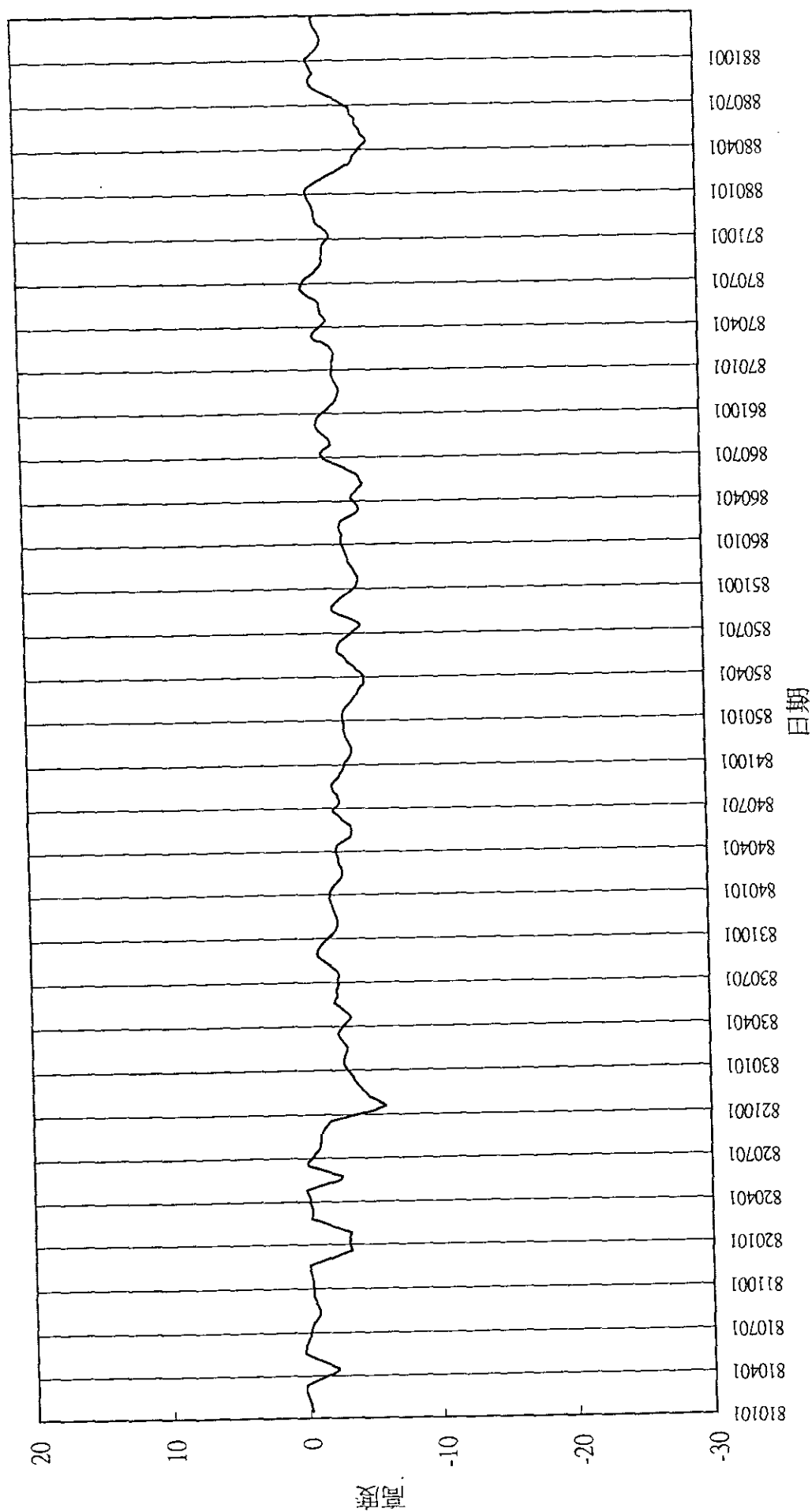


圖3.14 扇尾 月移動平均圖

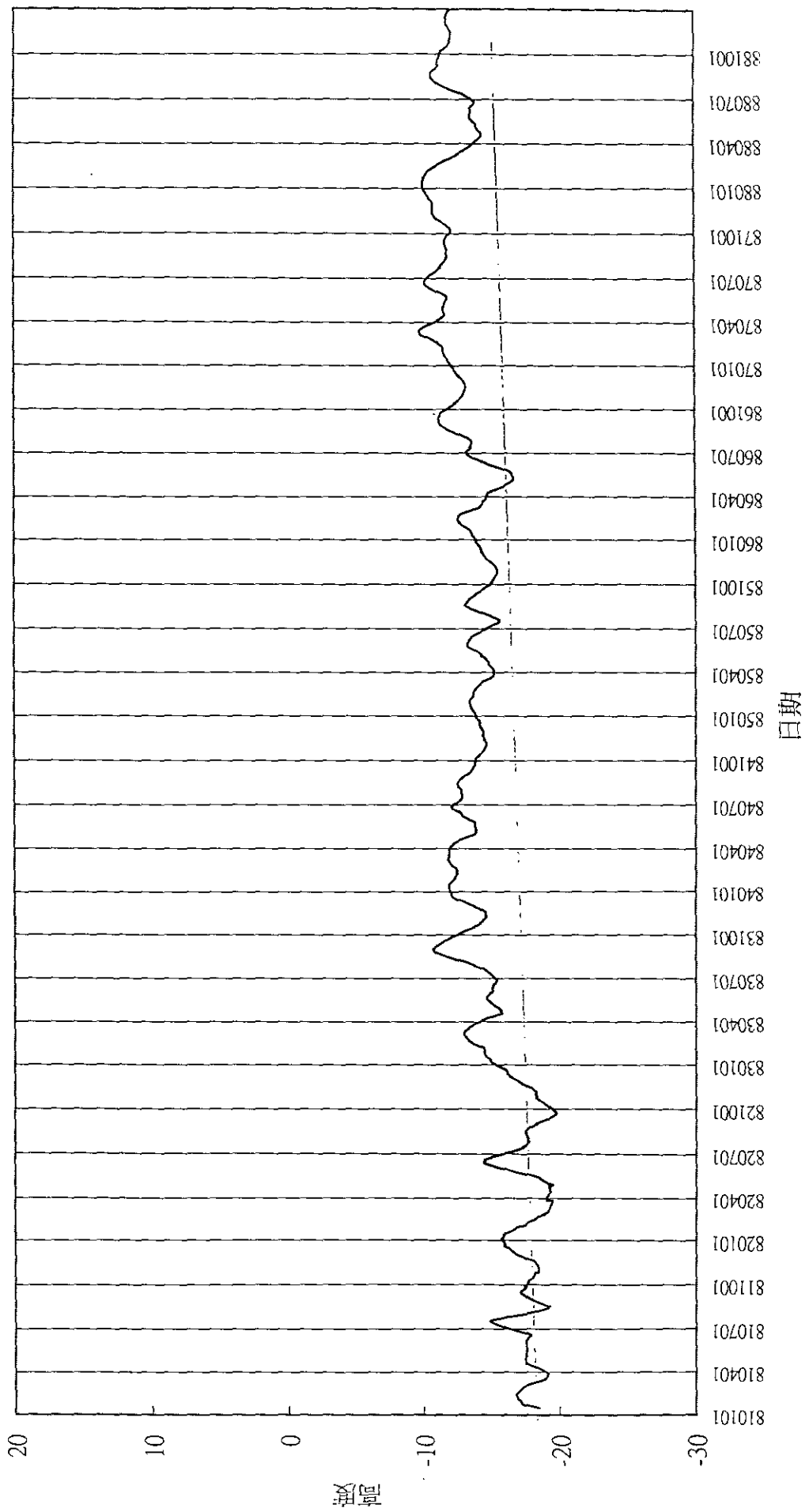


圖3.15 沿海地區 月移動平均圖

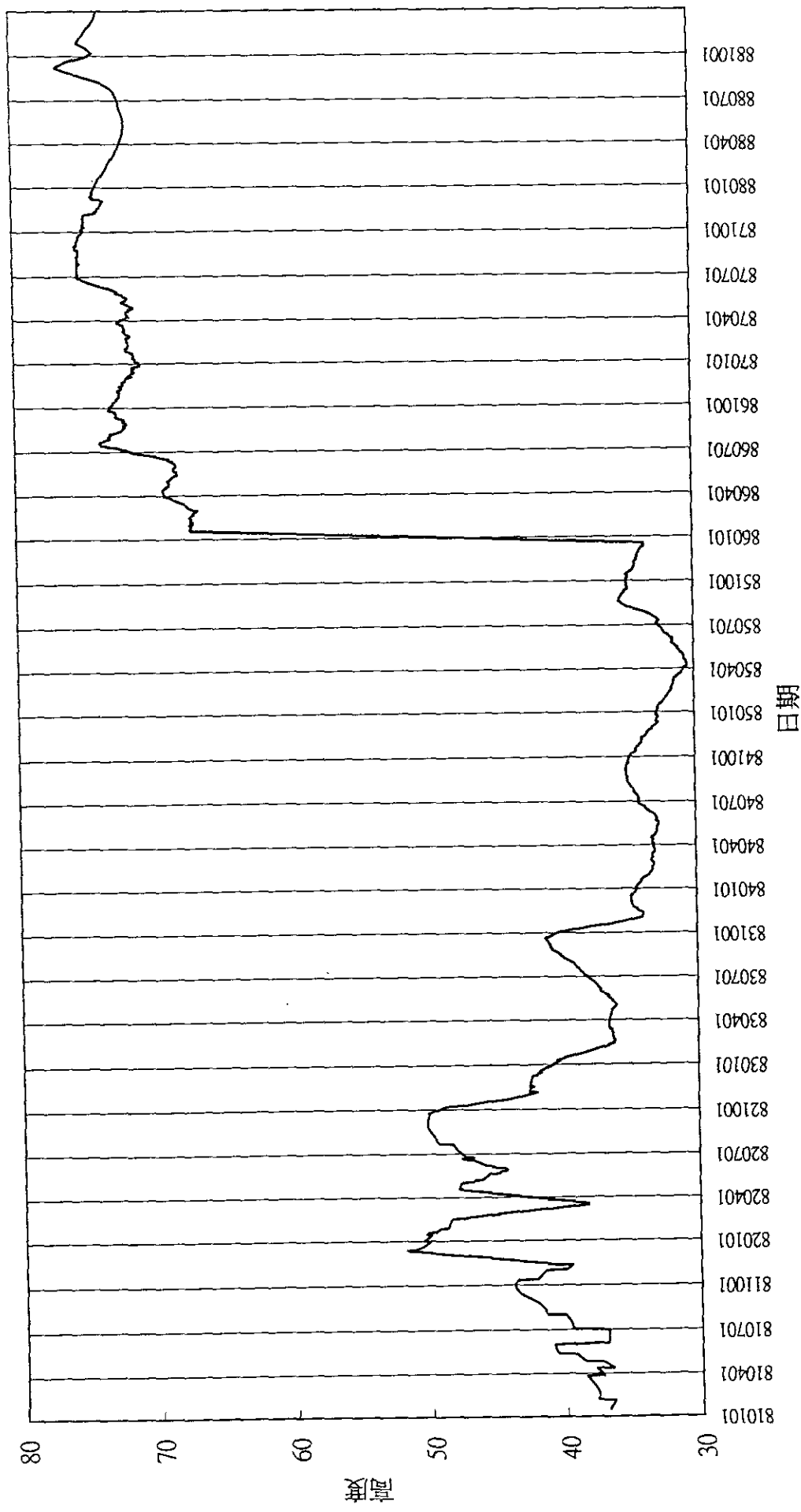


圖3.16 扇頂 月移動平均圖

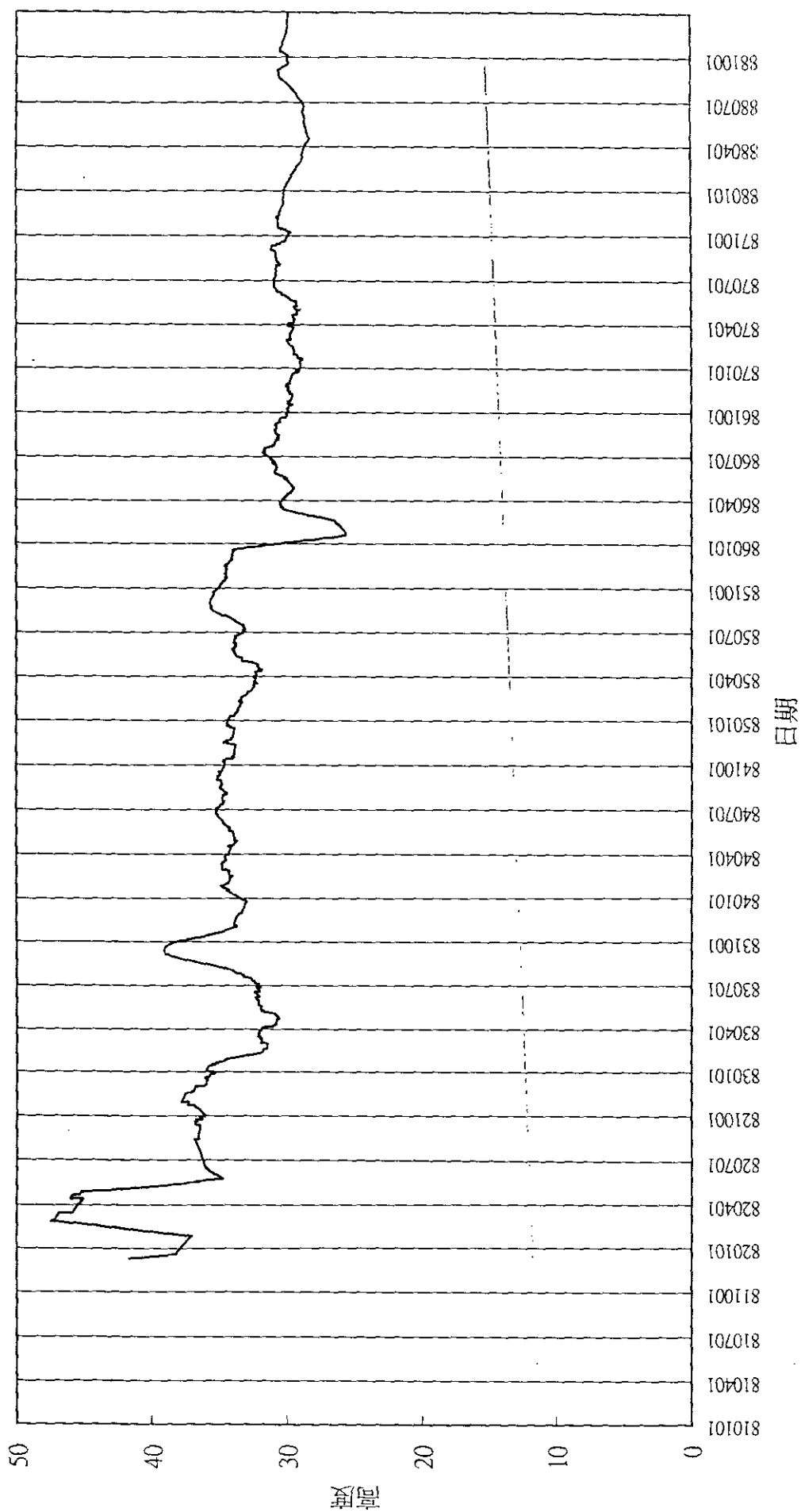


圖3.17 扇央-含水層一月移動平均圖

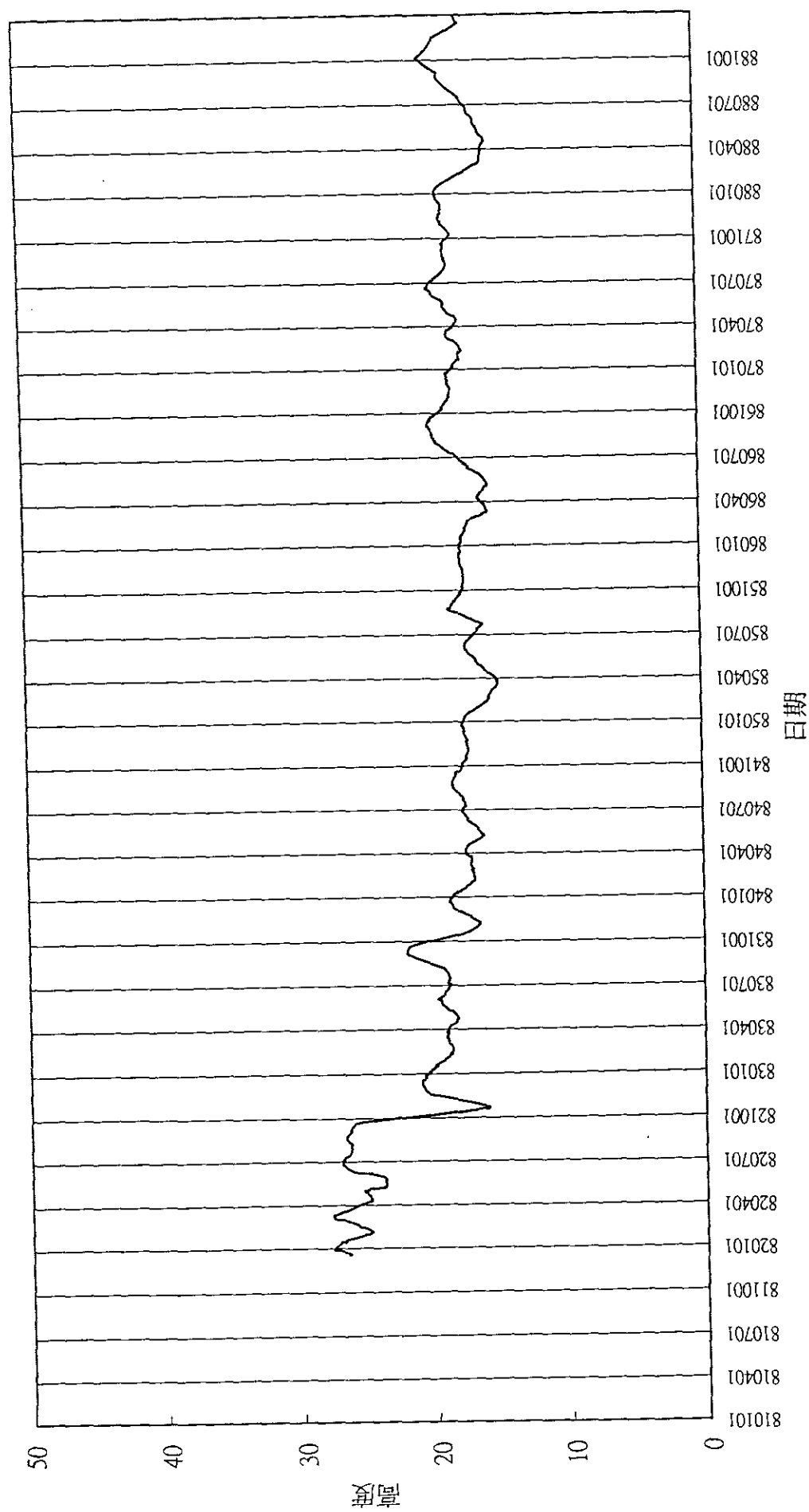


圖3.18 扇央-含水層二-月移動平均圖

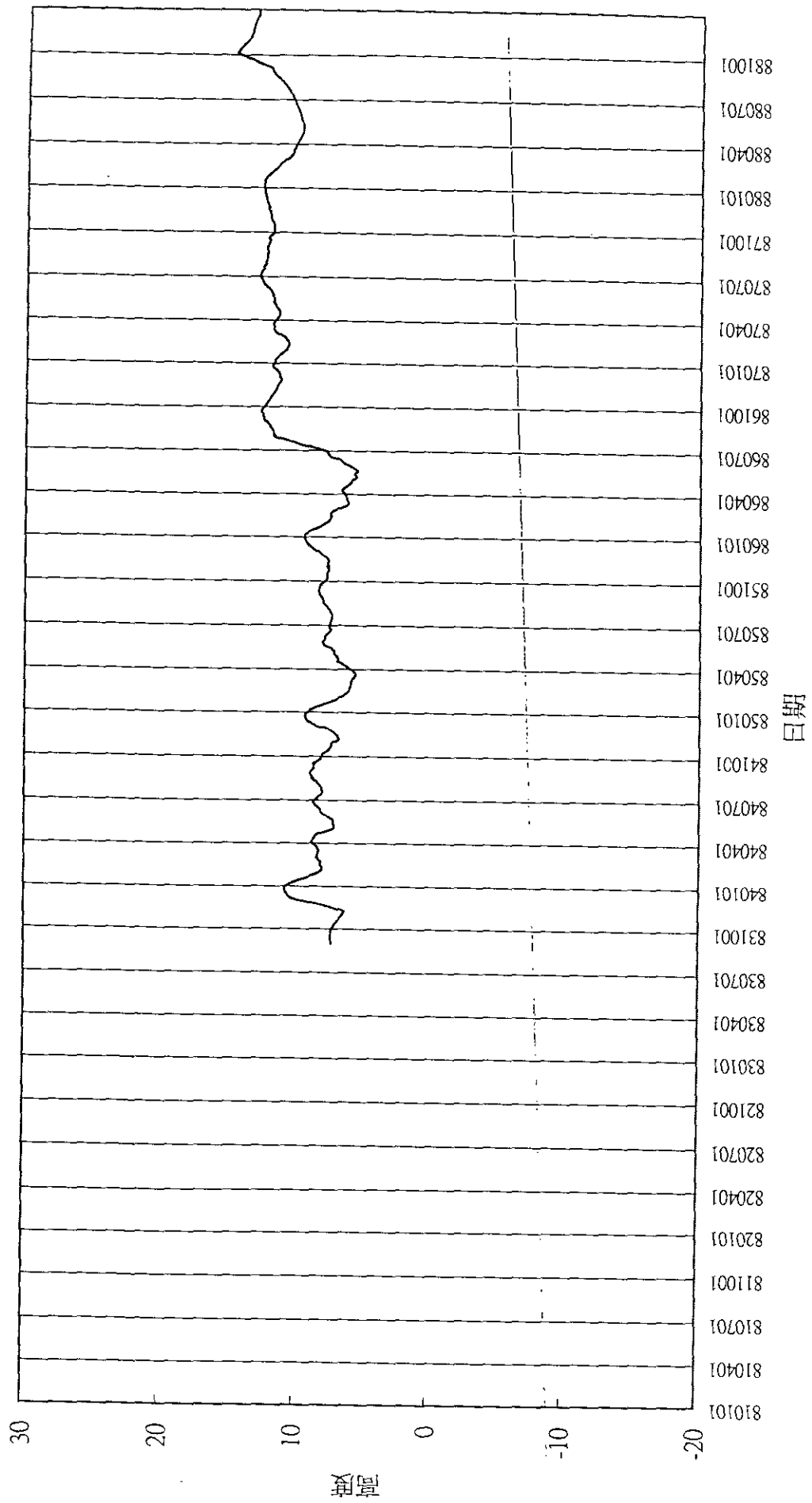


圖3.19 扇央-含水層三月移動平均圖

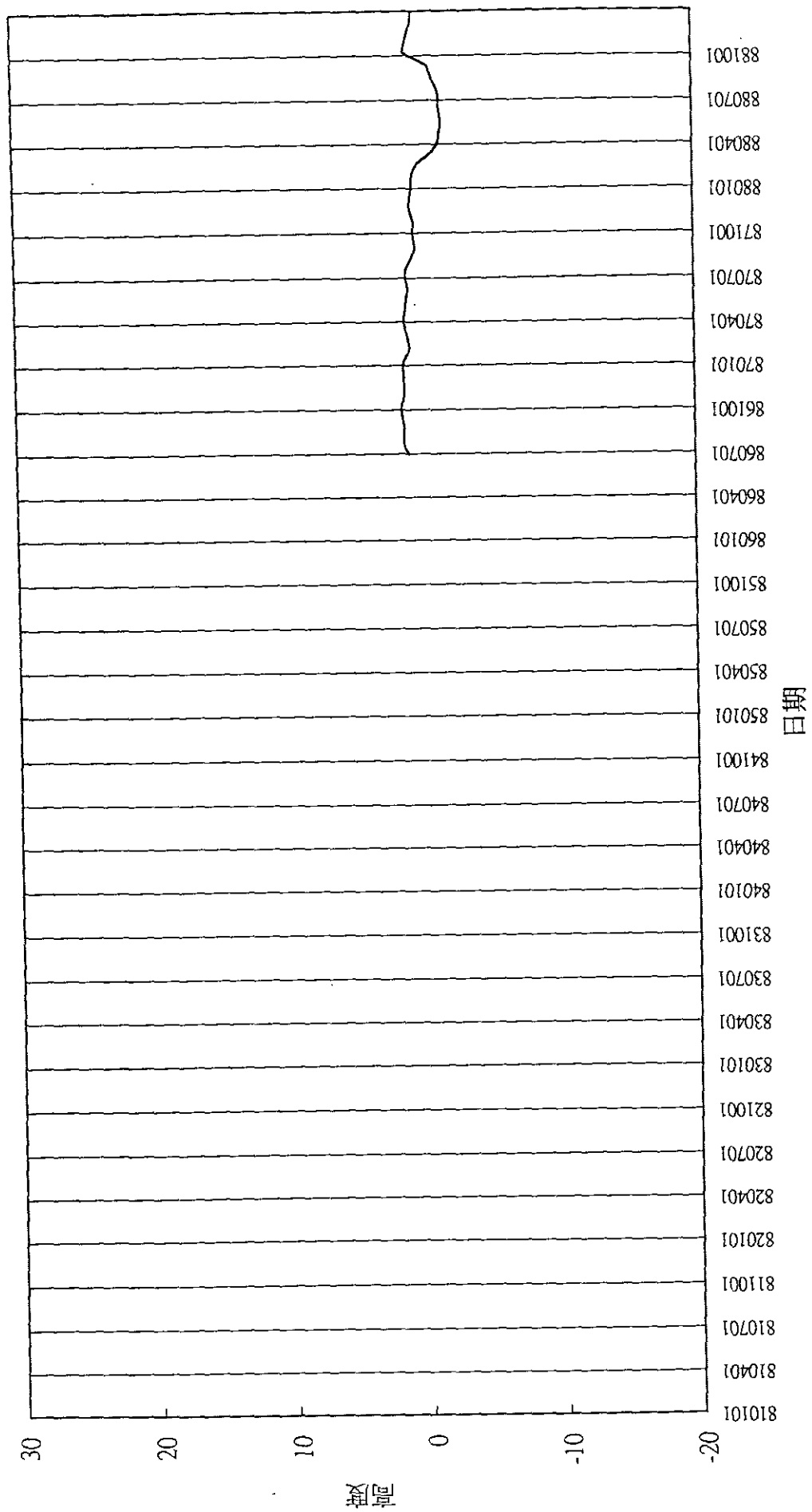


圖3.20 扇央含水層四月移動平均圖

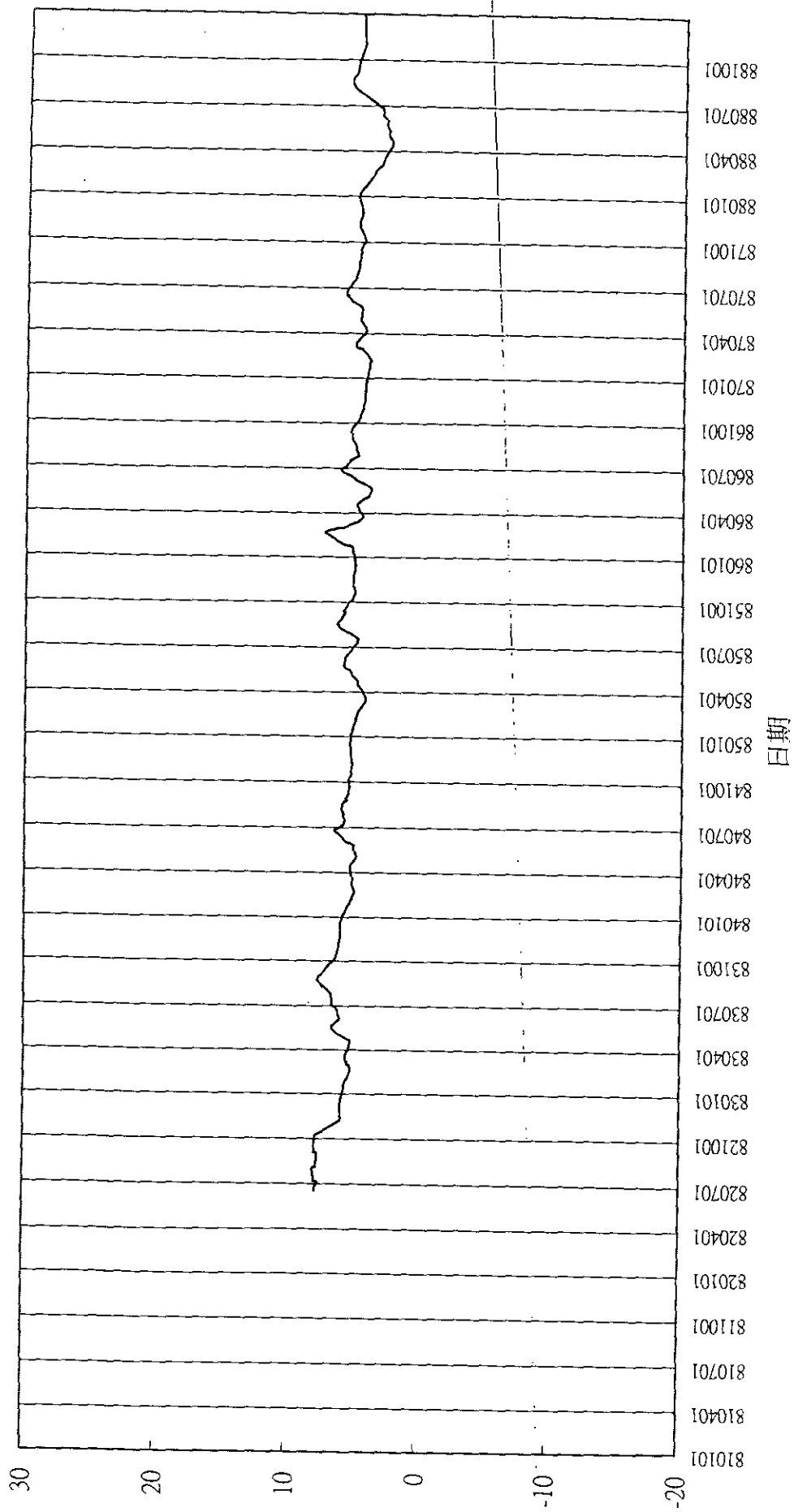


圖3.21 扇尾含水層一月移動平均圖

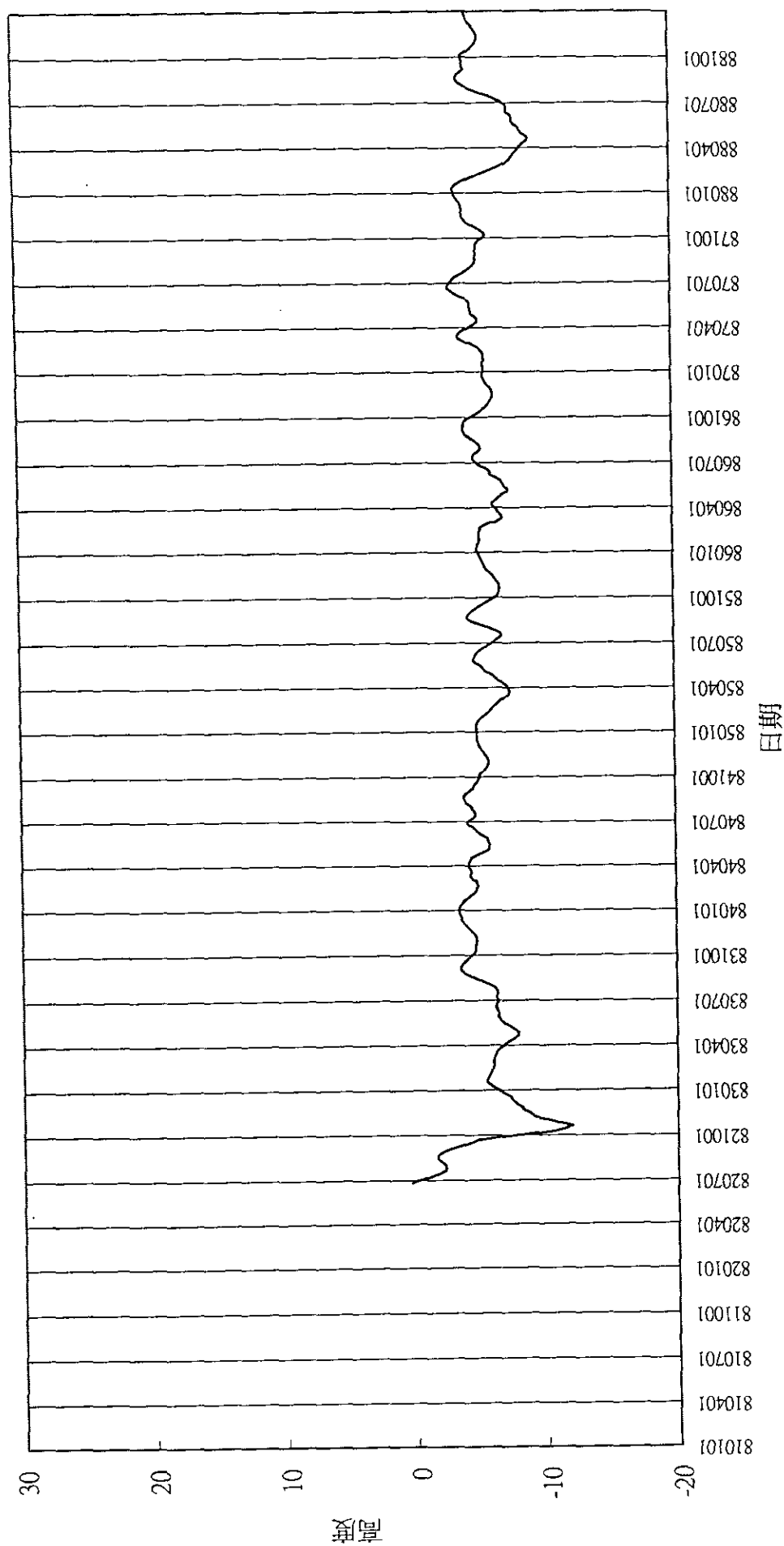


圖3.22 扇尾-含水層二月移動平均圖

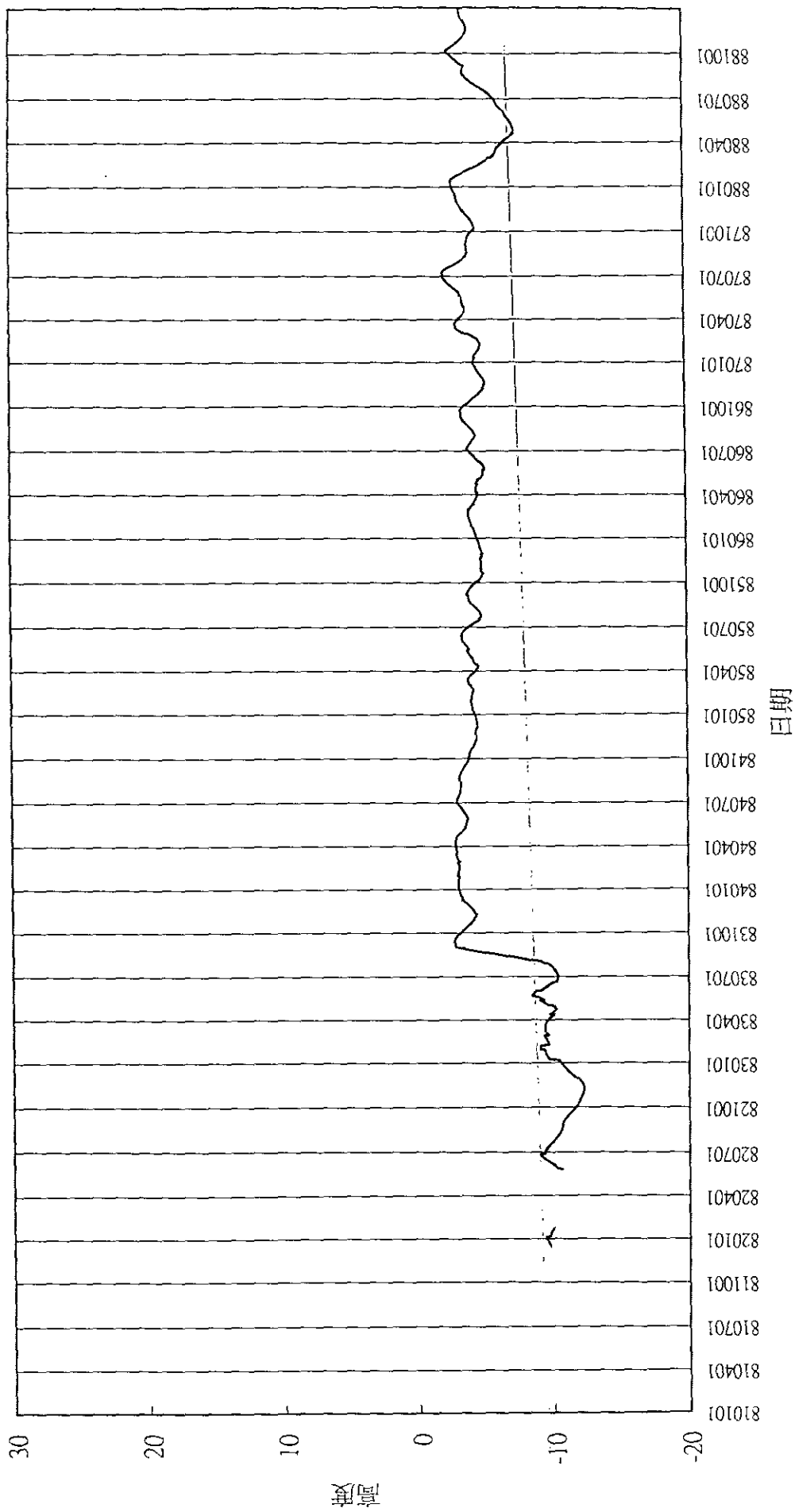


圖3.23 扇尾-含水層三月移動平均圖

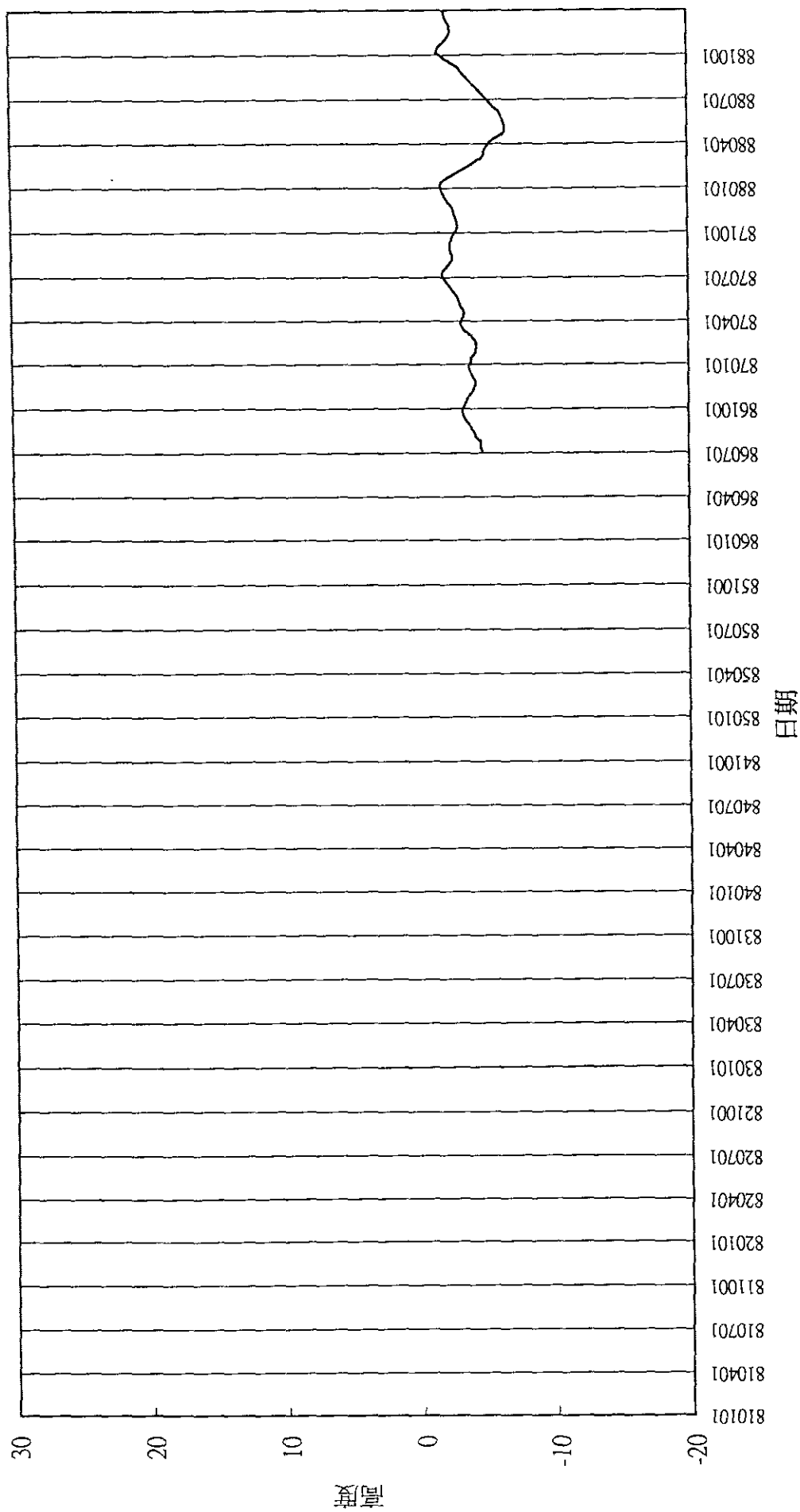


圖3.24 扇尾-含水層四 月移動平均圖

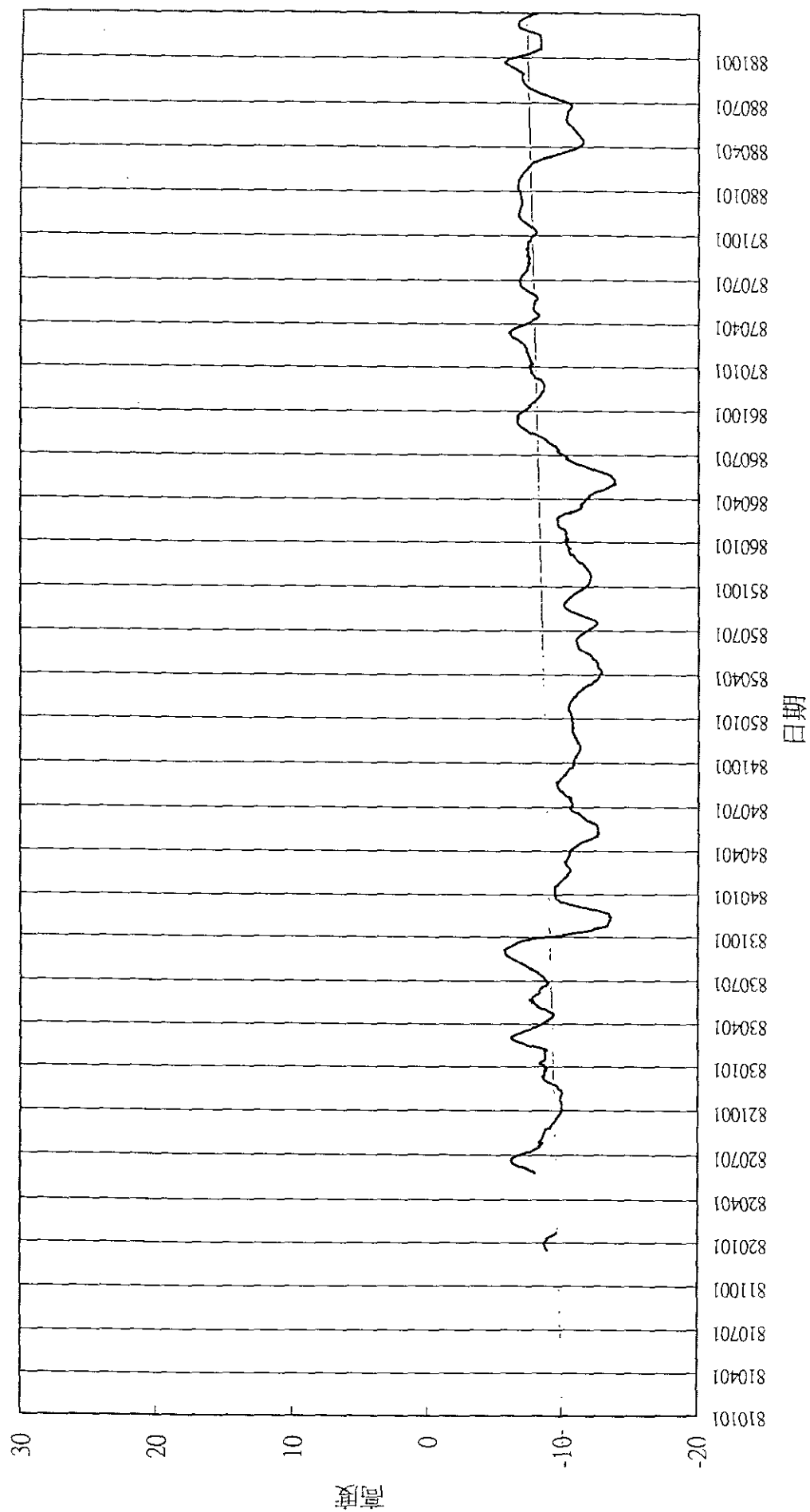


圖3.25 沿海地區-含水層一月移動平均圖

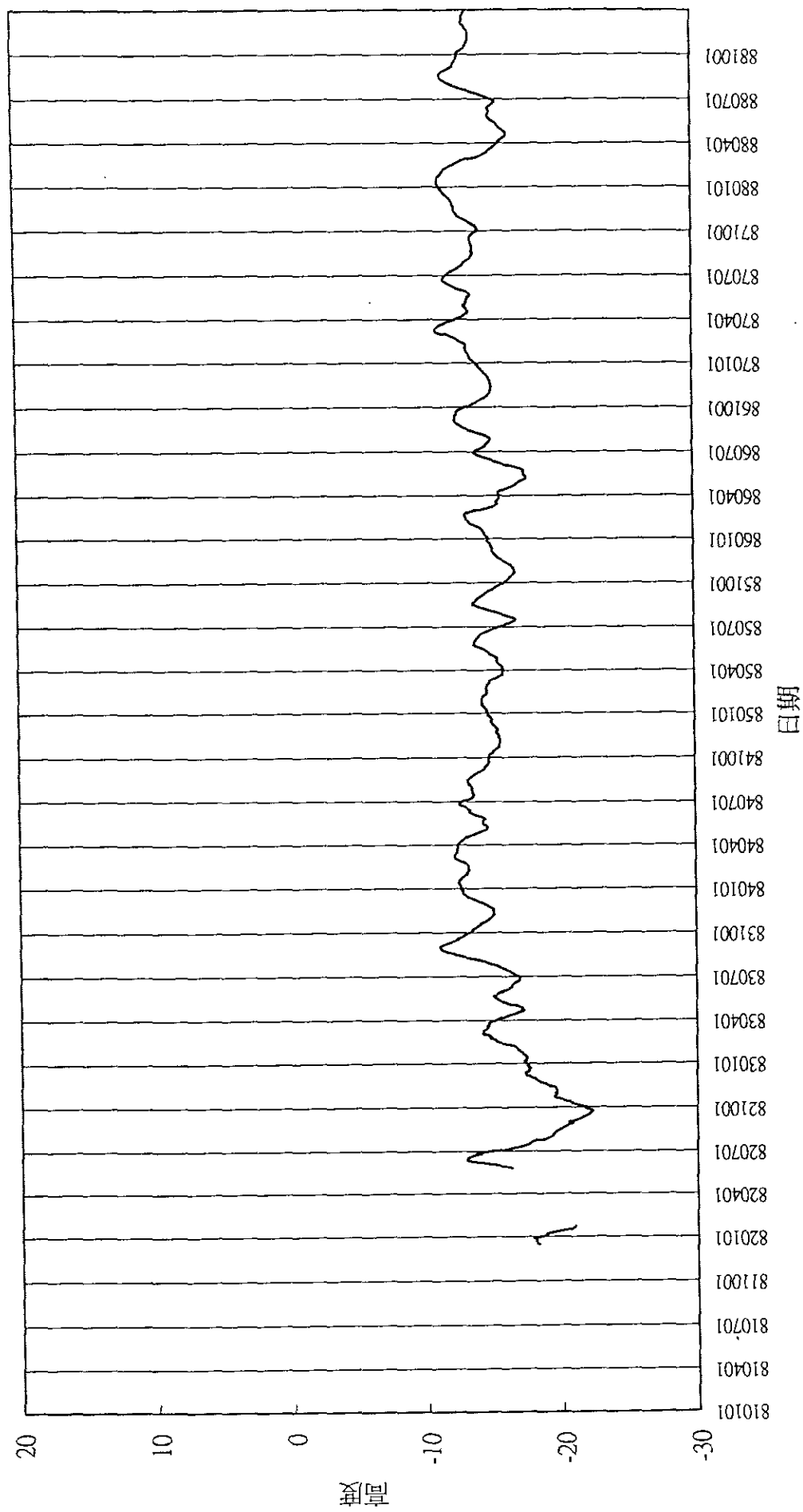


圖3.26 沿海地區-含水層二月移動平均圖

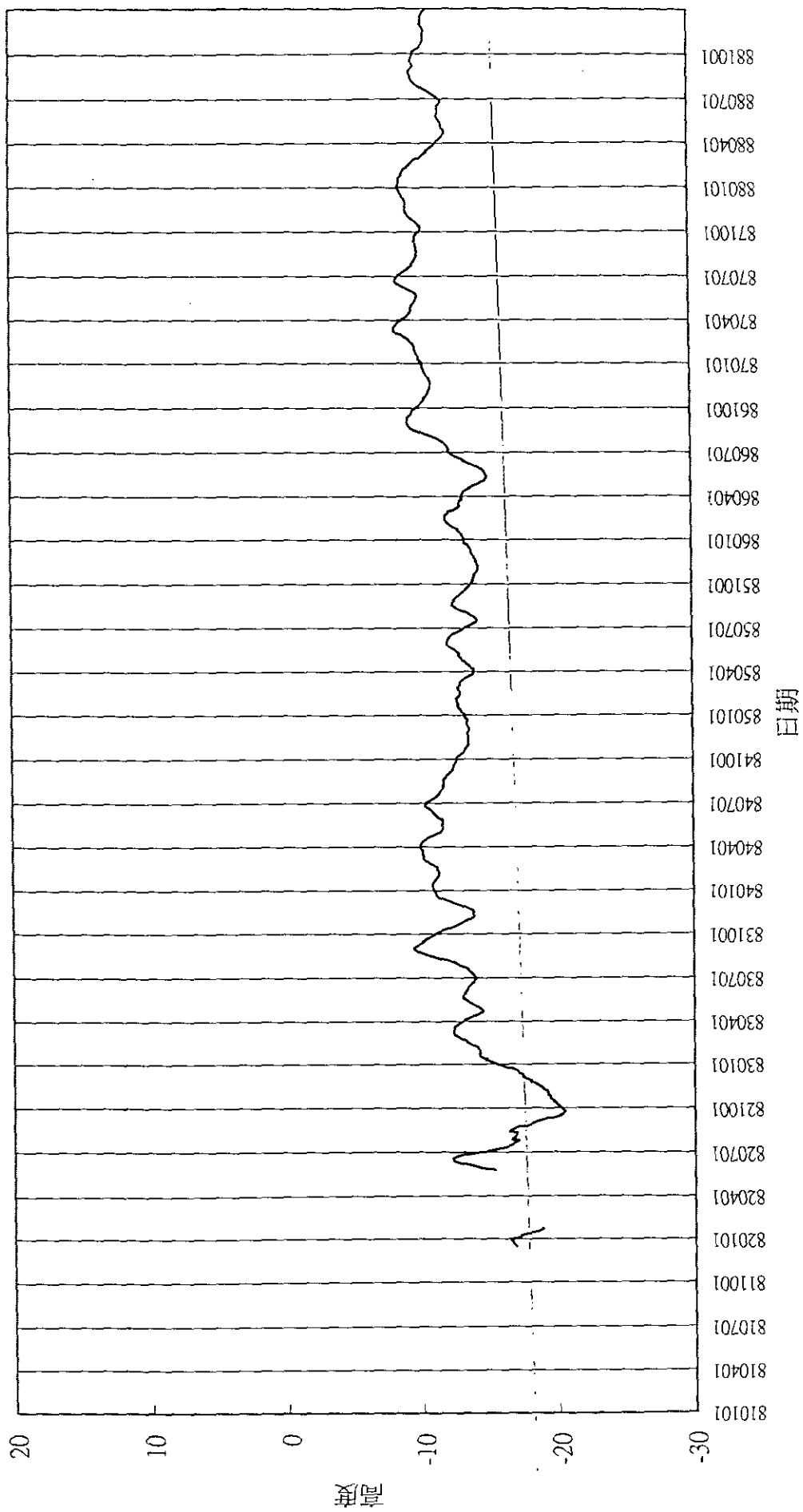


圖3.27 沿海地區-含水層三月移動平均圖

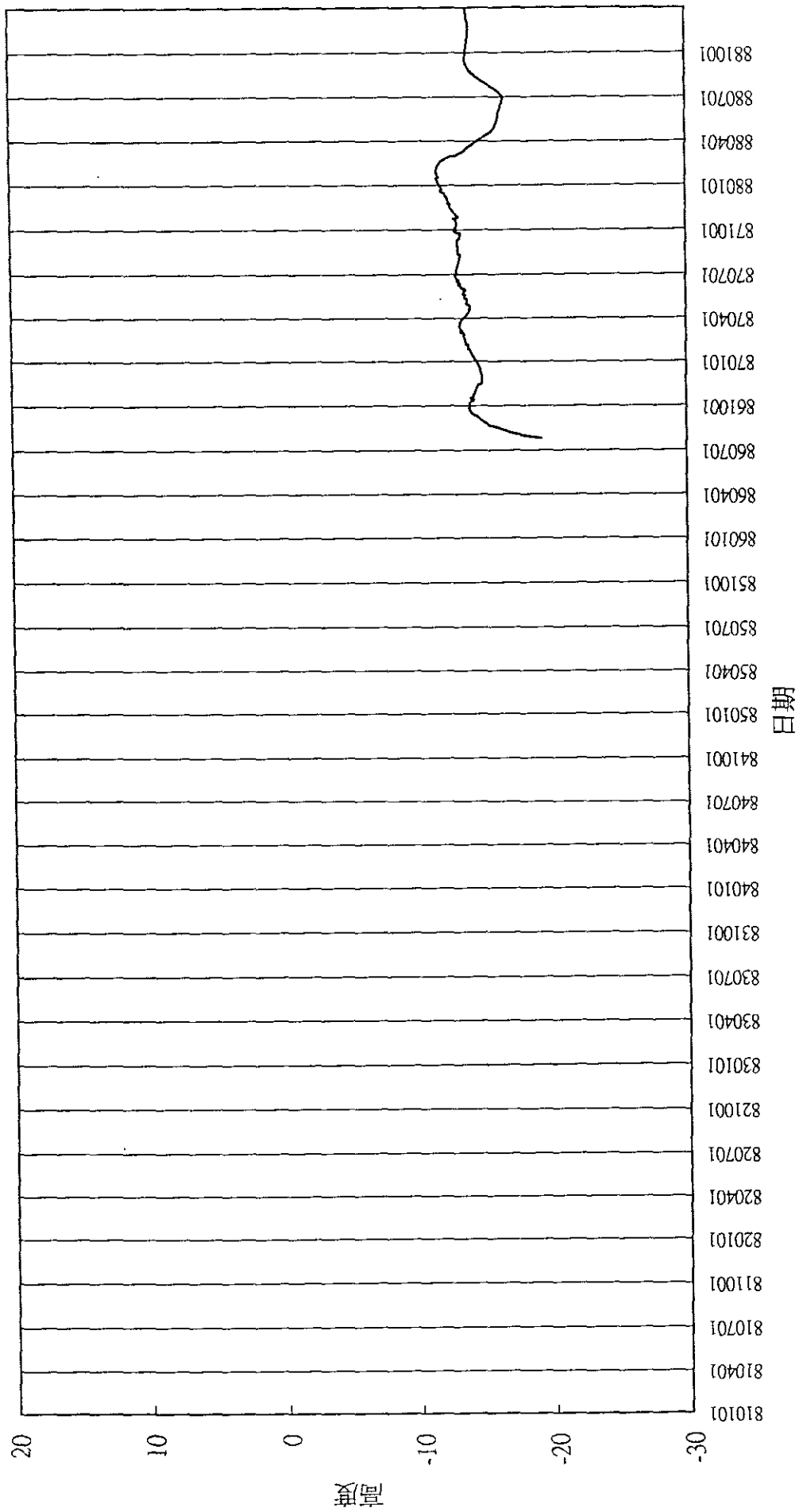


圖3.28 沿海地區-含水層四 月移動平均圖

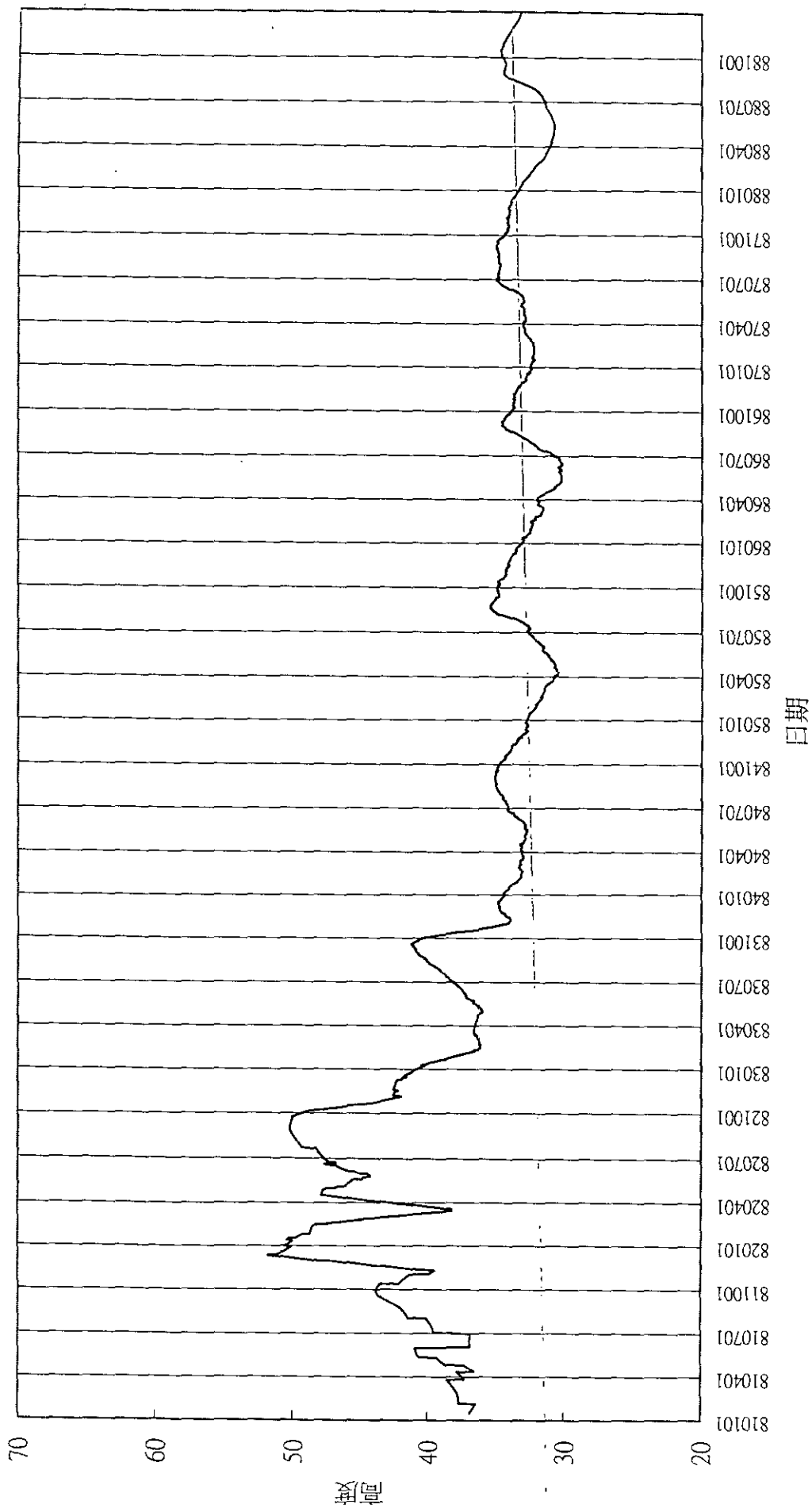


圖3.29 扇頂 月移動平均圖(去除新增站井)

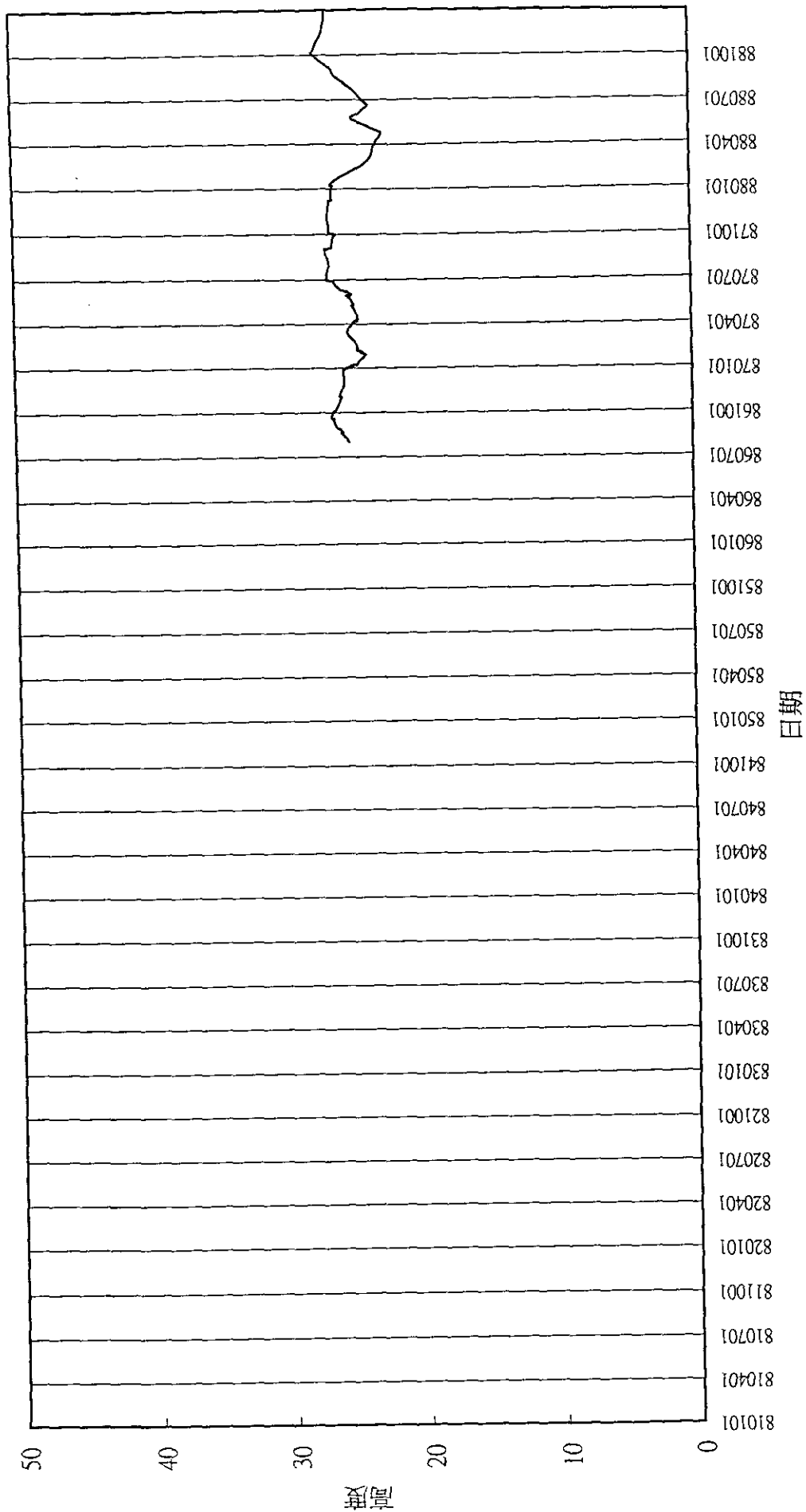


圖3.30 虎溪站月移動平均圖 (86年7月15日開始記錄)

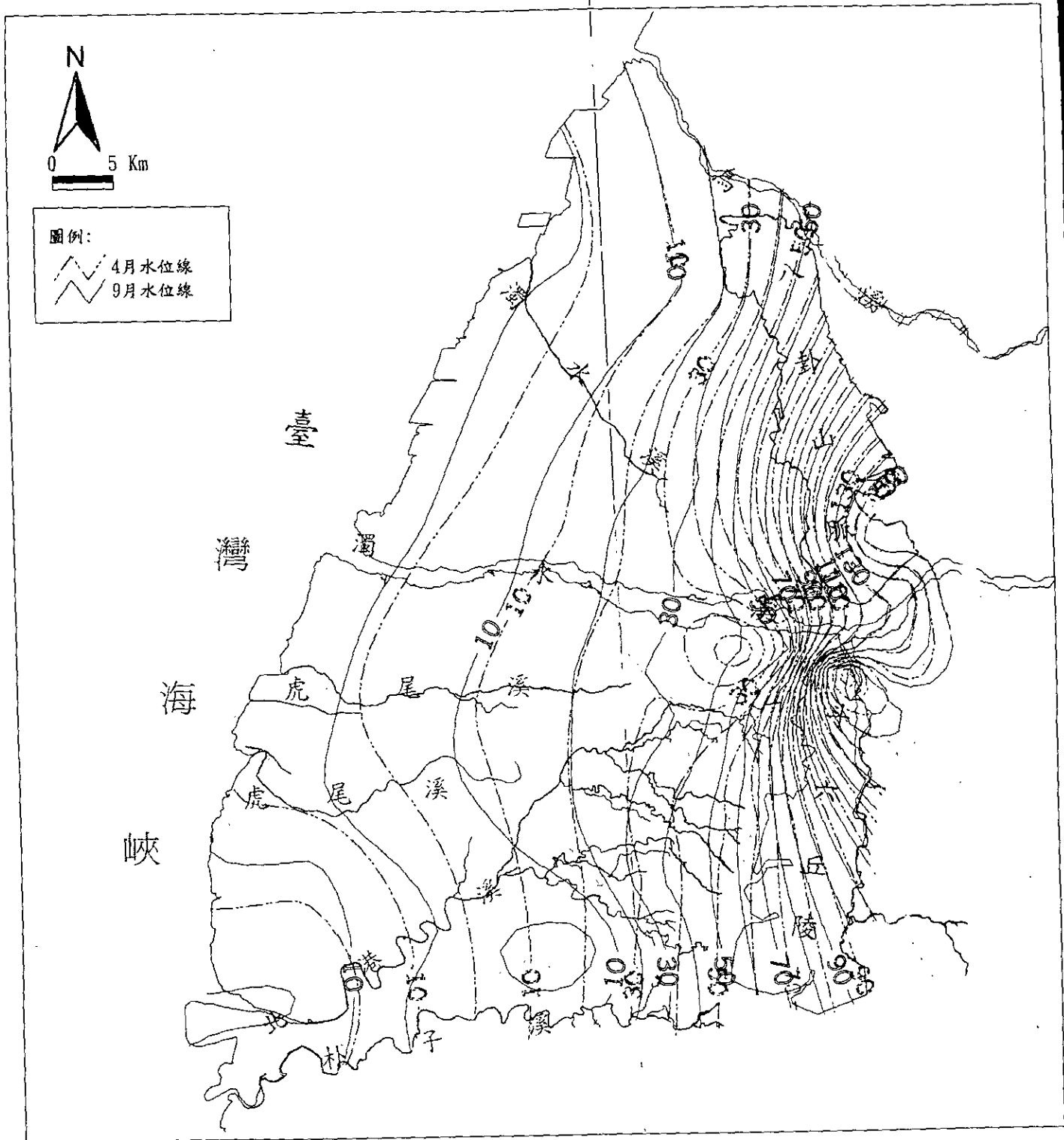


圖3.31 含水層一86年9月與4月月平均水位

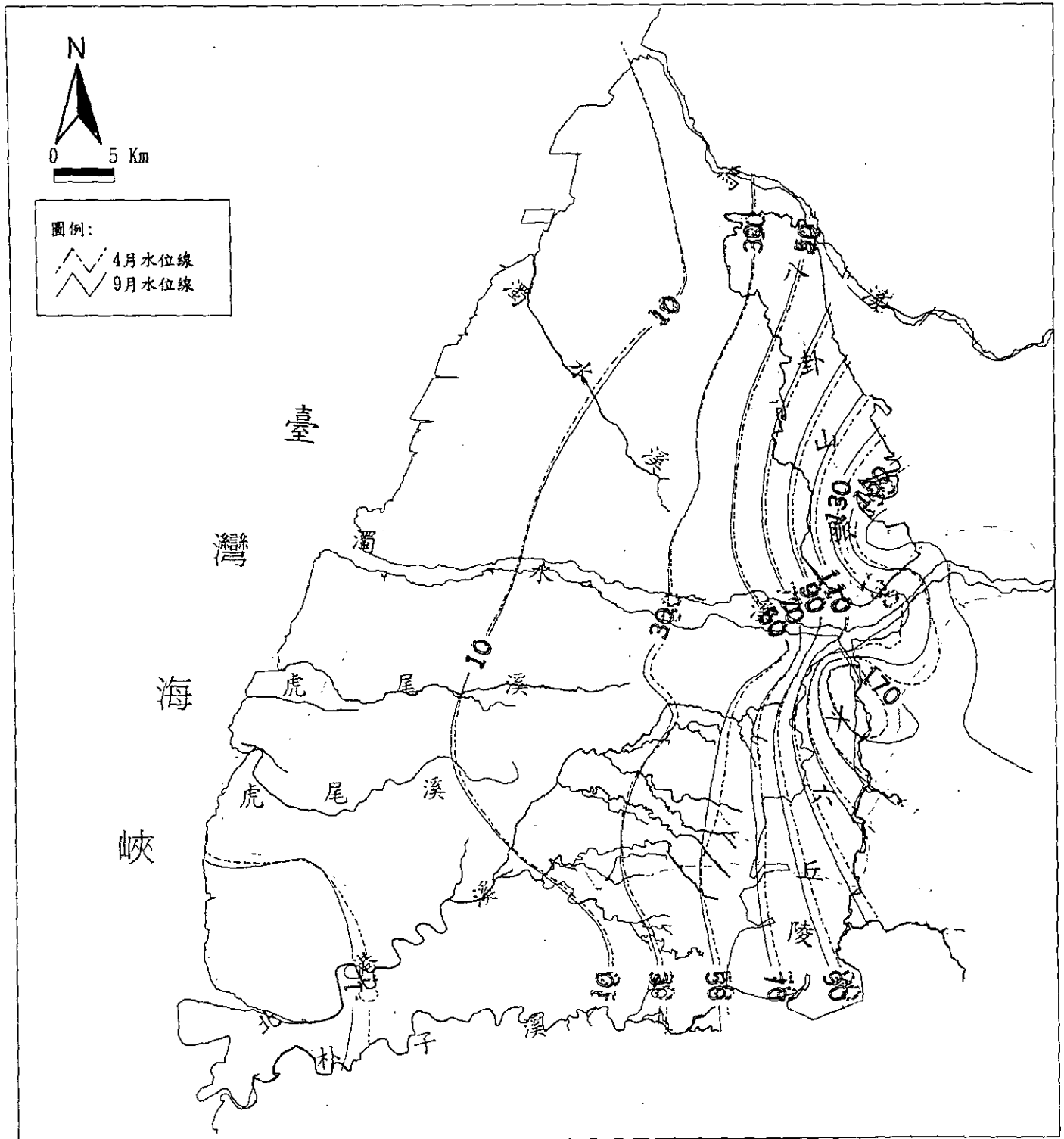


圖3.32 含水層—87年9月與4月月平均水位

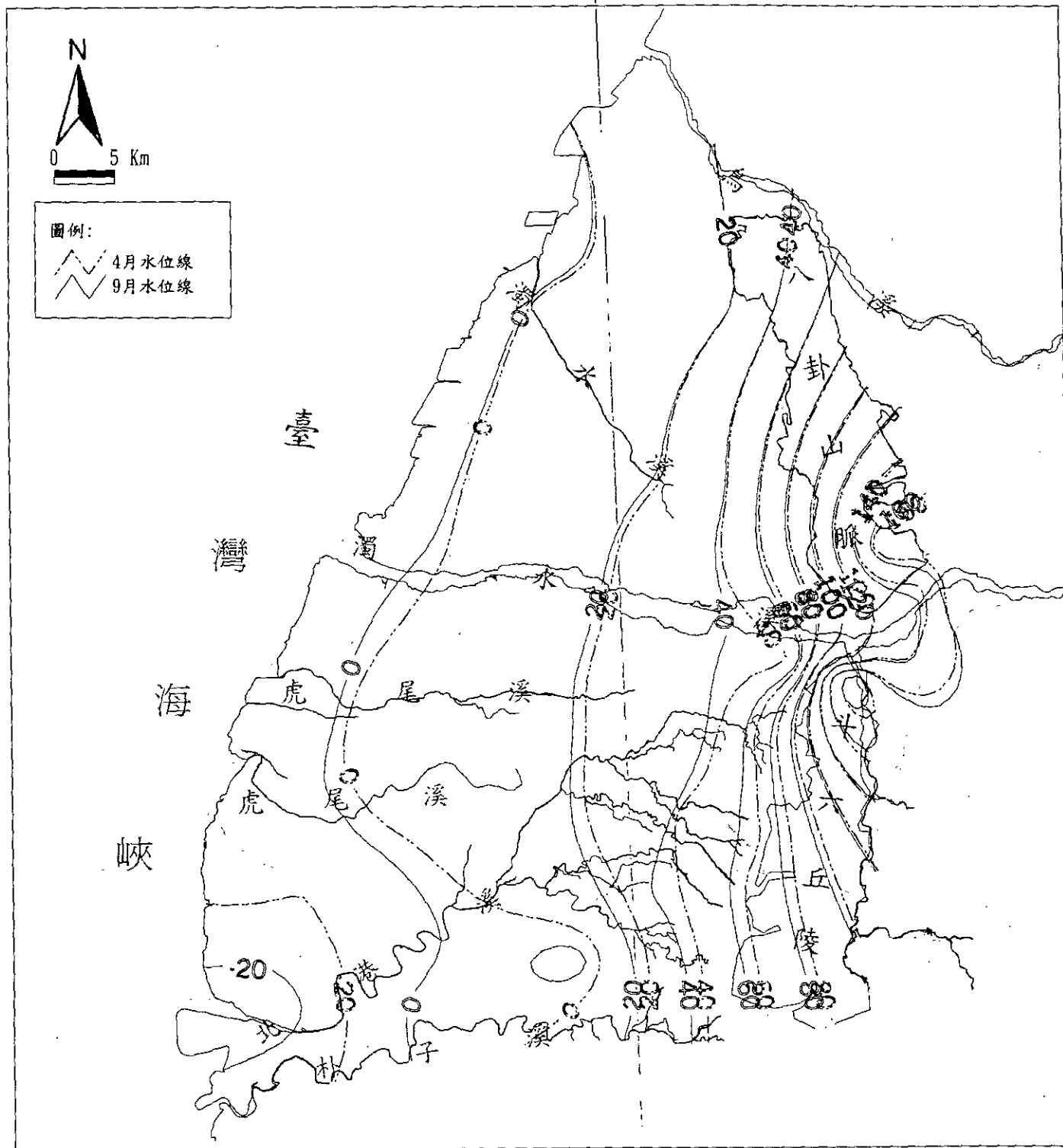


圖3.33 含水層-88年9月與4月月平均水位

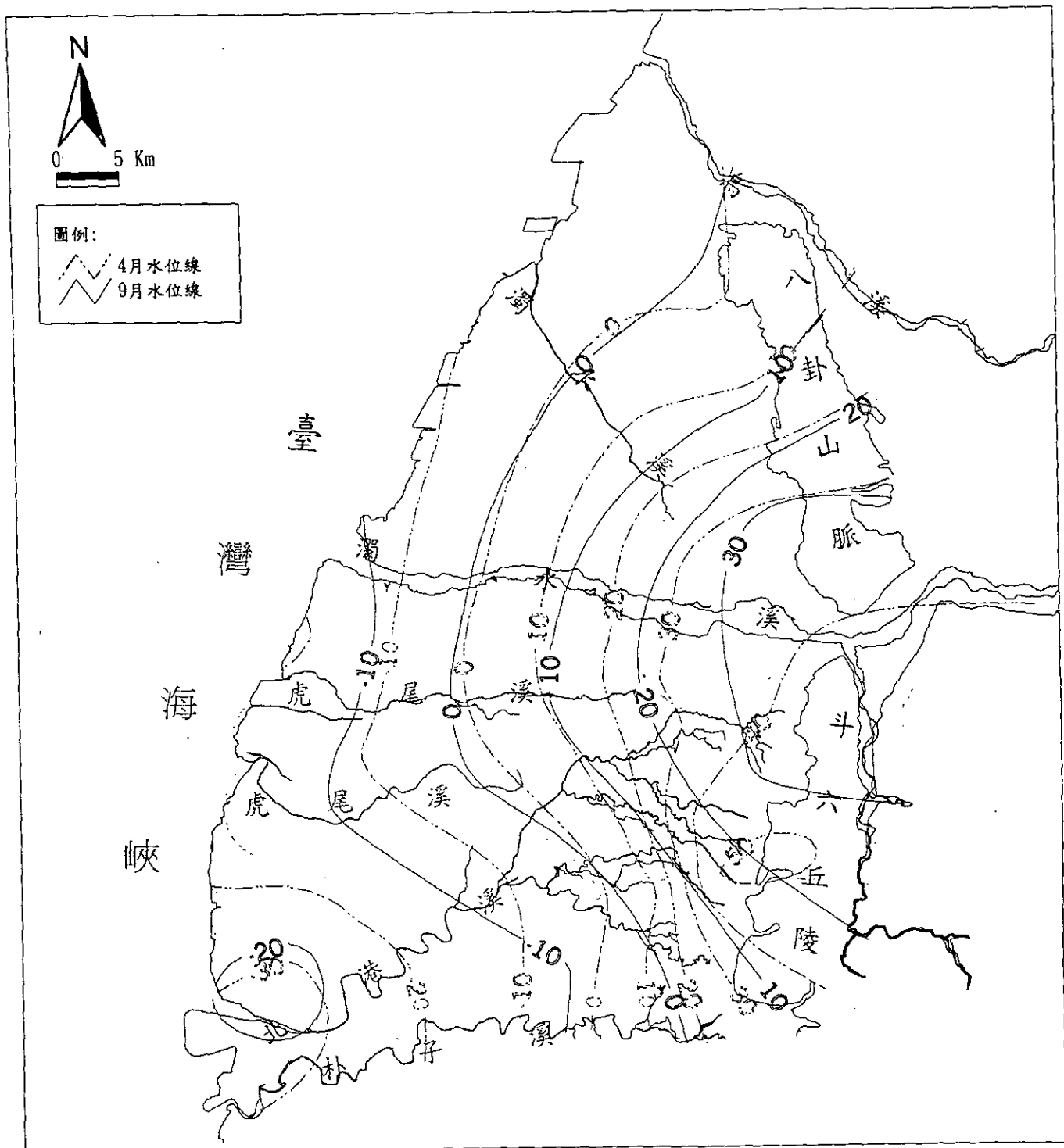


圖3.34 含水層二86年9月與4月月平均水位

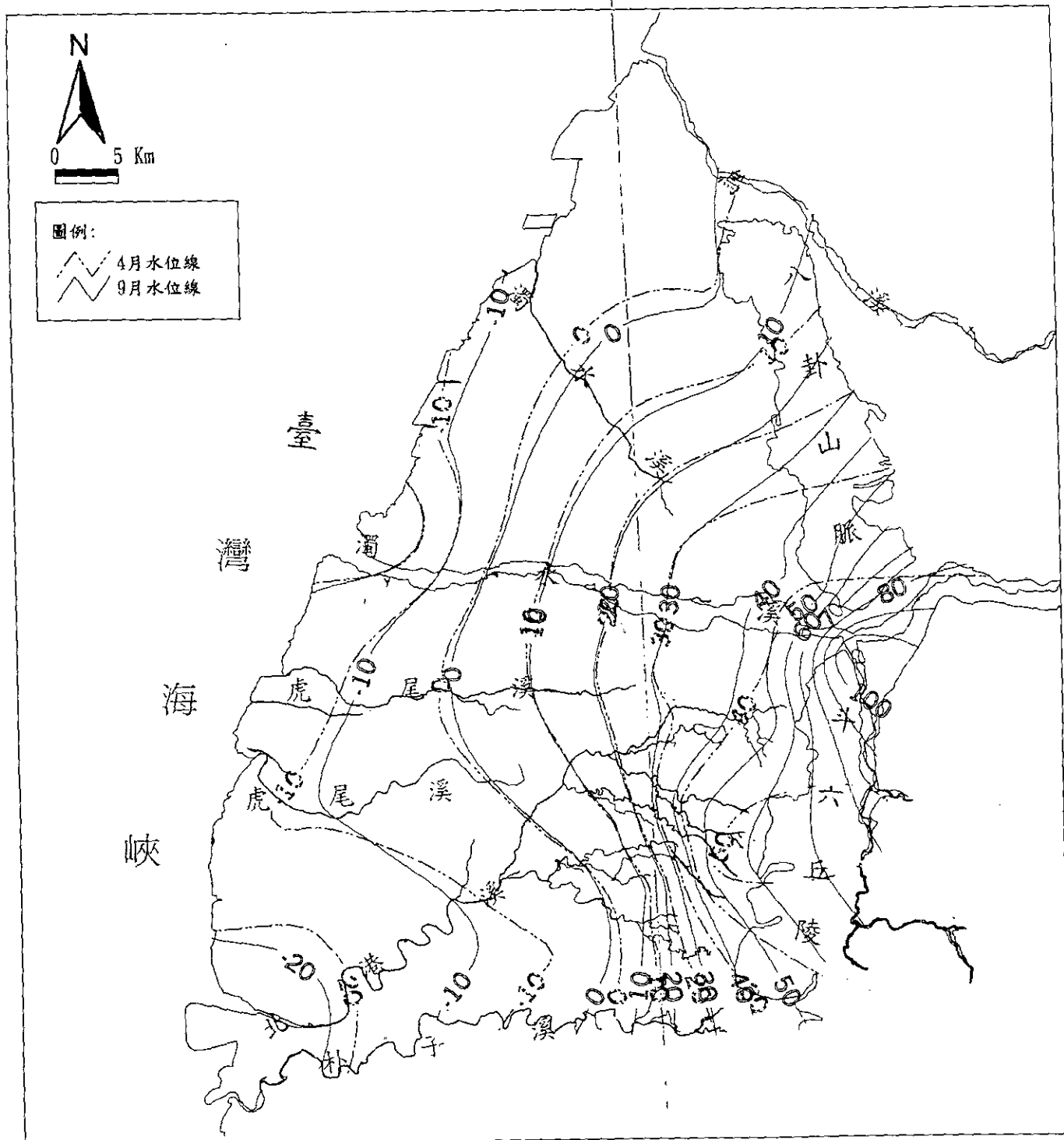


圖3.35 含水層二87年9月與4月月平均水位

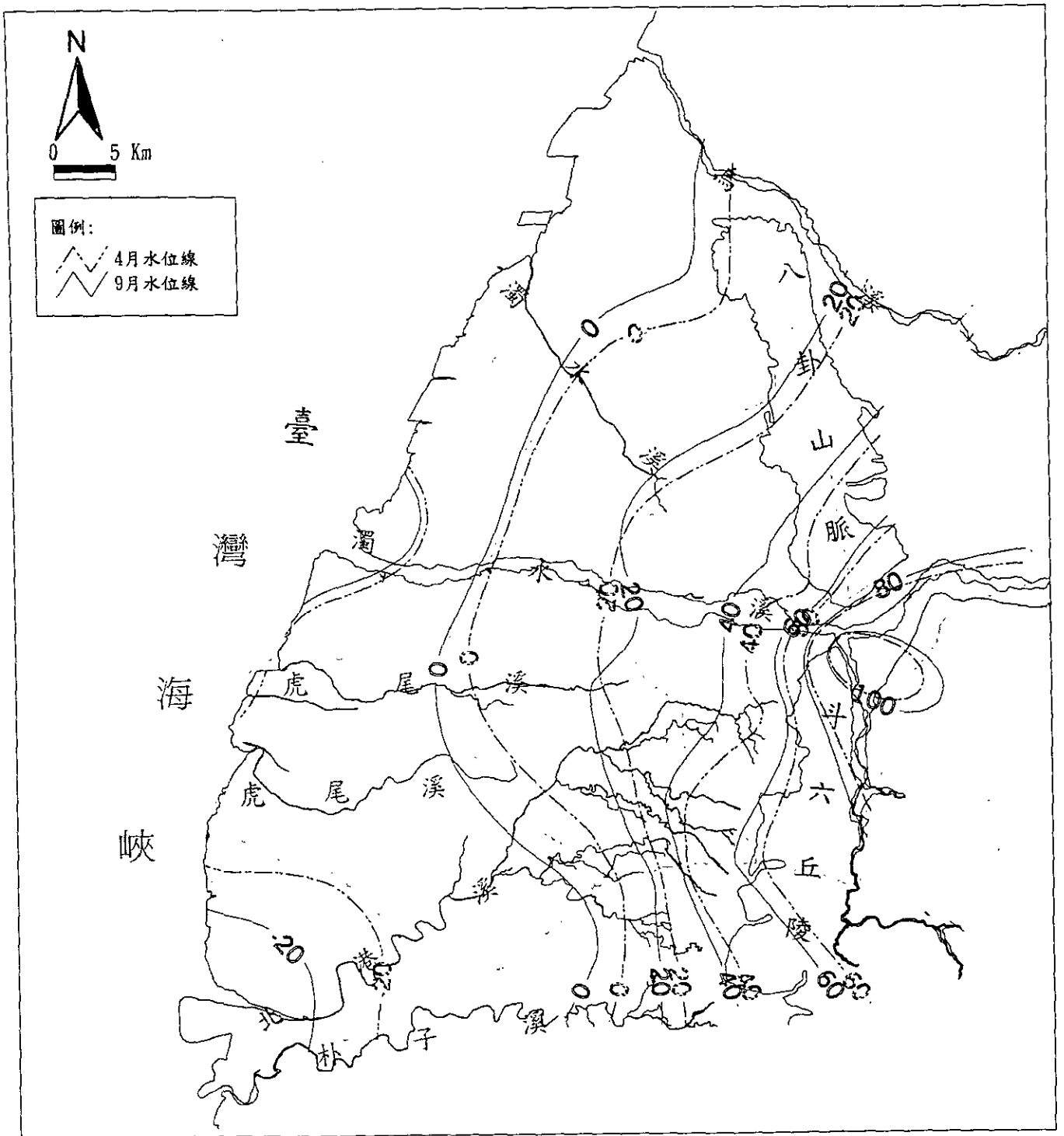


圖3.36 含水層二88年9月與4月月平均水位

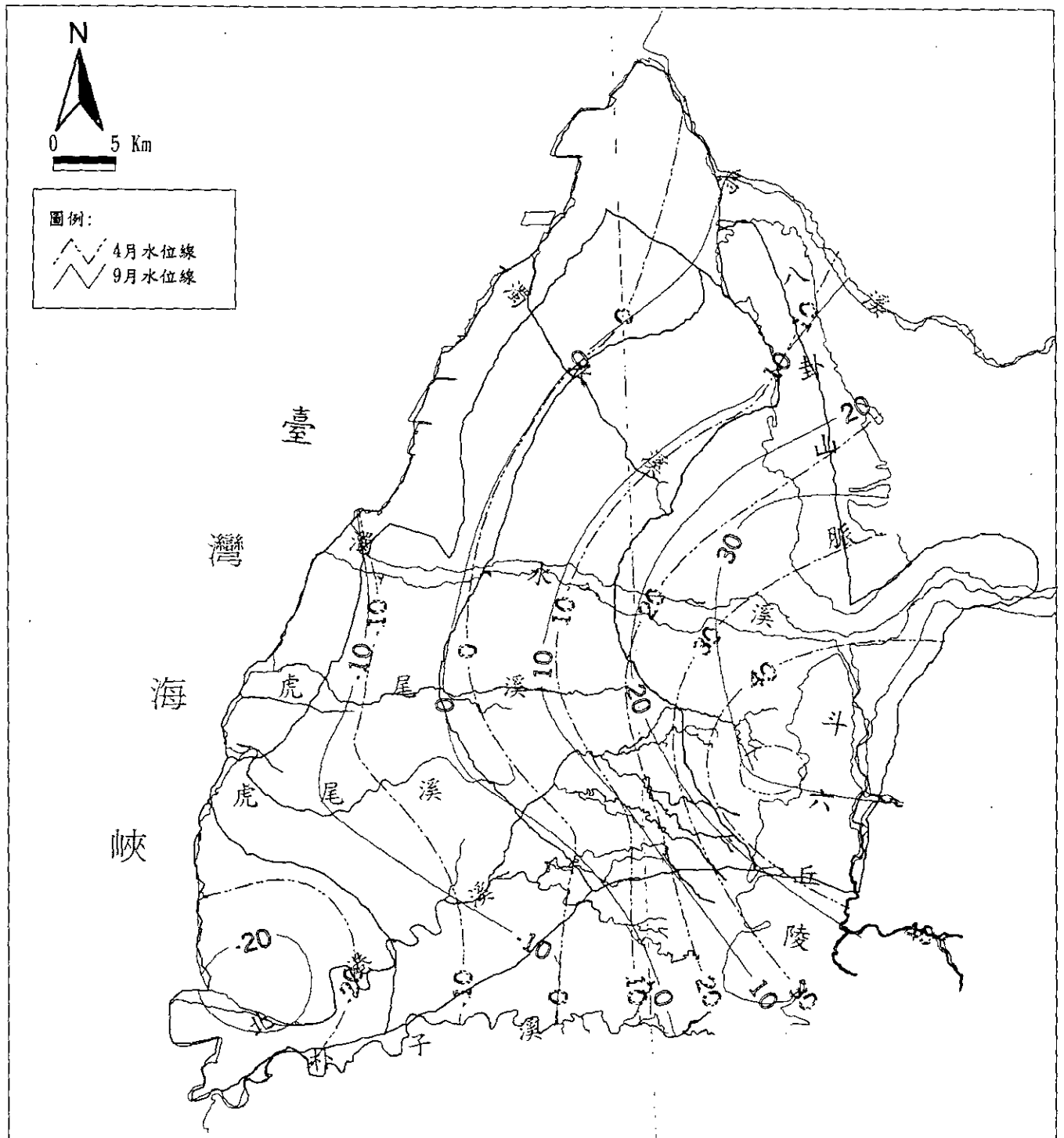


圖3.37 含水層三86年9月與4月月平均水位

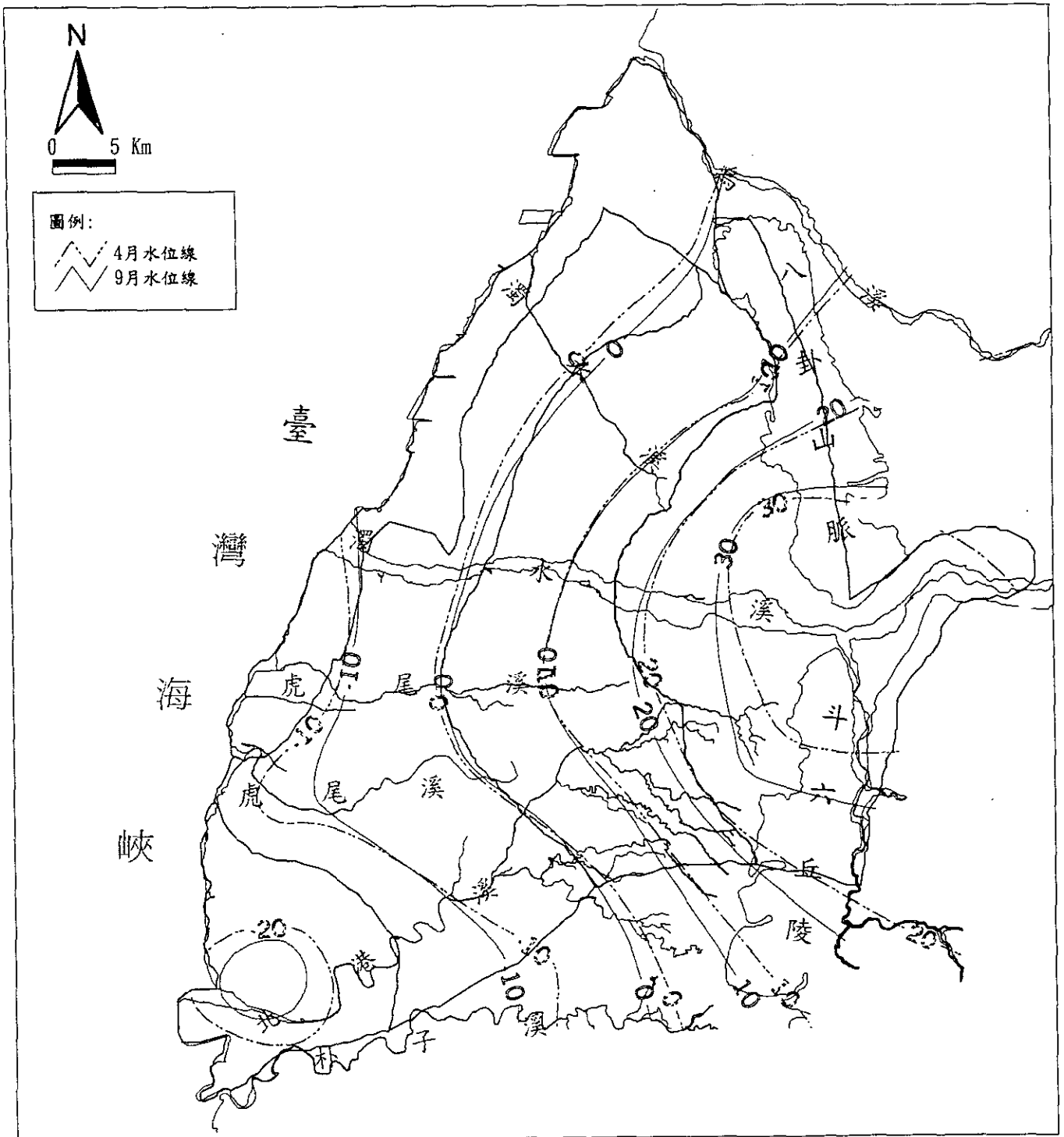


圖3.38 含水層三87年9月與4月月平均水位

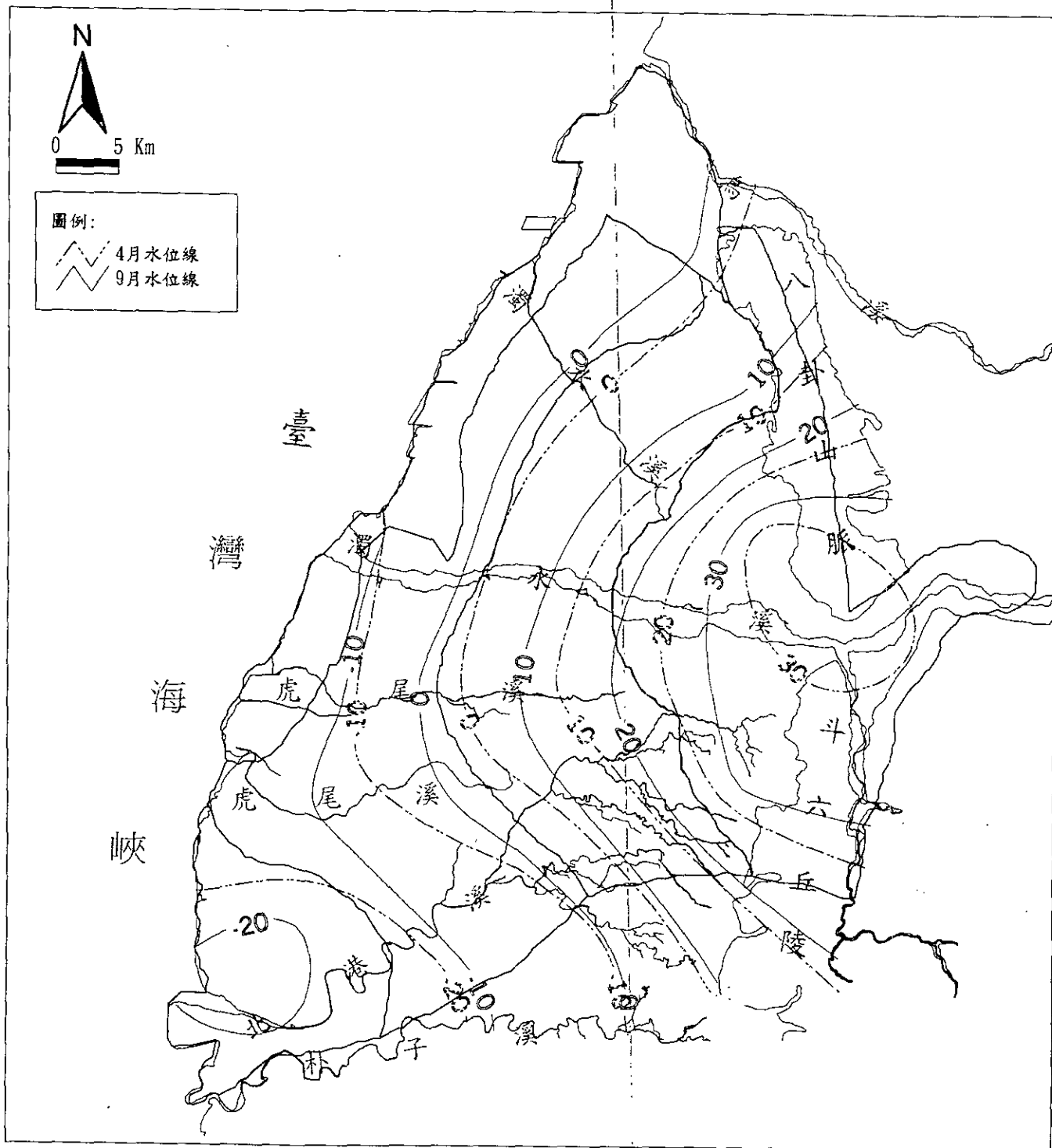


圖3.39 含水層三88年9月與4月月平均水位

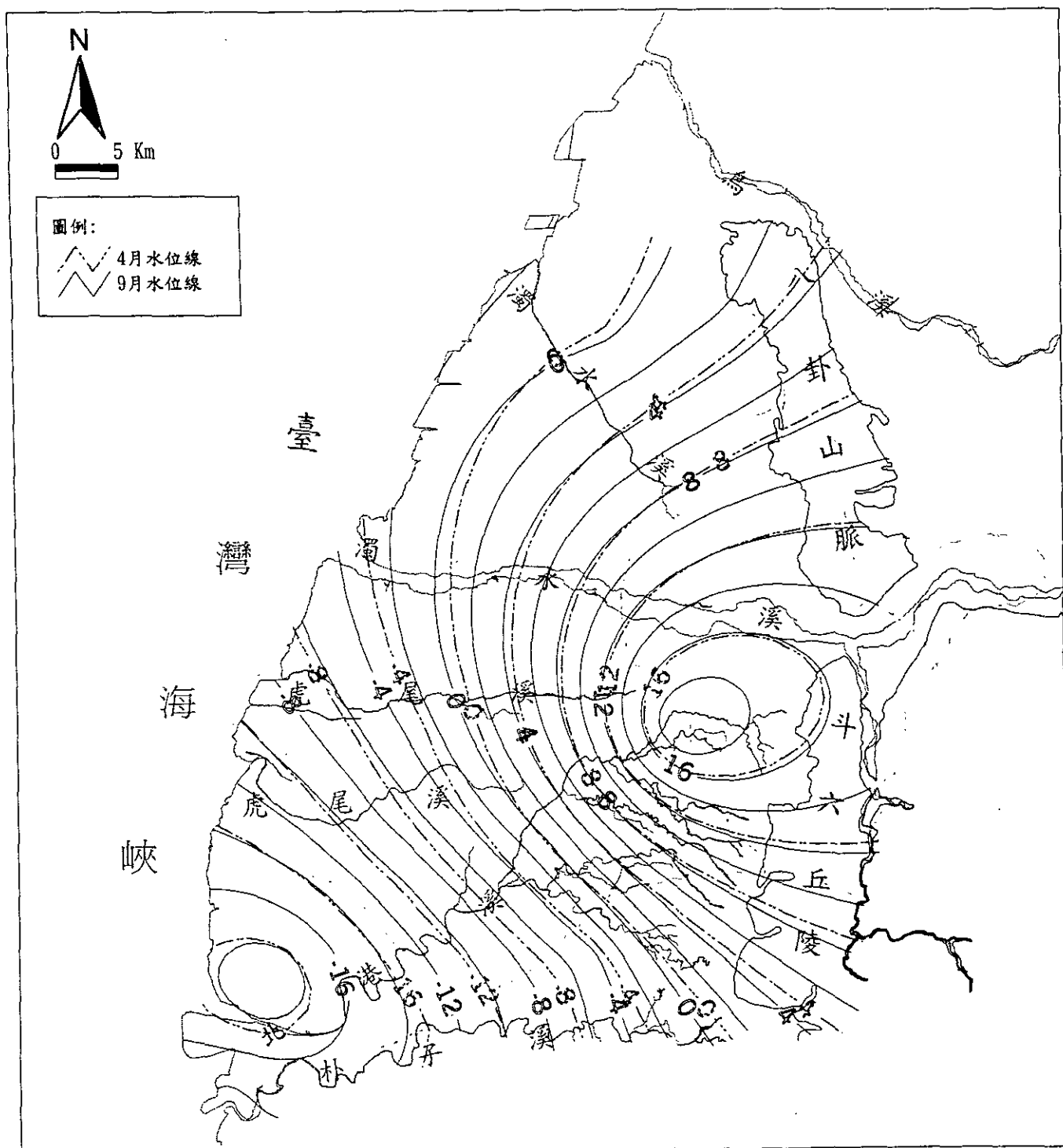


圖3.40 含水層四86年9月與4月月平均水位

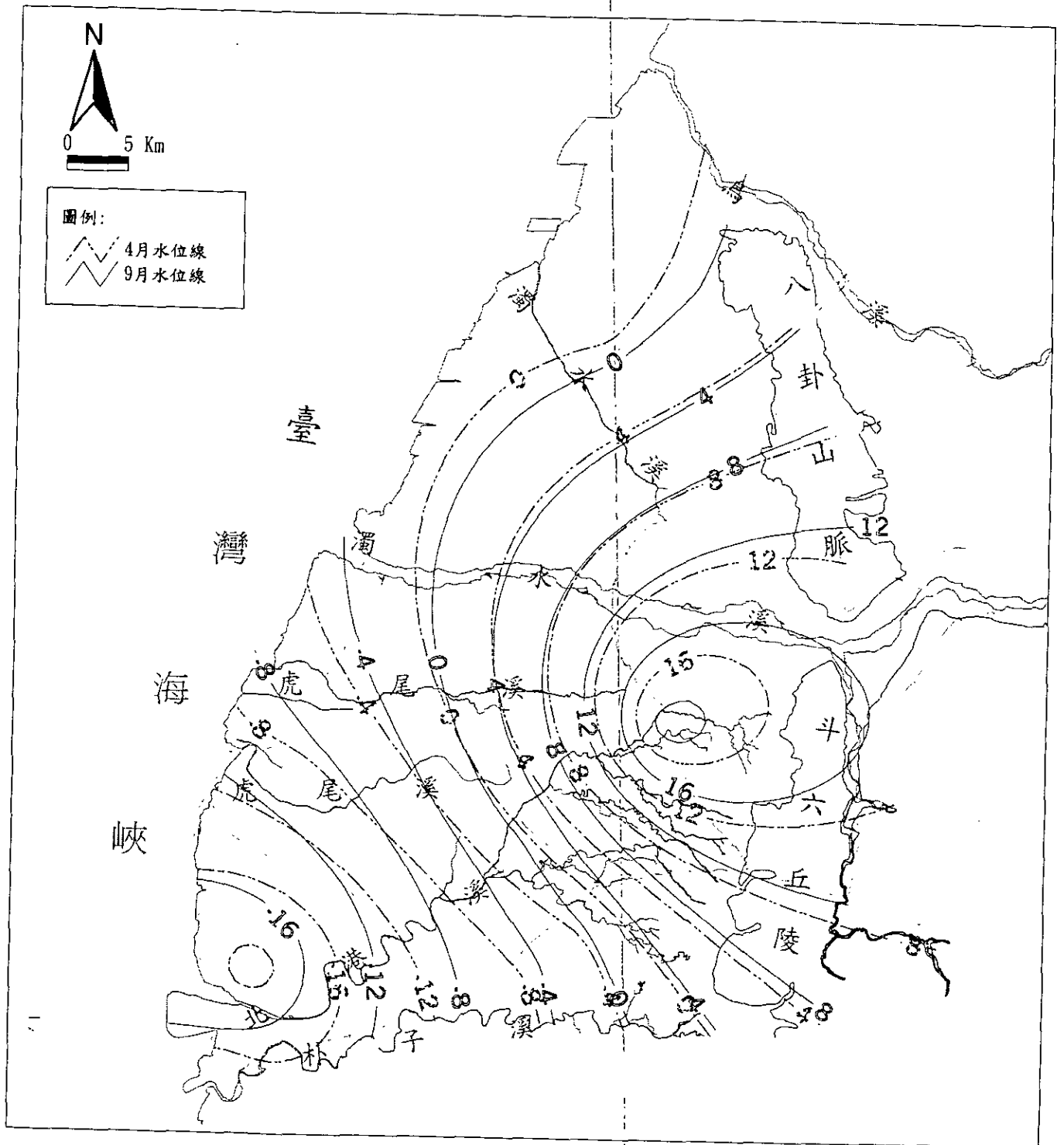


圖3.41 含水層四87年9月與4月月平均水位

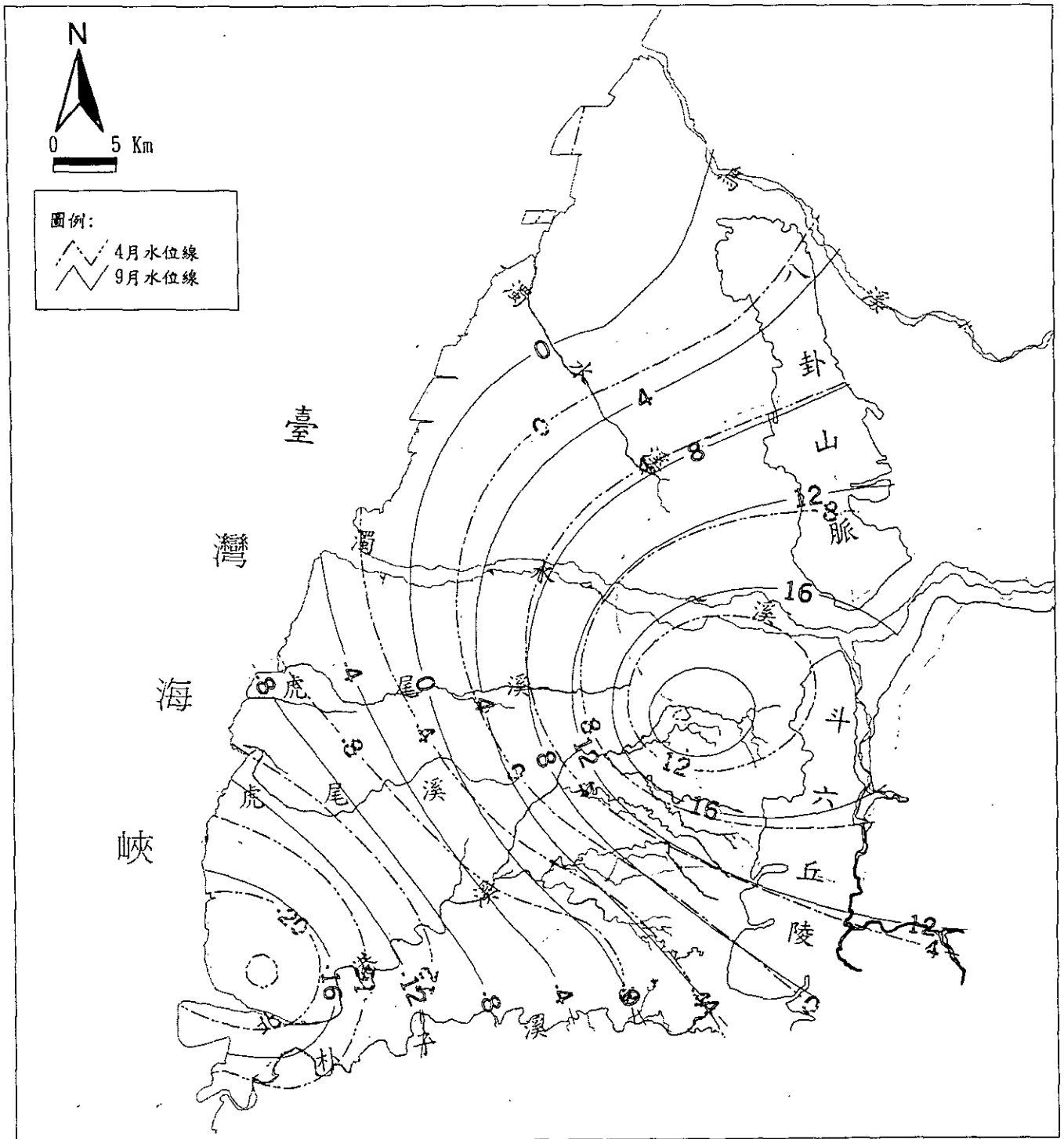


圖3.42 含水層四88年9月與4月月平均水位

第四章 分層地下水水質分析

4.1 研究方法

本研究涵蓋範圍為濁水溪沖積扇，參考經濟部台灣省水利局所做的濁水溪沖積扇地下水基本試驗分析八十一年至八十六年之研究報告，針對濁水溪沖積扇區域內的站井做水質的分層分析，並以水溫(T)、電導度(EC)、酸鹼值(pH)、氯鹽(Cl^-)、總溶解固體量(TDS)及化學需氧量(COD)等六項水質來做探討分析濁水溪的水質空間分佈情形，選擇前五項水質是根據經濟部水資源局之「台灣地區地下水觀測網水質調查分析及指標井選定」88年研究成果報告中所分析的水質項目，又因為考量人類活動對地下水污染影響，於是增加化學需氧量之分析。

4.2 污染物可能造成之影響及危害

(1)水溫 (T)

水溫於衛生並無影響，惟其與水處理的速率和效率及水中的微生物生長狀況有密切的關係。

(2)電導度(EC)

電導度乃表示水的導電性質，其大小和溶解的離子濃度有密切關係，故可間接得知水中總溶解固體物的量，此外，由沿海地區地下水的測值，亦可觀察海水入侵的程度。

(3)酸鹼值(pH)

酸鹼值為水中氫離子濃度之指標，酸鹼值的形成為水中含有構成酸性或鹼性的物質，偏低的酸鹼值會增加水管的腐蝕，相對的過高的酸鹼值亦有可能增加水管的積垢，另酸鹼度會影響水處理的效

率，如軟化、混凝、加氯消毒等，亦可由其值判定水庫中的藻類繁殖程度。

(4) 氯鹽(Cl^-)

氯鹽於正常濃度時對人體並無影響，但若其濃度太高時則對心臟病、腎臟病患者造成影響，如果濃度高會加速鐵管、鍋爐和其他給水設備的腐蝕，並對農作物的生長產生妨礙。另氯離子為人體細胞維持正常滲透功能所需，故一般生活污水中亦有氯鹽的存在，可做為一污染指標。

(5) 總溶解固體量(TDS)

通常 TDS 代表無機物質，但是當有機溶劑的濃度達到 ppm 程度以上時，也對 TDS 有貢獻。對於評估可飲用程度，TDS 很重要，視覺美觀上的值為 500 mg/L。在污染監測計畫中，TDS 值可以顯示有無被稀釋的污水排放，如果水中總溶解固體量若含量過高，容易引起下痢及其他胃腸不適症狀，環境工程的應用則對於須軟化處理得水，可決定其軟化的步驟方式。

(6) 化學需氧量(COD)

為以重鉻酸鉀為氧化劑氧化分解水中之有機物，再以所消耗之相當氧量表示水中之有機物量的一種方法。因氧化力強，故除有機物外亞硝酸鹽、二價鐵、硫化物等亦可被氧化，因此氧化劑之消耗量，不能完全代表有機物量。

4.3 各相關水質標準

在本次研究中採用台灣地區灌溉用水水質標準（台灣省政府 67.7.5 六七府建水字第 59931 號）及飲用水水源水質標準（行政院環境保護署 86.9.24 (86) 環署毒字第 56075 號）來分析濁水溪沖積

扇的站井是否符合各項水質標準及分析地下水水質是否遭到污染。

本研究是以取水溫、電導度、酸鹼值、氯鹽、總溶解固體量及化學需氧量六項水質項目做分析。表 4.3.1 為各項水質引用的標準。

表 4.1 各項水質引用的標準

水質項目	採用的水質標準	水質標準
水溫 T(°C)	台灣省灌溉用水水質標準	35
	台灣地區飲用水水源水質標準	未規定
電導度 EC (μ mhos/cm)	台灣省灌溉用水水質標準	750
	台灣地區飲用水水源水質標準	未規定
酸鹼值 pH(mg/L)	台灣省灌溉用水水質標準	6.0~9.0
	台灣地區飲用水水源水質標準	未規定
氯鹽 Cl(mg/L)	台灣省灌溉用水水質標準	175
	台灣地區飲用水水源水質標準	250
總溶解固體量 TDS(mg/L)	台灣省灌溉用水水質標準	未規定
	台灣地區飲用水水源水質標準	500
化學需氧量 COD(mg/L)	台灣省灌溉用水水質標準	未規定
	台灣地區飲用水水源水質標準	25

4.4 各項水質分析結果

本研究中以濁水溪沖積扇水質中的水溫、電導度、酸鹼值、氯鹽、總溶解固體、化學需氧量及生化需氧量等七項水質項目並以不同含水層方式來表示出水質空間分佈的情形及結果，且在本研究中只要同一站井名稱不同編號(例如：元長(1)、元長(2))，任一次水質檢驗不符合標準時，就列為不符合標準的站井，其分析結果分述如下：

(1) 水溫(T)

地下水水溫一般而言較地面水穩定，變化不大，其各層站井各水溫值大約都介於 20°C ~ 30°C 以內，各含水層站井的水溫值皆在灌溉用水水質標準(35°C)範圍以下，其各層之水溫分析圖分別為圖 4.1、圖 4.2 及圖 4.3。

(2) 電導度(EC)

電導度是以台灣省灌溉用水水質標準以 $750\ \mu\text{mhos/cm}$ 為標準範圍。

由表 4.2 含水層一各站井之各水質表可看出，線西、文昌、花壇、田尾、合興、潭乾、竹塘、西螺、九隆、舊庄、荊桐、豐榮、田洋、明德、東光、瓊埔及安和等站井不符合台灣省灌溉用水水質標準。

表 4.3 含水層二亦可看出，全興、好修、虎尾、舊庄、海園、明德、宜梧、瓊埔及東石等站井一樣不符合標準。又從表 4.3 含水層三看出不符合標準值的只有全興及宏崙兩個站井。

再從圖 4.4 含水層一站井之電導度分析圖，可看出不符合標準值 $750\ \mu\text{mhos/cm}$ 的站井分佈於各流域附近，而較靠近斗六丘陵的站井全符合標準值。比較各含水層站井的電導度分析圖(圖 4.4、圖 4.5

及圖 4.6)可發現越往深層電導度不符合標準值的越少。

(3)酸鹼值(pH)

酸鹼值是以台灣省灌溉用水水質標準以 6.0~9.0mg/L 為標準，台灣地區飲用水水源水質標準並無此項規定。

由表 4.2 及表 4.4 得知含水層一和含水層三站井的酸鹼值全符合標準，其站井分析圖如圖 4.7 及圖 4.9 所示。在表 4.3 含水層二各站井之各水質表可看出大溝(其值為 5.61)及安和(其值為 4.55)兩站井不符合台灣省灌溉用水水質標準，其站井分析圖為圖 4.8，其餘皆符合標準值。

(4)氯鹽(Cl⁻)

氯鹽分別以台灣省灌溉用水水質標準 175mg/L 為標準及台灣地區飲用水水源水質標準 250mg/L 為標準進行分析。

由表 4.2 得知在含水層一不符合台灣省灌溉用水水質標準的站井為濁水溪流域上之田尾及三和兩站井，又以台灣地區飲用水水源水質標準為分析時，其全部站井都符合標準，其站井分析圖分別為圖 4.10.1 及圖 4.10.2。

在表 4.3 含水層二不符合台灣省灌溉用水水質標準之氯鹽標準有竹塘、海園及東石三站，其中海園這一站井亦不符合台灣地區飲用水水源水質標準外，其餘的站井皆符合本研究所引用的兩項水質標準規範；其站井分析圖如圖 4.11.1 及圖 4.11.2 所示，從圖可發現不符合兩項水質標準的站井-海園是在虎尾溪流域上靠近沿海地區。

由表 4.4 可知含水層三站井之氯鹽全符合本研究所引用的兩項水質標準，其站井分析圖如圖 4.12.1 及圖 4.12.2 所示。

(5)總溶解固體量(TDS)

總溶解固體量是以台灣地區飲用水水源水質標準 500mg/L 為標

準值進行分析。

由表 4.2 可看出含水層一不符合標準的站井有文昌、花壇、田尾、合興、溪洲、西螺、九隆、舊庄、荊桐、烏塗、坪頂、豐榮、田洋、明德、東光及安和等十六個站井，其總溶解固體量皆大於標準值 500 mg/L；再看其站井分析圖(圖 4.13)可發現不符合標準的站井分散於濁水溪沖積扇中。

在含水層二不符合標準的站井，由表 4.3 可得知有全興、溪湖、田中、好修、西港、虎尾、舊庄、海園、明德、宜梧、東石等十一個站井；其站井分析圖如圖 4.14 所示。

在含水層三中(表 4.4)不符合標準的站井只剩下田中、宏崙及水林等三個站井，其餘站井的總溶解固體量值皆小於標準值 500mg/L；其站井分析圖如 4.15 所示，從圖可看出烏溪、濁水溪和朴子河流域及斗六丘陵附近站井的總溶解固體量都符合台灣地區飲用水水源水質標準。

從上述可知，越往深層不符合標準的站井數越少，顯示越往深層的水質未被稀釋排放的污水所污染。

(6)化學需氧量(COD)

化學需氧量是以台灣地區飲用水水源水質標準 25mg/L 為標準進行分析。

由表 4.2 可知含水層一之化學需氧量不符合標準的站井有文昌、田尾、虎溪、九隆及東光等五個站井；其站井分析圖如圖 4.16，從圖中可發現，上述不符合標準的站井大都分佈於虎尾河流域上。

從表 4.3 中可得知含水層二不符合台灣地區飲用水水源水質標準中之化學需氧量值的站井有趙甲、芳苑、溪州、虎尾、嘉興、元長、明德、宜梧、水林及大溝等十站；其站井分析圖如圖 4.17 所示，

從圖中可發現較接近八卦山脈及斗六丘陵的站井其化學需氧量值皆符合標準。

在含水層三(表 4.4)中不符合標準的站井有線西、漢寶、西港、虎溪、宜梧及東榮等六個站井；其站井分析圖如圖 4.18 所示，從圖中可發現不符合標準值的六個站井有四個站井較靠近沿海地區。

表4.2 含水層一各站井之各水質值

east	north	井號	站名(No.)	水溫 T(°C)	EC (μmhos/cm)	Cl(mg/L)	COD(mg/L)	pH(mg/L)	TDS(mg/L)
11220	2661365	7020111	洛津(1)	22.9	695	31.24	14.4	7.37	461
15060	2669970	7040111	線西(1)	25.3	783	29.5	N.D	7.6	478
10120	2656250	7060111	文昌(1)	25.1	2031	12.5	34.5*	7.59	1648*
12730	2658260	7080111	花壇(1)	26.3	942	143.9	N.D.	6.86	632*
11045	2643280	7210111	田尾(1)	22.8	1642	178.5	78.4*	7.14	1135*
4000	2643600	7220211	合興(1)	24.3	1108	25.99	6.27	7.11	637*
12710	2637180	7240111	潭乾(1)	24.5	758	15.33	12	7.21	496
10950	2639820	7250111	竹塘(1)	23.6	842	4.17	19.6	6.94	5.79
11660	2635700	7260111	柑園(1)	18.2	608	5.21	5.46	7.1	471
8370	2639270	7260211	溪州(1)	25.2	580	5.6		7.2	658*
7282	2629020	8040111	竹山(1)	23.8	347	3.01	6.87	8.36	263
7282	2629020	8040121	竹山(2)	25.1	425	3.54	12.54	7.85	287
3977	2623841	8040211	鯉魚(1)	23.6	475	3.11	15.42	7.69	305.4
3977	2623841	8040221	鯉魚(2)	24.0	496	3.01	8.25	7.75	325.5
0800	2634163	8040311	社寮(1)	23.8	431	1.51	19.97	7.54	266
5584	2638740	8060111	新光(1)	23.7	548	9.33	21.5	7.25	305
5584	2638740	8060121	新光(2)	24.5	596	12.58	12.8	7.14	328
8500	2634400	8060211	新民(1)	23.8	415	4.58	8.015	7.05	241
8500	2634400	8060221	新民(2)	24.1	185	3.18	2.846	6.62	285
9331	2624542	9010112	虎溪(1)	22.8	588	10.17	49.1*	6.93	368
5940	2624360	9010211	石榴(1)	22.7	295	6.25	4.58	6.7	242
9400	2617410	9020111	溫厝(1)	24.7	558	10.1	N.D.	7.28	384
5350	2624180	9030211	芳草(1)	24.9	597	8.84		7.55	324
4890	2632720	9040111	西螺(1)	24.5	761	10.5		7.3	1556*
1170	2627780	9040211	九隆(1)	26.3	1061	49.3	26.55*	6.89	654*
2680	2620675	9050111	宏崙(1)	25.2	587	24	6.27	7.04	305
5250	2620500	9070111	東和(1)	19.3	346	5.21	20.7	7.02	238
2020	2612380	9070211	坎腳(1)	25.3	297	6.25	18.6	6.86	172
1980	2615930	9070311	古坑(1)	24.6	366	8.5	2.11	6.36	306
3020	2614870	9080211	舊庄(1)	24.6	1026	67.98	12.54	7.94	859*
1580	2629710	9090111	六合(1)	24.5	692	7.26	10.2	7.22	426
1890	2628380	9090211	荊桐(1)	24.8	800	5.6	2.11	7	560*
1140	2629530	9100121	烏塗(1)	25.2	693	8.3	9.4	6.57	504*
1782	2629816	9100211	觸口(1)	23.7	406	6.22	12.746	7.1	257
1545	2628234	9100311	坪頂(1)	25.2	651	17.1	2.64	8.3	509*
1950	2632220	9120111	豐榮(1)	25.3	940	4.6	11	7.3	1139*
1720	2624990	9150111	田洋(1)	24.2	1005	56.61		7.36	684*
1467	2624551	9160111	海園(1)	26.5	740	75.5		8.58	488
1600	2614900	9180111	箔子(1)	26.7	640	5.7		7.6	340
1500	2612500	9180211	蔡厝(1)	25.9	479	4.3	4.99	7.28	328
1485	2617020	9180311	明德(1)	26.2	793	25.99	7.84	7.81	628*
1905	2616870	9180411	東光(1)	24.0	1075	38.53	40.77*	7.01	806*
1220	2602120	9200311	瓊埔(1)	26.5	827	83.5	10.2	7.33	476
1920	2611590	10040111	三和(1)	20.8	651	217.8	9.82	6.89	416
1980	2601660	10070111	安和(1)	23.8	912	19.79	5.45	6.96	621*

表示不符合台灣省灌溉用水水質標準

*表示不符合台灣地區飲用水水源

斗來源：參考文獻3~10

表4.3 含水層二各站井之各水質值

east	north	井號	站名(No.)	水溫 T(°C)	EC (μ mhos/cm)	Cl(mg/L)	COD(mg/L)	pH(mg/L)	TDS(mg/L)
191220	2661365	7020121	洛津(2)	24.4	534	8.33	9.15	7.38	236
195060	2669970	7040131	線西(3)	27.4	604	7.8	9.66	7.64	398
199630	2674365	7050111	全興(1)	24.5	909	57.27	11.11	7.04	598*
199630	2674365	7050121	全興(2)	26.4	762	104	13.29	7.3	416
190120	2656250	7060121	文昌(2)	24.7	718	6.25	9.41	7.5	359
190120	2656250	7060131	文昌(3)	25.1	653	5.21	15.68	7.94	455
202730	2658260	7080121	花壇(2)	27.0	749	32.4	9.85	6.9	406
202730	2658260	7080131	花壇(3)	25.6	182	6.1	4.93	6.85	134
205890	2649930	7100111	員林(1)	25.6	311	2.4	4.93	6.71	298
205890	2649930	7100121	員林(2)	25.8	236	5	N.D.	6.99	236
205890	2649930	7100131	員林(3)	27.1	452	4	18.27	7.55	392
196130	2649780	7110111	溪湖(1)	26.5	733	2.9	19.8	7.34	464
196130	2649780	7110121	溪湖(2)	25.4	685	3.7	4.98	7.44	516*
207090	2639190	7120111	田中(1)	23.8	601	5.8	1.1	6.97	526*
194050	2656100	7140111	好修(1)	24.6	984	4.9	9.83	7.05	308
194050	2656100	7140121	好修(2)	25.8	618	25.4	17.7	6.9	762*
210240	2634430	7180111	二水(1)	24.5	477	8.33	5.56	7.34	301
187620	2648440	7200111	趙甲(1)	25.0	600	5.2	24.88	7.6	408
187620	2648440	7200121	趙甲(2)	25.6	473	2.9	44.78*	7.53	474
183280	2656150	7230211	漢寶(1)	25.7	675	1.9	N.D.	7.38	312
183280	2656150	7230221	漢寶(2)	28.1	599	5.3	24.6	7.73	466
179990	2646950	7230311	芳苑(1)	25.3	694	4.3	9.9	7.16	416
179990	2646950	7230321	芳苑(2)	25.9	604	2.2	30.93*	7.43	404
182710	2637180	7240121	潭乾(2)	25.9	609	8.5		6.3	429
176800	2639980	7240211	西港(1)	25.2	609	6	14.11	7.64	599*
190950	2639820	7250121	竹塘(2)	25	604	21.68	4.82	7.19	426
201660	2635700	7260121	柑園(2)	23.8	526	7.8	3.14	7.31	426
198370	2639270	7260221	溪州(2)	25.4	622	22.8	10.4	7.22	482
198370	2639270	7260231	溪州(3)	24.9	165	1.85	26*	6.96	445
199331	2624542	9010122	虎溪(2)	24.9	244	4.42	7.84	7	137
206940	2624360	9010221	石榴(2)	24.5	360	8.3	21.4	6.35	243
199400	2617410	9020121	溫厝(2)	25.6	376	4.34	12.02	7.11	310
191290	2623690	9030111	虎尾(1)	25.3	756	10.41	8.72	7.31	546*
191290	2623690	9030121	虎尾(2)	25.4	543	6.94	26*	6.75	478
185350	2624180	9030221	芳草(2)	25.2	407	8.84		7.65	244
194890	2632720	9040121	西螺(2)	25.7	520	5.6		7.3	429
191170	2627780	9040221	九隆(2)	23.6	570	1.4	19.97	6.8	294
177920	2608770	9060111	北港(1)		335	27.8		7.3	324
177920	2608770	9060121	北港(2)	23.4	366	24.89	1.74	7.4	207
202020	2612380	9070221	崁腳(2)	24.7	176	103.7	9.62	7.24	117
194030	2616370	9080111	嘉興(1)	25.7	327	6	4.93	6.67	278
194030	2616370	9080121	嘉興(2)	26.2	437	25.7	71.4*	7.41	168
188020	2614870	9080221	舊庄(2)	25.0	351	23	15.68	7.26	260
188020	2614870	9080231	舊庄(3)	24.2	1290	114.6	13.49	7.73	805*
204580	2629710	9090121	六合(2)	23.0	611	5.29	9.82	7.23	402

表示不符合台灣省灌溉用水水質標準

*表示不符合台灣地區飲用水水源

資料來源：參考文獻3~10

表4.3 含水層二各站井之各水質值(續)

east	north	井號	站名(No.)	水溫 T(°C)	EC (μmhos/cm)	Cl(mg/L)	COD(mg/L)	pH(mg/L)	TDS(mg/L)
197890	2628380	9090221	荊桐(2)	25.4	629	4.3	0.53	7.22	400
212782	2629816	9100221	觸口(2)	23.5	415	4.15	5.654	7.5	268
187220	2632820	9110111	港後(1)	26.1	600	8.5		7	357
187220	2632820	9110121	港後(2)	25.3	220	3.18	11.2	7.15	147
178950	2632220	9120121	豐榮(2)	26.2	476	7		7.7	392
178950	2632220	9120131	豐榮(3)	27.3	408	14		7.8	375
171200	2632100	9130111	後安(1)	26.8	513	23.4		7.8	N.D.
176700	2628850	9130211	興化(1)	25.3	537	3.9	9.99	7.14	324
176700	2628850	9130221	興化(2)	27.0	507	5.9	9.99	7.47	326
170270	2629400	9130311	海豐(1)	27.3	556	13.8	20.01	7.33	198
172570	2622640	9140111	安南(1)	26.8	478	5.29	7.46	7.28	312
178720	2624990	9150121	田洋(2)	25.5	413	8.84		7.6	252
165467	2624551	9160121	海園(2)	25.5	1180	25.3*		8.52	668*
169999	2626540	9160211	和豐(1)	28.6	392	5.2	5.7	7.9	254
183330	2611930	9170111	崙子(1)	25.3	475	11.1	9.47	6.81	300
183330	2611930	9170121	崙子(2)	26.2	357	5.6	2.53	6.17	240
178790	2616960	9170211	元長(1)	26.2	656	31.5	29.66*	6.62	356
178790	2616960	9170221	元長(2)	27.2	505	15.8	35.4*	7.36	272
162600	2614900	9180121	箔子(2)	29.7	451	4.3		7.7	300
169500	2612500	9180221	蔡厝(2)	27.6	450	5	N.D.	7.57	256
167485	2617020	9180321	明德(2)	25.0	487	14	50.18*	7.73	288
167485	2617020	9180331	明德(3)	27.2	1435	12	7.84	7.56	1298*
174905	2616870	9180421	東光(2)	23.9	714	24.99	10.35	7.62	429
174905	2616870	9180431	東光(3)	24.2	438	7.81	6.27	7.35	149
174905	2616870	9180441	東光(4)	26.1	454	18.22	16.63	7.87	242
166296	2604660	9190112	宜梧(1)	23.8	843	58.65	7.82	7.34	624*
166296	2604660	9190122	宜梧(2)	27.7	506	50	32.93*	7.49	378
172220	2608150	9200111	水林(1)	27.5	505	1.5	39.41*	6.3	228
168600	2607410	9200211	大溝(1)	27.2	561	20.9	29.98*	5.61	389
168220	2602120	9200321	瓊埔(2)	27.3	783	96.4	9.81	7.42	490
196920	2611590	10040121	三和(2)	19.5	156	134.8	4.76	7.21	200
178980	2601660	10070121	安和(2)	23.7	628	14.06	4.16	7.23	439
178980	2601660	10070131	安和(3)	25.4	454	16.66	5.23	4.55	441
162790	2595720	10090111	東石(1)	26.3	1628	202	5.45	7.25	682*

表示不符合台灣省灌溉用水水質標準

*表示不符合台灣地區飲用水水源

資料來源:參考文獻3~10

表4.4 含水層三各站井之各水質值

east	north	井號	站名(No.)	水溫 T(°C)	EC (μ mhos/cm)	Cl(mg/L)	COD(mg/L)	pH(mg/L)	TDS(mg/L)
199950	2662265	7010221	東芳(2)	24.5	408	25.5	12.54	7.08	155
191220	2661365	7020131	洛津(3)	25.2	444	4.17	9.92	7.56	272
195060	2669970	7040141	線西(4)	28.2	481	9.5	49.96*	7.25	245
199630	2674365	7050131	全興(3)	25.1	959	85	15.9	7.17	480
199630	2674365	7050141	全興(4)	25.6	536	42.7	18.52	7.42	288
190120	2656250	7060141	文昌(4)	26.1	707	12.5	15.68	7.5	446
205890	2649930	7100141	員林(4)	25.9	334	5.1	9.85	7.28	220
196130	2649780	7110131	溪湖(3)	25.6	693	4.3	4.99	7.57	430
207090	2639190	7120121	田中(2)	24.5	655	12.5	12.54	7.3	609*
194050	2656100	7140131	好修(3)	27.8	514	5.9	17.7	6.85	434
187620	2648440	7200131	趙甲(3)	27.1	640	1.4	19.97	7.57	366
201045	2643280	7210121	田尾(2)		658	22.95	9.41	7.07	338
194000	2643600	7220221	合興(2)	24.9	653	8	21.95	7.26	346
194000	2643600	7220231	合興(3)	24.5	476	3	12.54	7.22	220
183280	2656150	7230231	漢寶(3)	29.2	627	6.3	29.6*	7.53	438
179990	2646950	7230331	芳苑(3)	27.6	556	2.1	3.5	7.51	396
176800	2639980	7240231	西港(3)	29.7	624	5.7		6.8	325
176800	2639980	7240241	西港(4)	24.1	456	4	50.18*	7.06	267
199331	2624542	9010132	虎溪(3)	23.8	358	2	79.77*	8.1	254
191170	2627780	9040231	九隆(3)	24.8	394	1.4	20.62	7.5	338
182680	2620675	9050121	宏崙(2)	23.4	904	24.99	7.21	7.5	639*
205250	2620500	9070121	東和(2)	27.0	438	9.37	9.26	6.56	307
205251	2620504	9070131	東和(3)	22.6	372	7	12.54	7.4	124
194030	2616370	9080131	嘉興(3)	26.4	281	3.4	19.7	6.85	298
188020	2614870	9080241	舊庄(4)	22.8	454	20	12.54	6.85	288
187220	2632820	9110131	港後(3)	22.0	474	47.99	18.82	7.24	254
187220	2653820	9110141	港後(4)	23.6	429	10.2	14.11	6.98	248
171200	2632100	9130121	後安(2)	29.4	433	54		7.5	397
176700	2628850	9130231	興化(3)	29.2	414	3.9	10	7.48	298
170270	2629400	9130321	海豐(2)	31.4	429	7.8	4.93	7.35	268
172570	2622640	9140121	安南(2)	27.6	427	4.24	3.86	7.09	366
165467	2624551	9160131	海園(3)	31.5	426	8.78		8.2	268
169999	2626540	9160221	和豐(2)	31.5	427	6.75	10.2	7.69	302
162600	2614900	9180131	箔子(3)	26.7	478	11.1		7.9	242
167485	2617020	9180341	明德(4)	27.9	458	20.99	18.82	7.82	495
166296	2604660	9190132	宜梧(3)	24.2	482	153	56.45*	7.06	278
172220	2608150	9200121	水林(2)	30.8	392	4	N.D.	7.67	514*
168600	2607410	9200221	大溝(2)	31.5	355	3.9	N.D.	7.51	210
191545	2606340	1E+07	東榮(3)	26.5	371	8	28.22*	7.83	175
162790	2595720	1E+07	東石(3)	27.5	521	8.33	16.88	7.77	148

表示不符合台灣省灌溉用水水質標準

*表示不符合台灣地區飲用水水源

資料來源：參考文獻3~10

4.5 地質統計初步分析結果

地質統計分析的旨在於了解各測點對於進行空間上的推估(內插)時,該點的統計上的貢獻程度如何,因此亦為選擇井位時的重要參考,至目前為止本研究已針對濁水溪沖積扇之電導度、酸鹼值、水溫、總溶解固體量及氯鹽等五個項目完成初步的空間上統計結構分析(半變異元分析),半變異元亦稱半變異數(semi-variance),其可以Re. V. 沿特定方向但不同位置間的隨機函數或其殘值(residual)之差的變異程度來表示,其定義式如下:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$$

於表 4.2 中所列為各種參數經結構分析之後所得之影響範圍(Range)、基值及半變異元模式之整理表,其中影響範圍指的是由觀測點至半變異元達到穩定之距離,基值則與變異量意義相似,理論上各觀測值間的影響(以半變異元表示)會隨距離增加趨於一穩定值,可利用此了解以觀測值推估一已知距離點之變異量。半變異元模式若為指數,則其型態為:

$$\gamma(h) = \text{Sill}[1 - e^{-(h/R)}]$$

若為高斯模式,則其型態為:

$$\gamma(h) = \text{Sill}[1 - e^{-(h^2/R^2)}]$$

我們將變化量較大之水質指標如氯鹽、電導度和總溶解固體物取對數後,觀察分布情形是否呈現常態分布,觀察後得知其呈現常態分佈,因此對此三項水質指標作取對數後的結構分析,

表4.2 各項水質指標之結構分析成果表

水質指標	影響範圍(km)	基值(Sill)	半變異元模式
電導度	16	0.32 ($\mu\text{mho/cm}$) ²	指數型態
總溶解固體量	11	0.045 (mg/L) ²	指數型態
氯鹽	14	13 (mg/L) ²	指數型態

圖4.19~4.21中所代表的意義為各個水質指標的變異量與距離的關係圖。圖中由觀測點至半變異元達到穩定之距離稱為影響範圍，而其達到穩定之值稱為基值。圖4.22~4.24為氯鹽、電導度與總溶解固體量的變異量等值圖，圖中各站井的變異量趨近於零，為合理的現象。

在電導度(E.C)方面,其金塊效應(nugget)為零，指數形式之半變異元模式之函數:

$$\gamma(h)=0.32[1-\exp(0.19h)]$$

在總溶解固體量(TDS)方面,其金塊效應(nugget)為零，指數形式之半變異元模式之函數:

$$\gamma(h)=0.045[1-\exp(0.27h)]$$

在氯鹽方面,其金塊效應(nugget)為零，指數形式之半變異元模式之函數:

$$\gamma(h)=13[1-\exp(0.21h)]$$

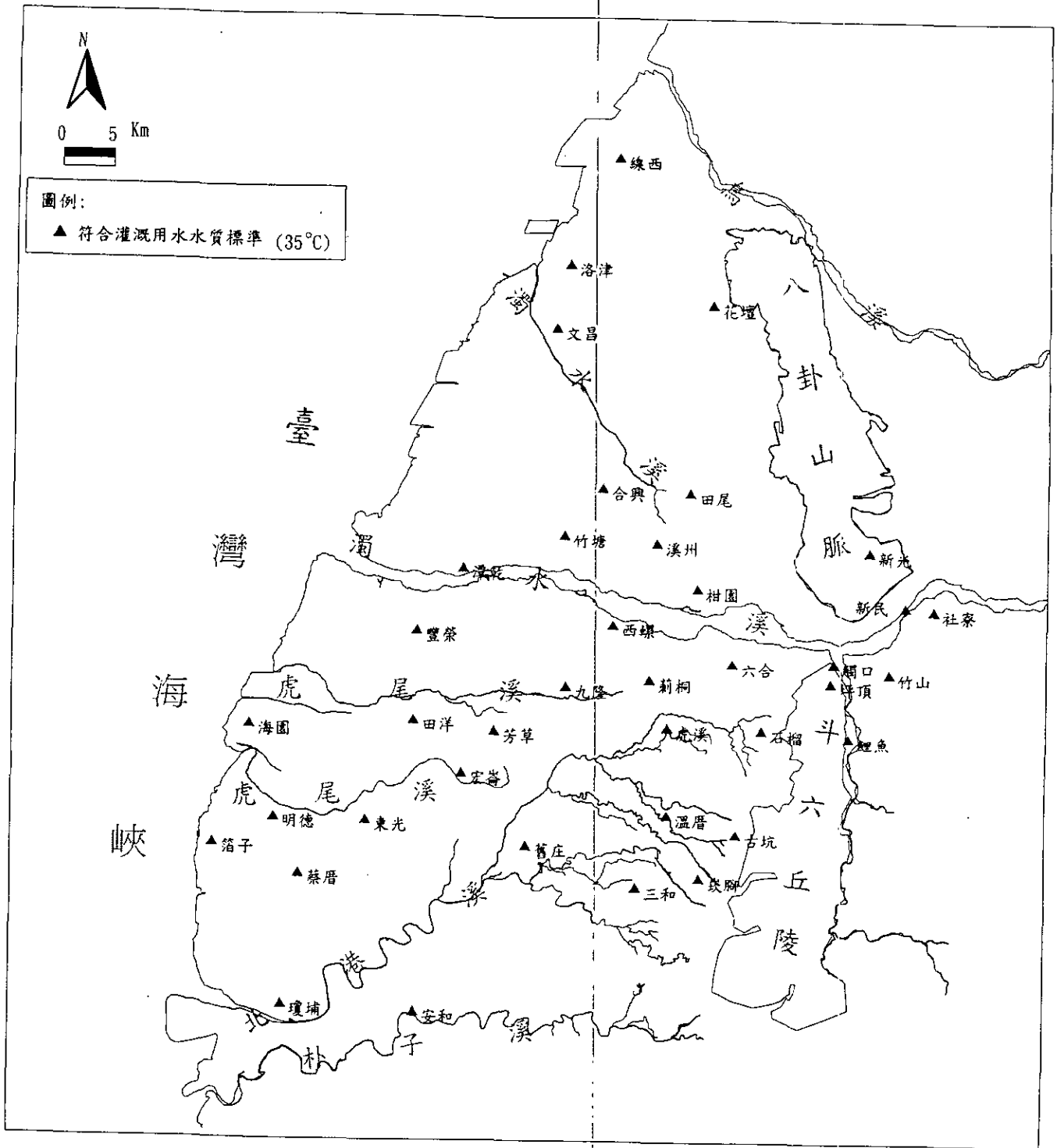


圖4.1 含水層一 站井之水溫分析圖

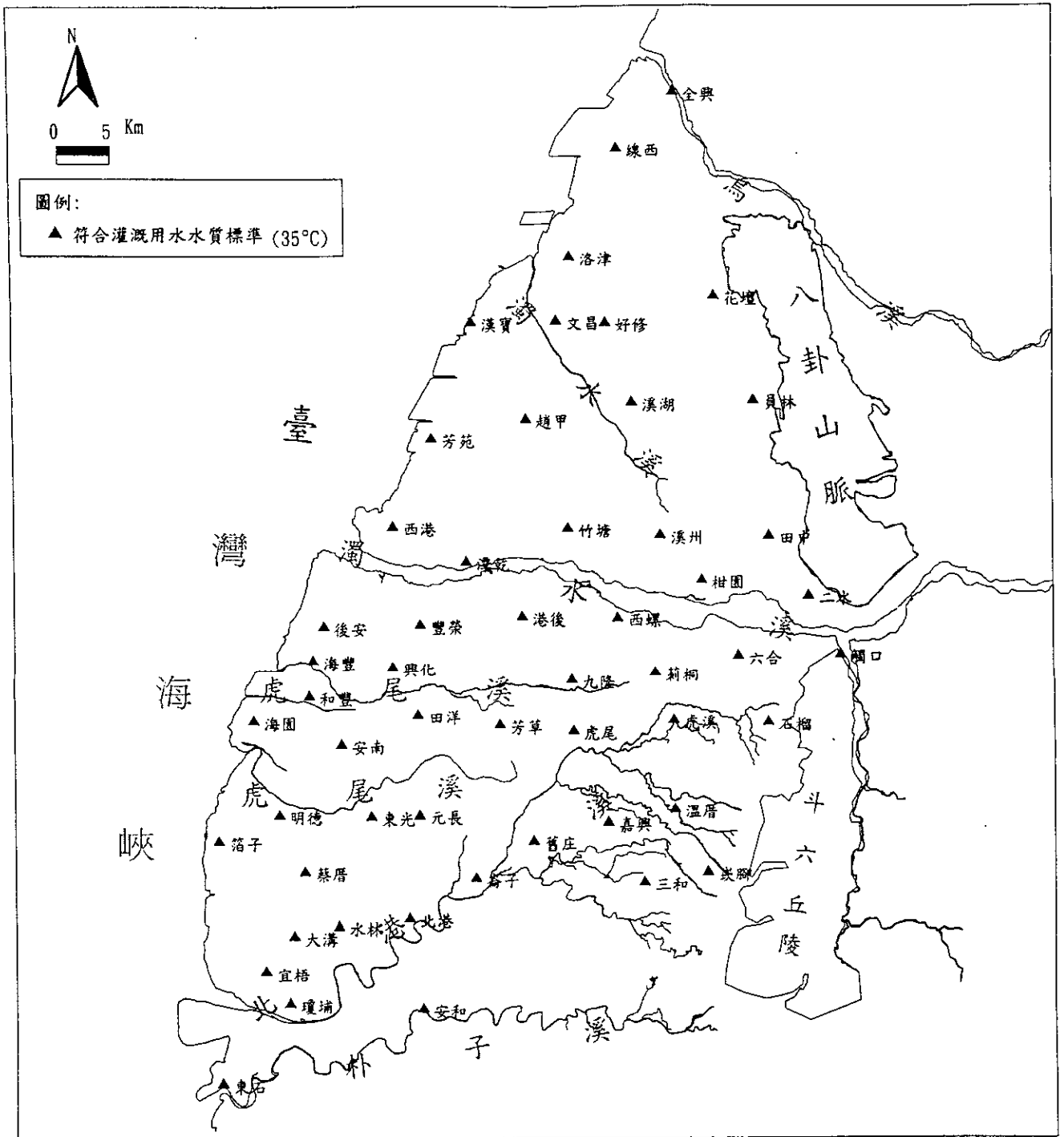


圖4.2 含水層二站井之水溫分析圖

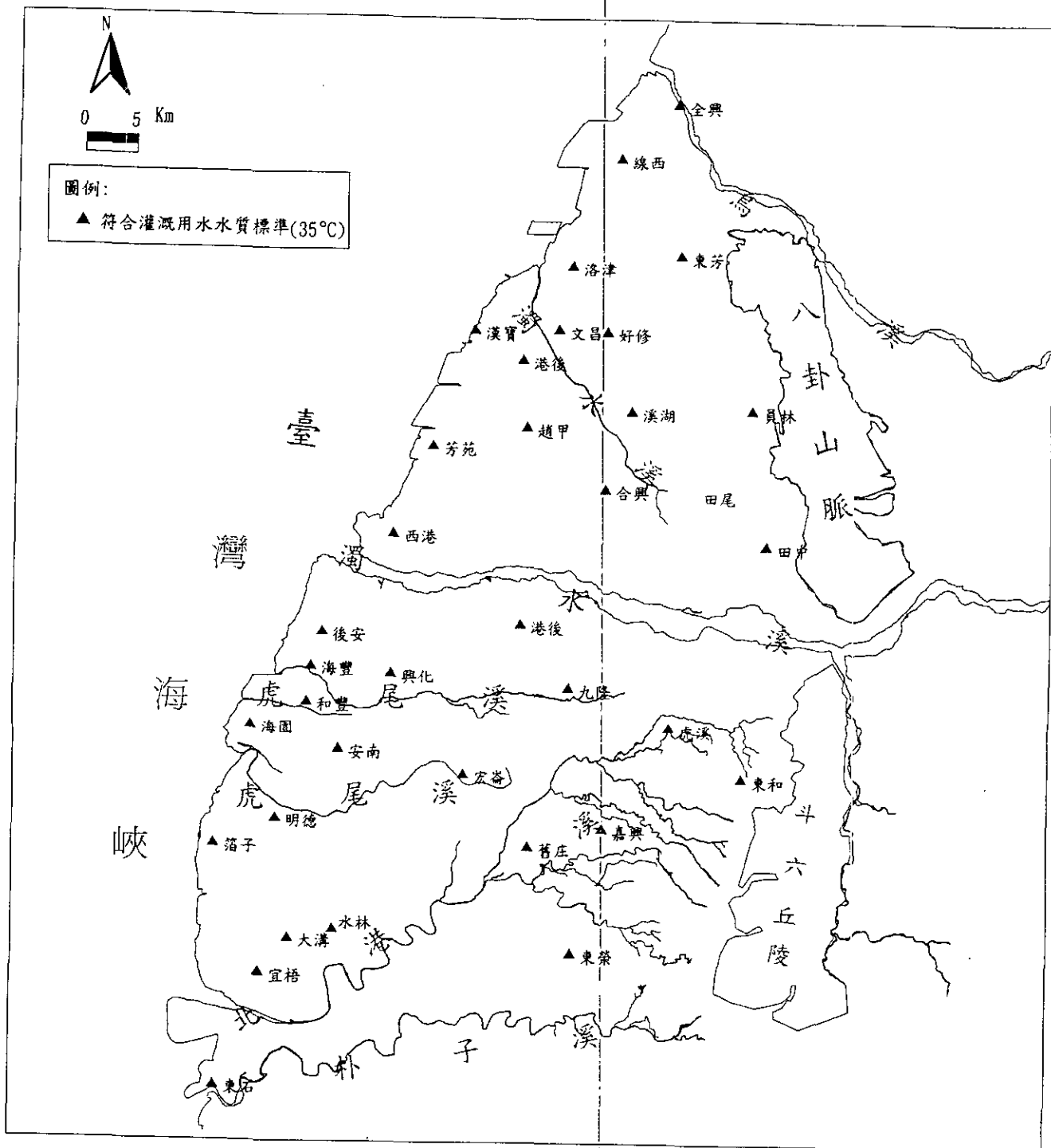


圖4.3 含水層三站井之水溫分析圖

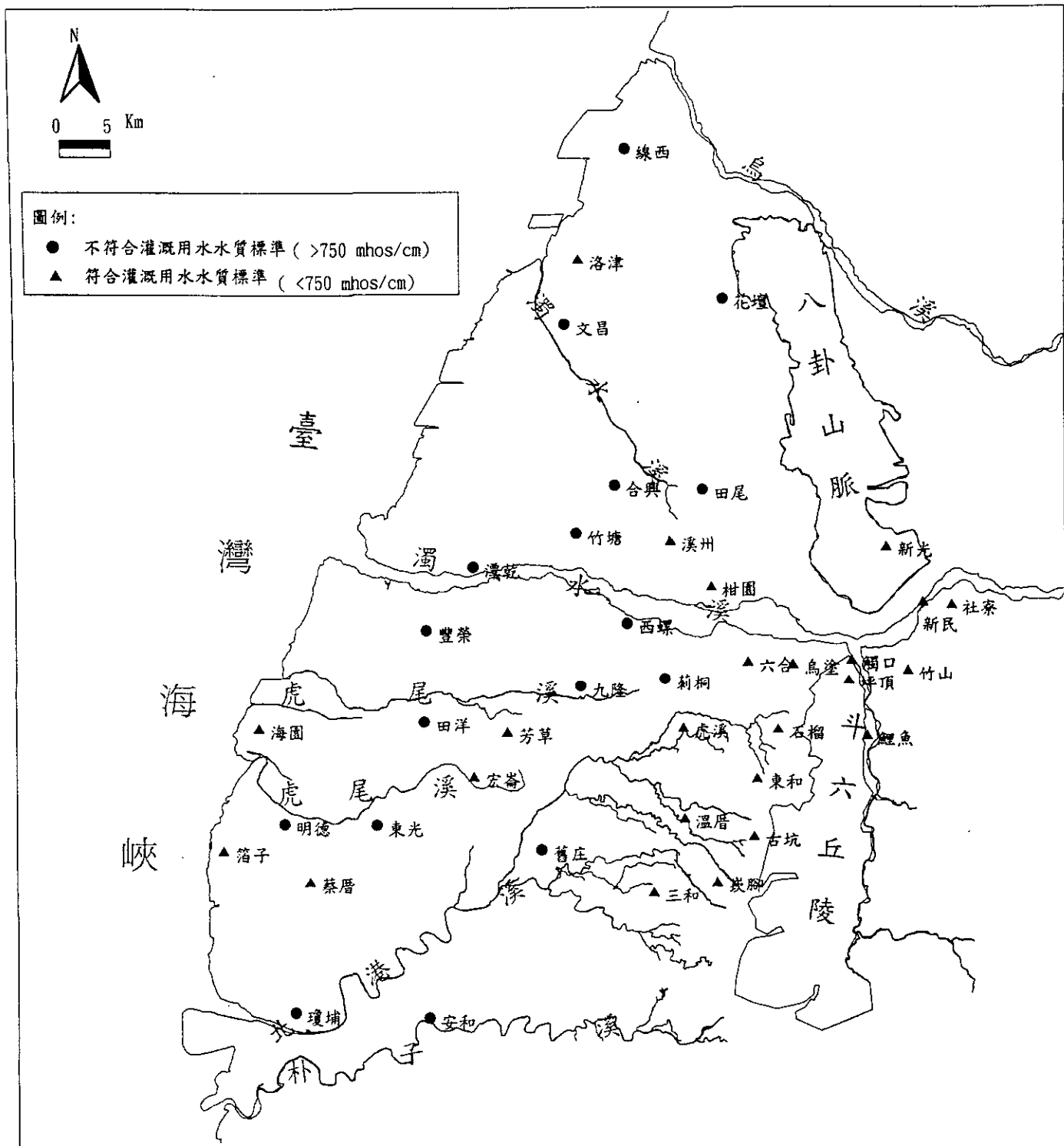


圖4.4 含水層一站井之電導度分析圖

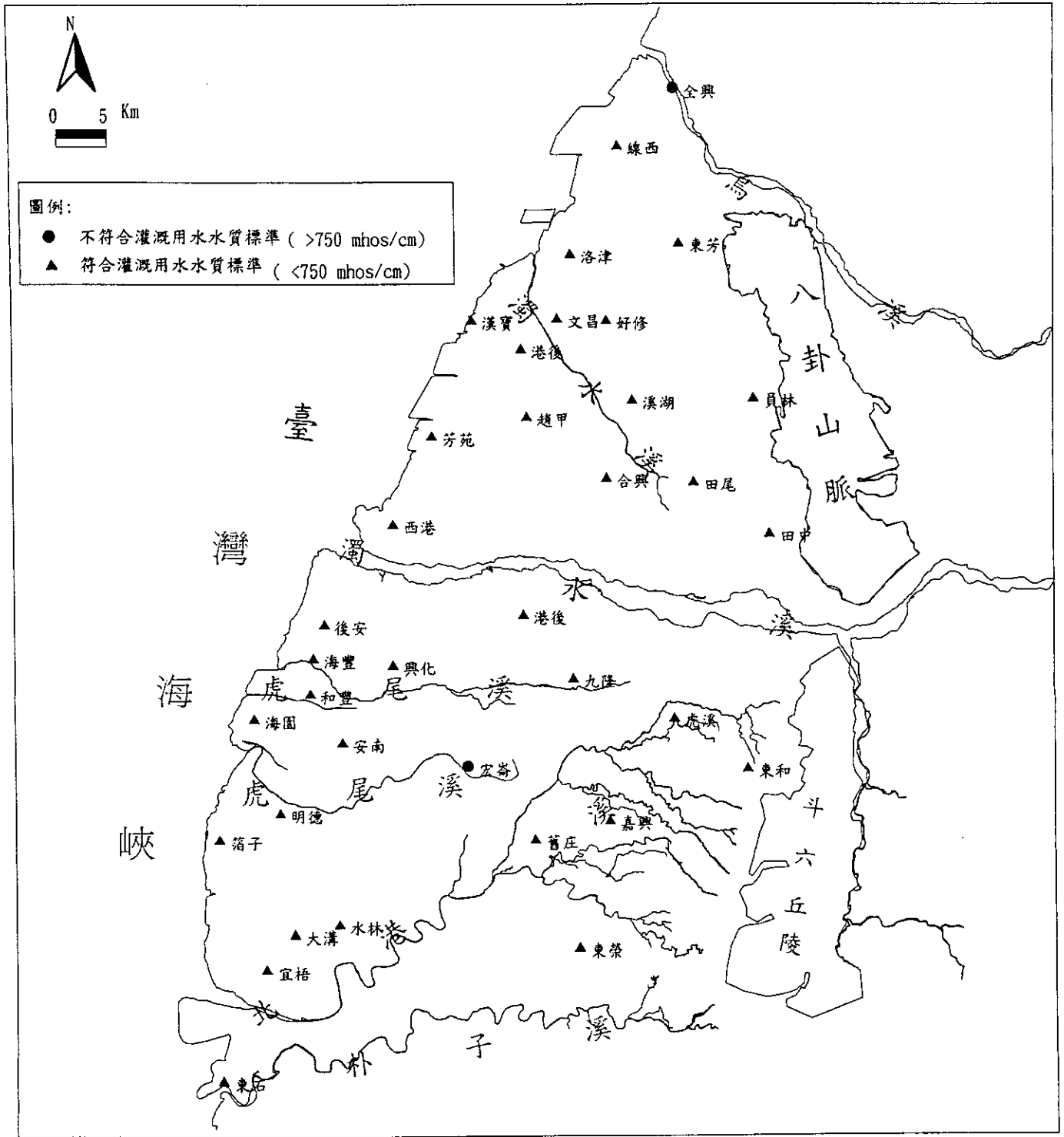


圖4.6 含水層三站井之電導度分析圖

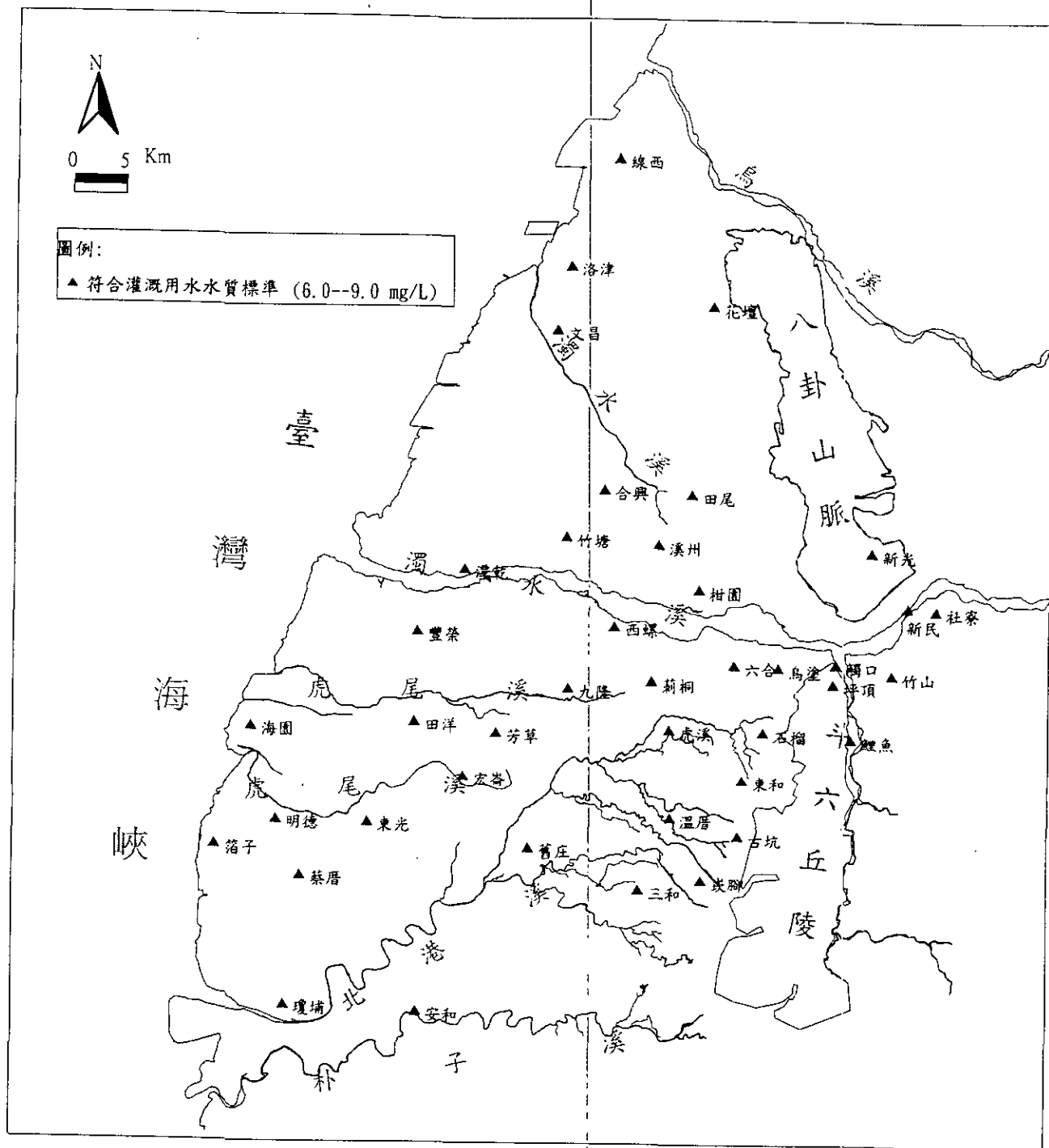


圖4.7 含水層一站井之酸鹼值分析圖

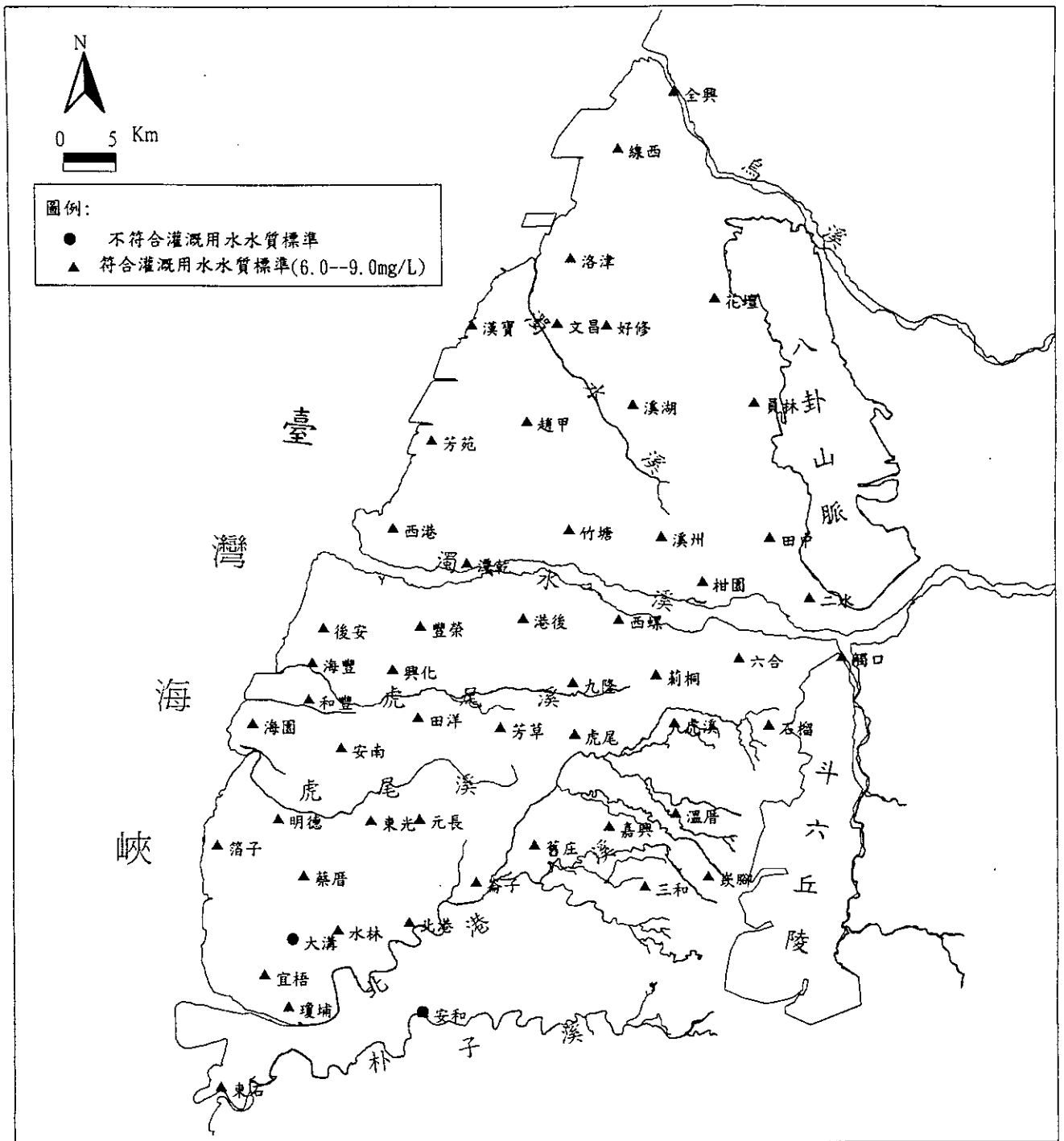


圖4.8 含水層二站井之酸鹼值分析圖

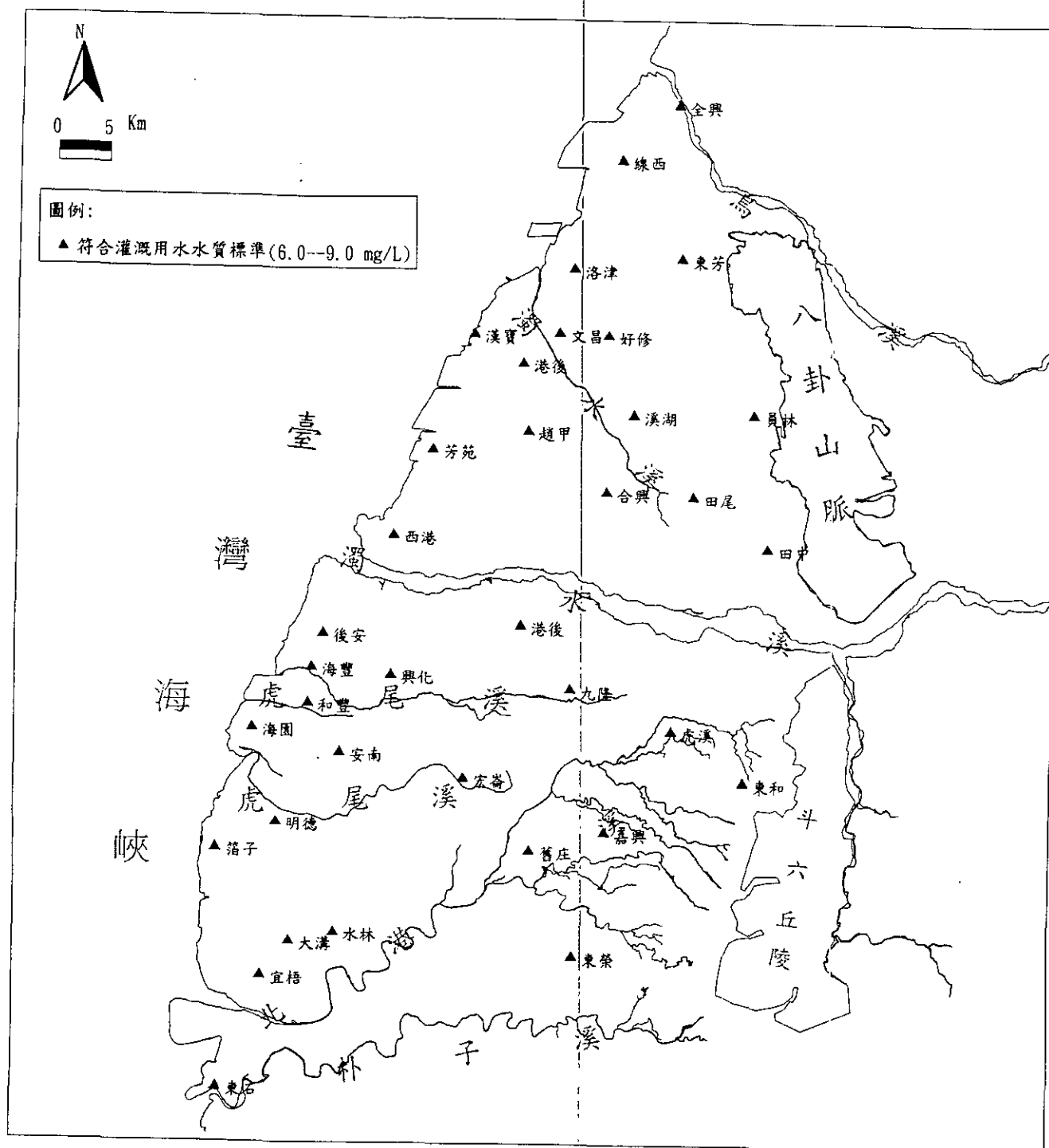


圖4.9 含水層三站井之酸鹼值分析圖

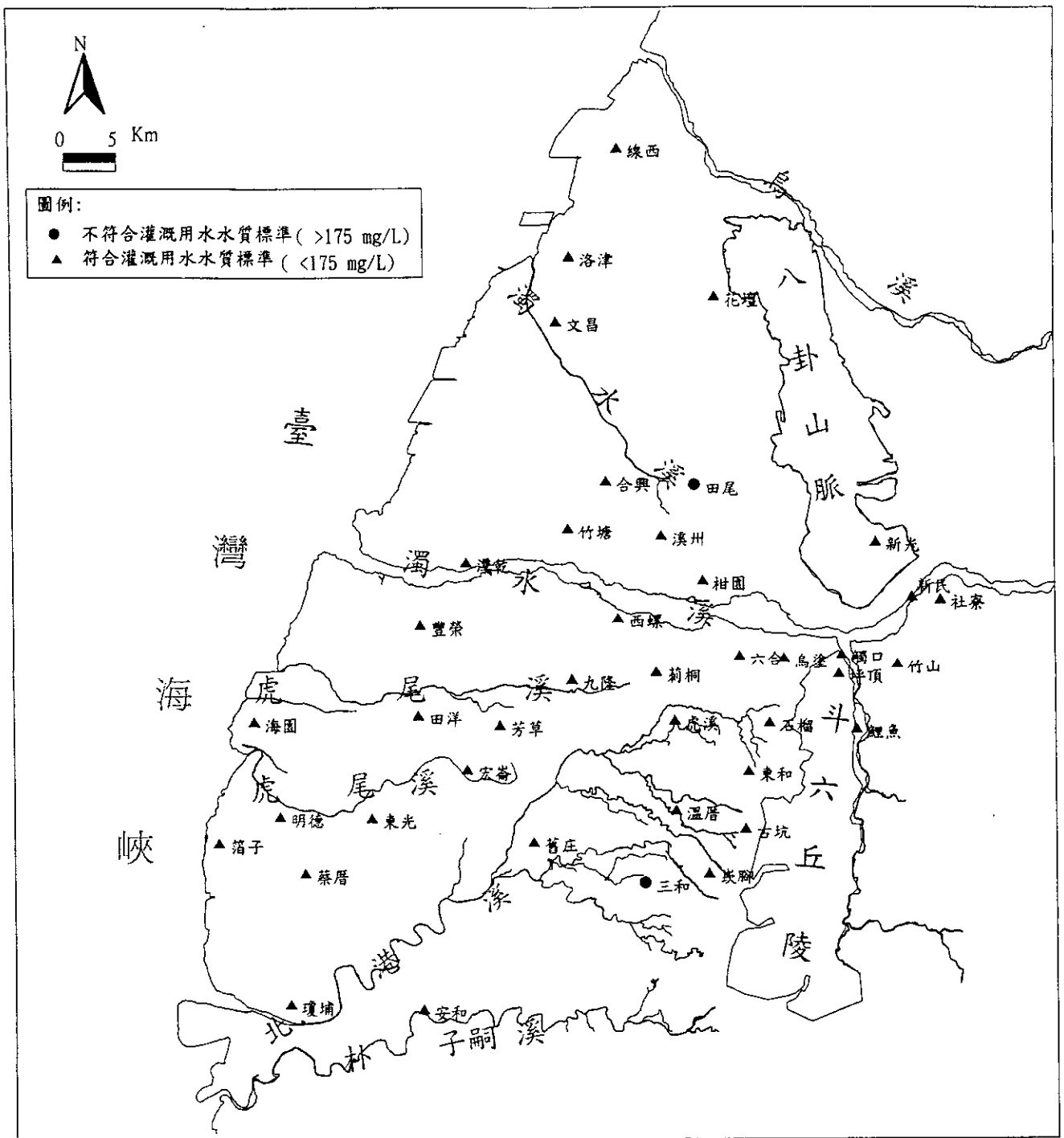


圖4.10.1 含水層一站井之氯鹽分析圖

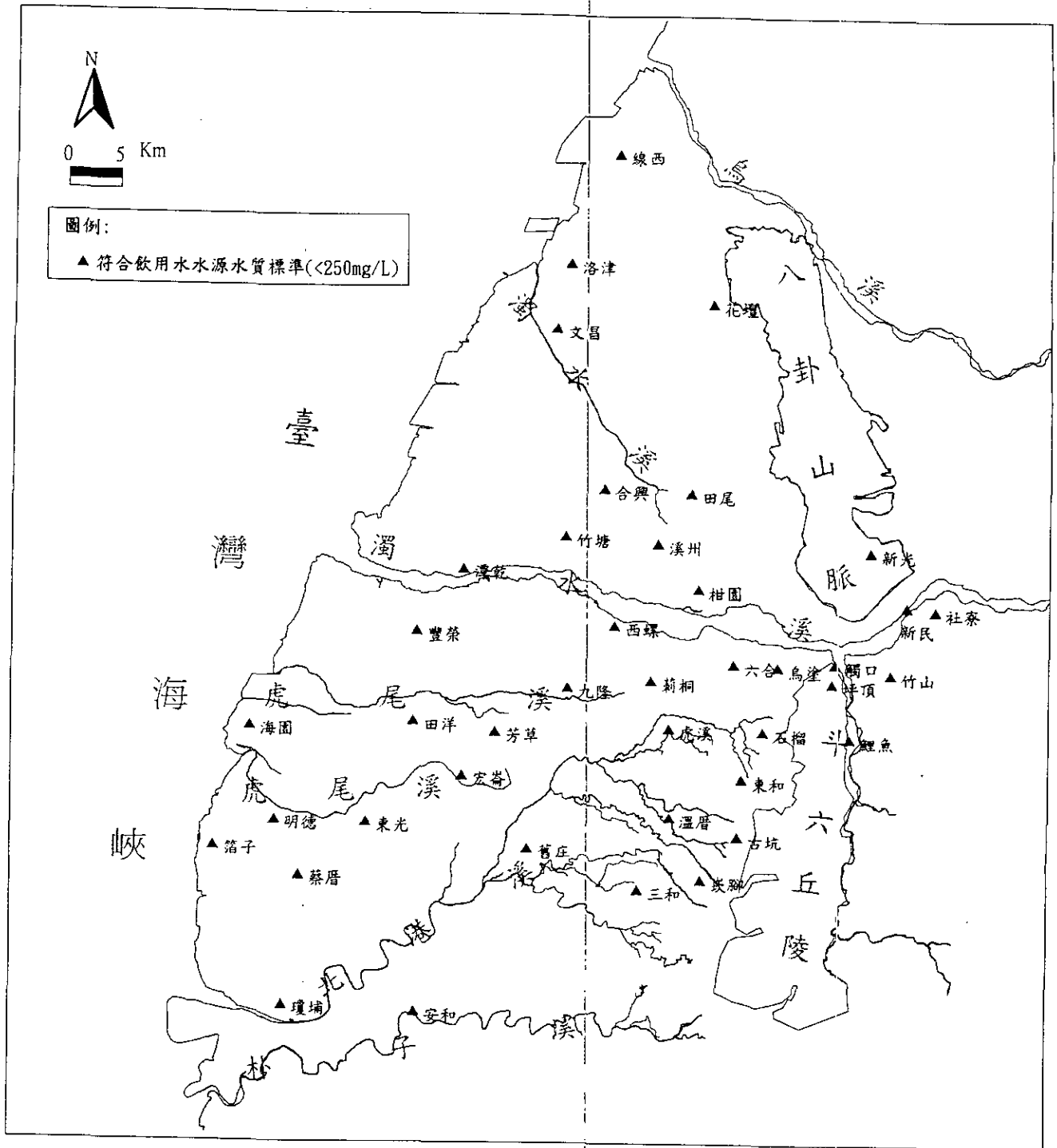


圖4.10.2 含水層一 站井之氯鹽分析圖



圖4.11.1 含水層二站井之氯鹽分析圖

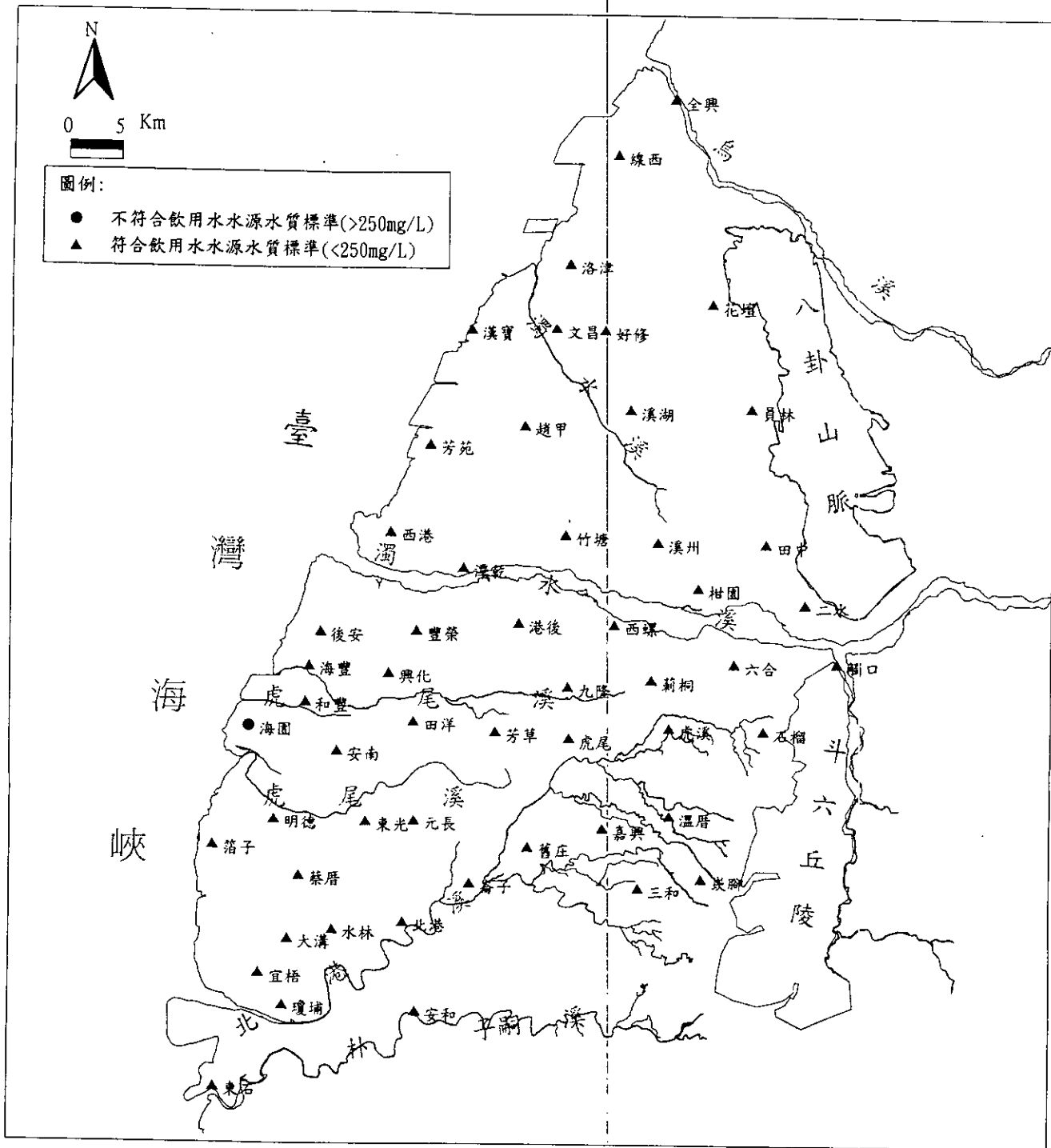


圖4.11.2 含水層二站井之氣鹽分析圖

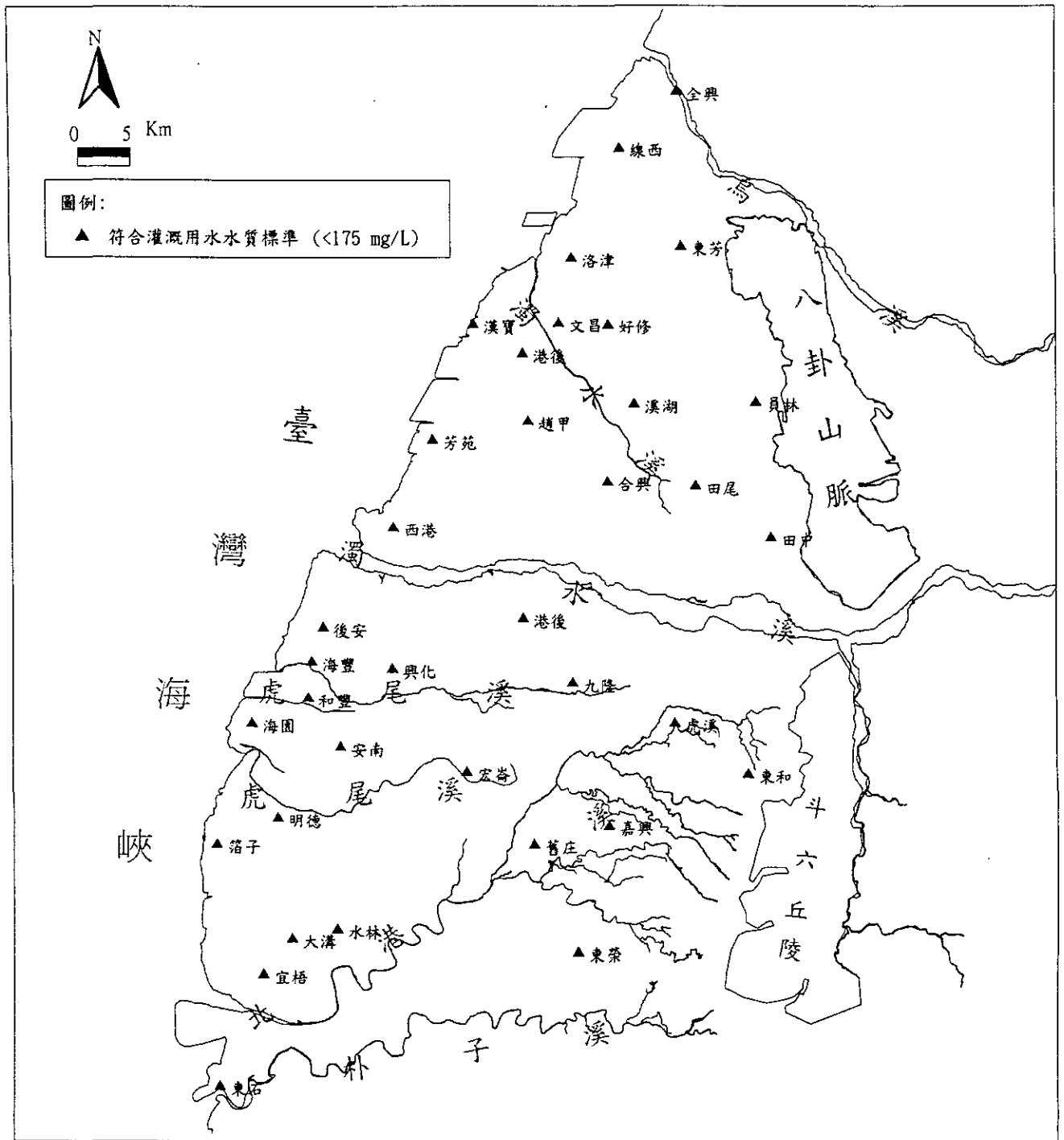


圖4.12.1 含水層三站井之氣鹽分析圖

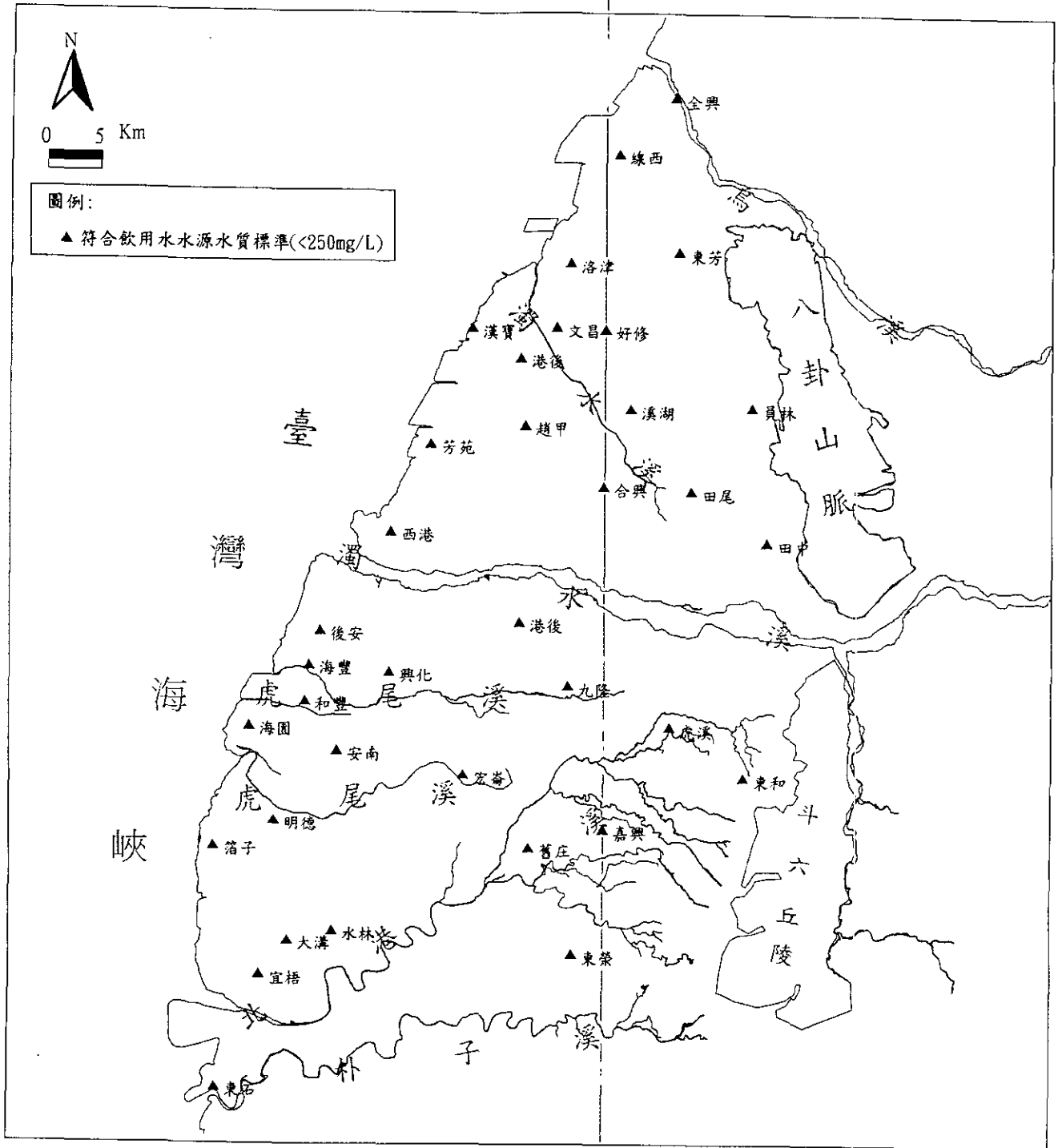


圖4.12.2 含水層三站井之氣鹽分析圖

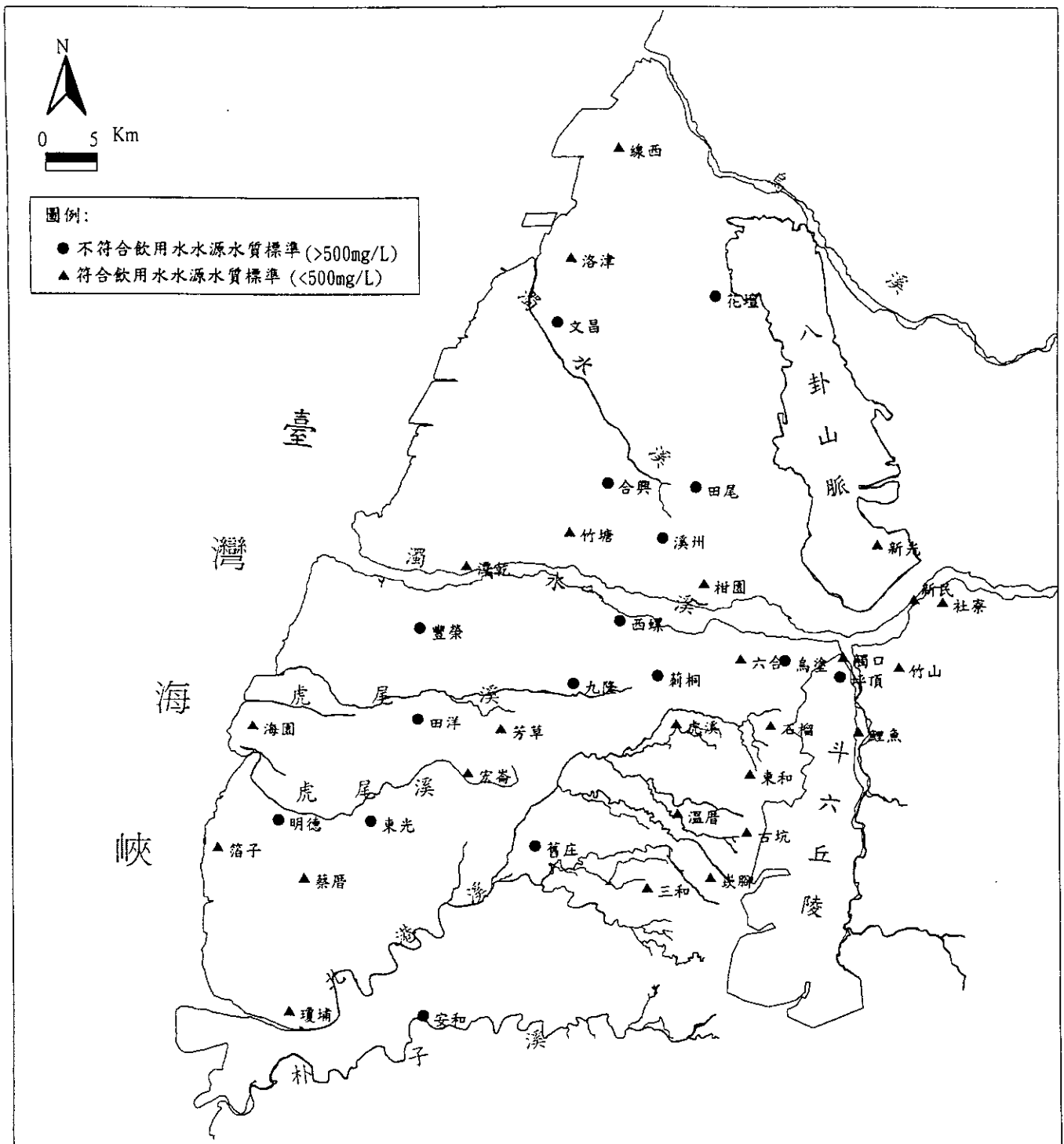


圖4.13 含水層一站井之總溶解固體量分析圖

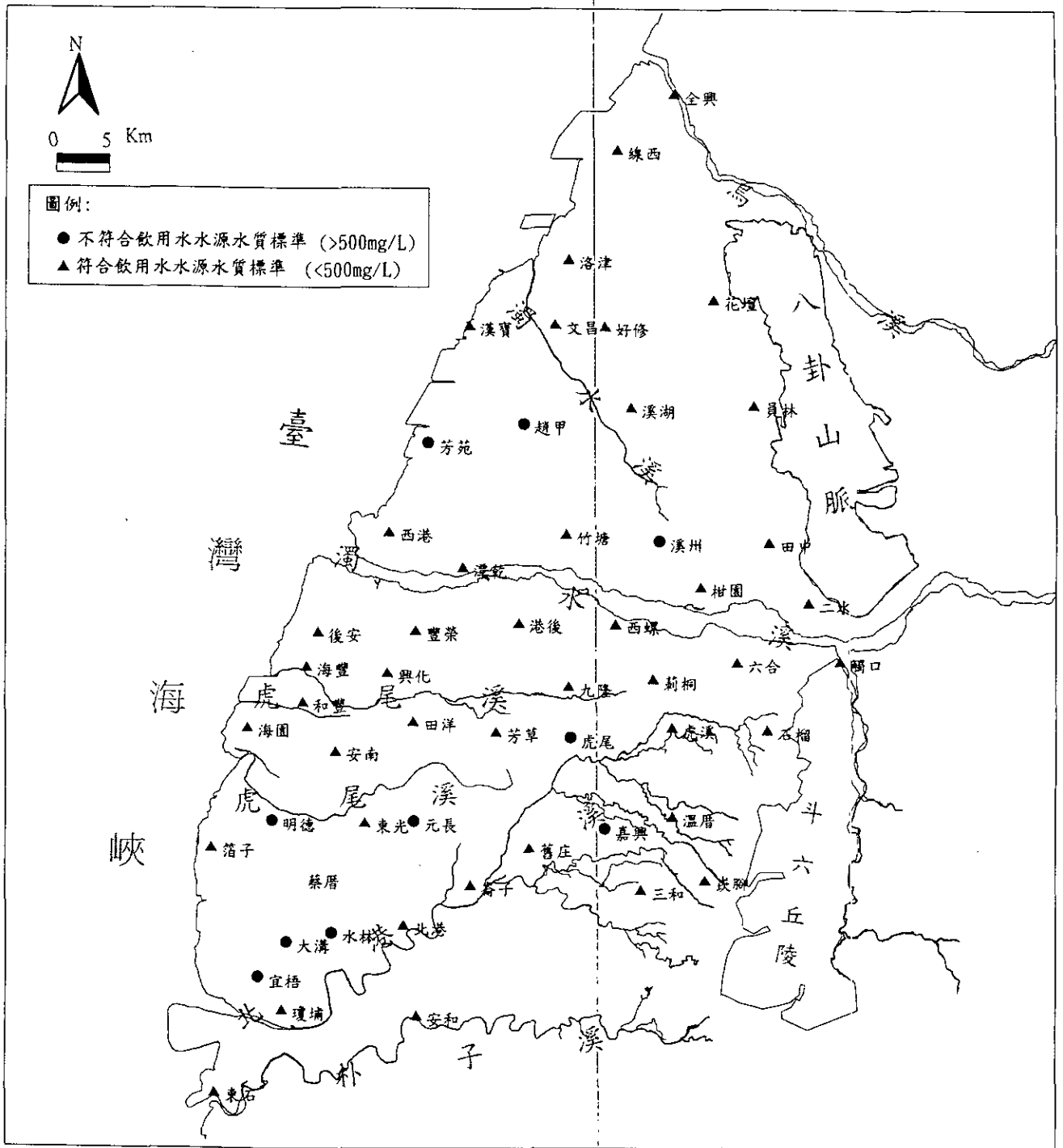


圖4.14 含水層二站井之總溶解固體量分析圖

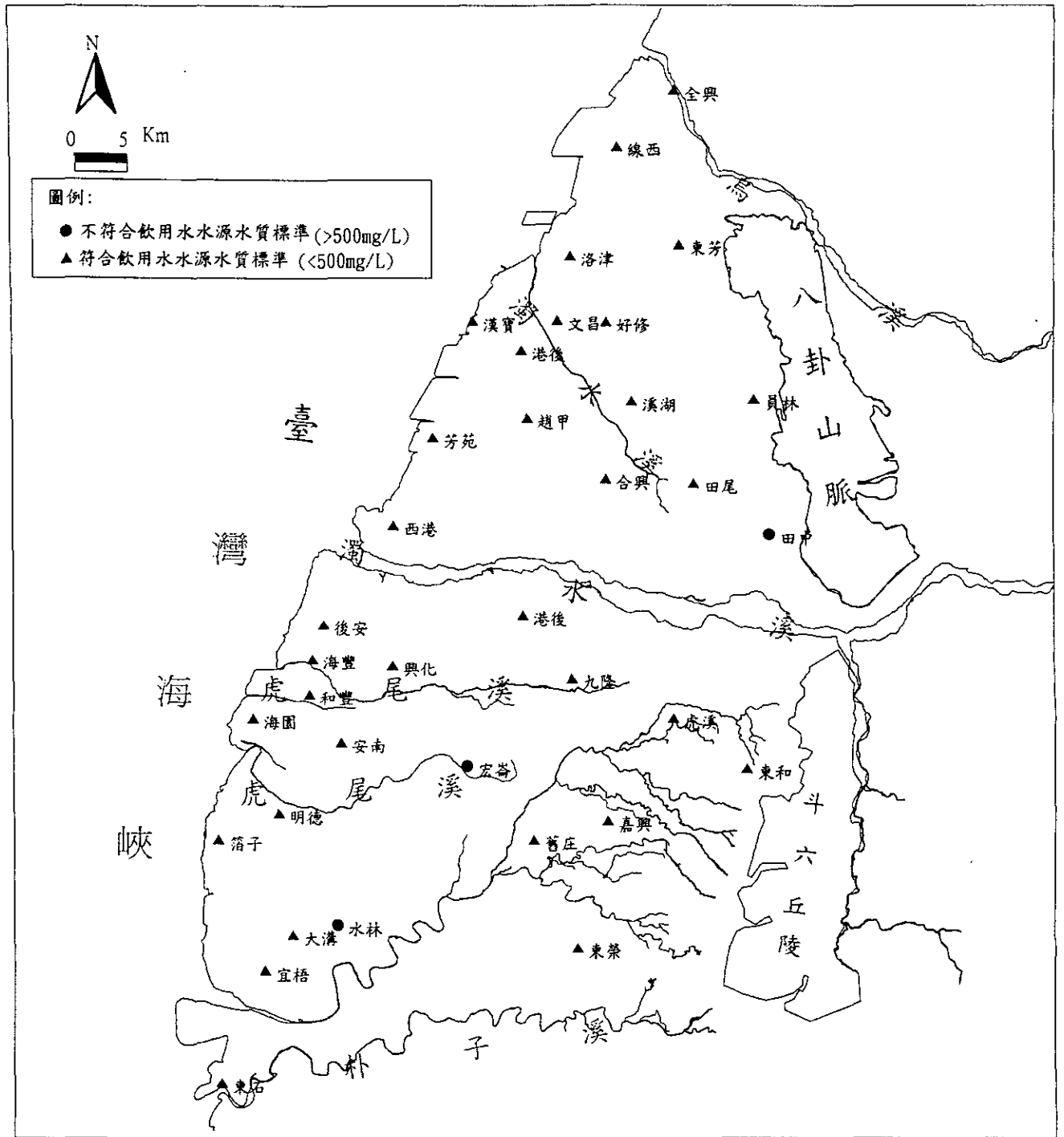


圖4.15 含水層三站井之總溶解固體量分析圖

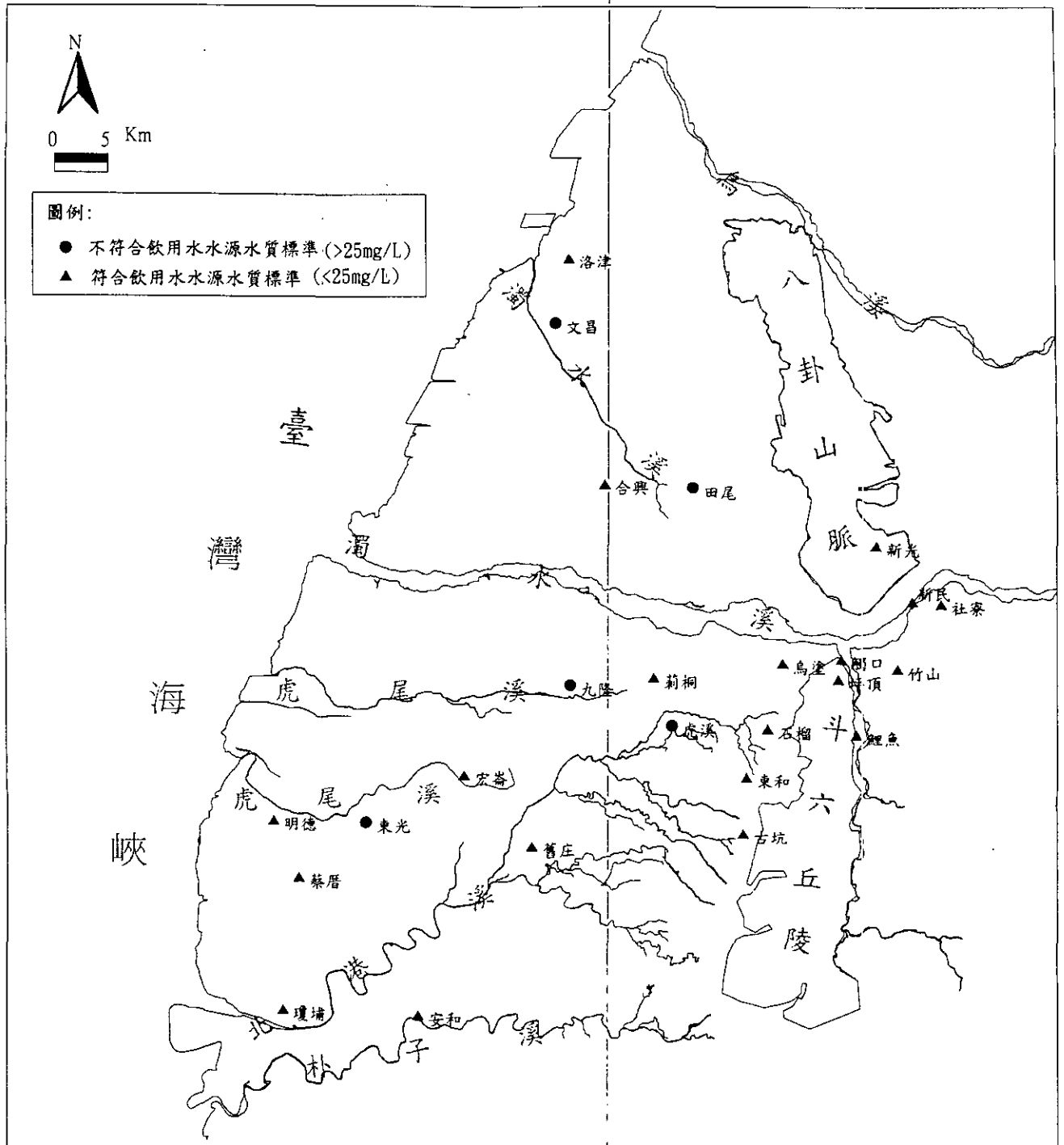


圖4.16 含水層一 站井之化學需氧量分析圖

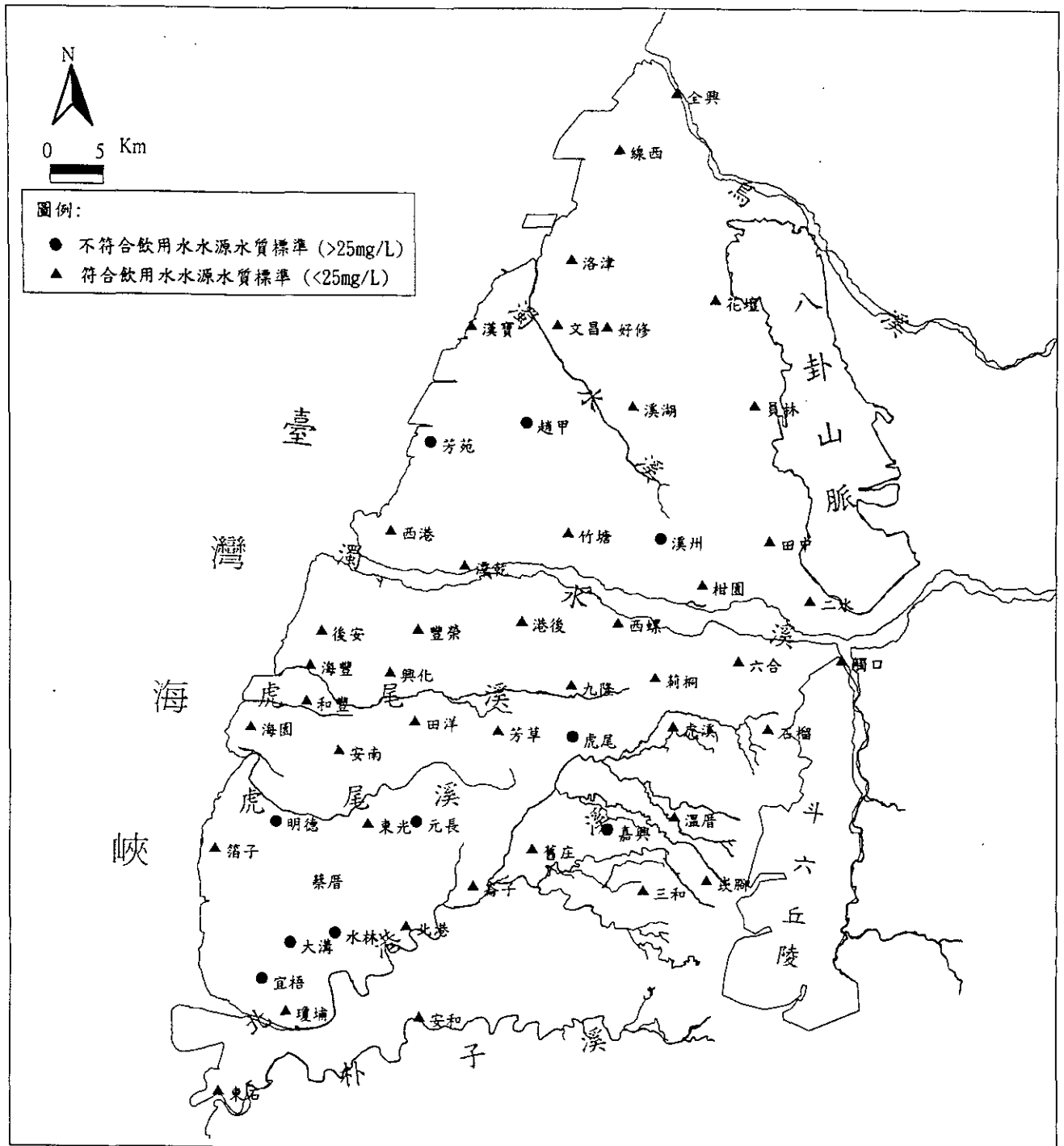


圖4.17 含水層二站井之化學需氧量分析圖

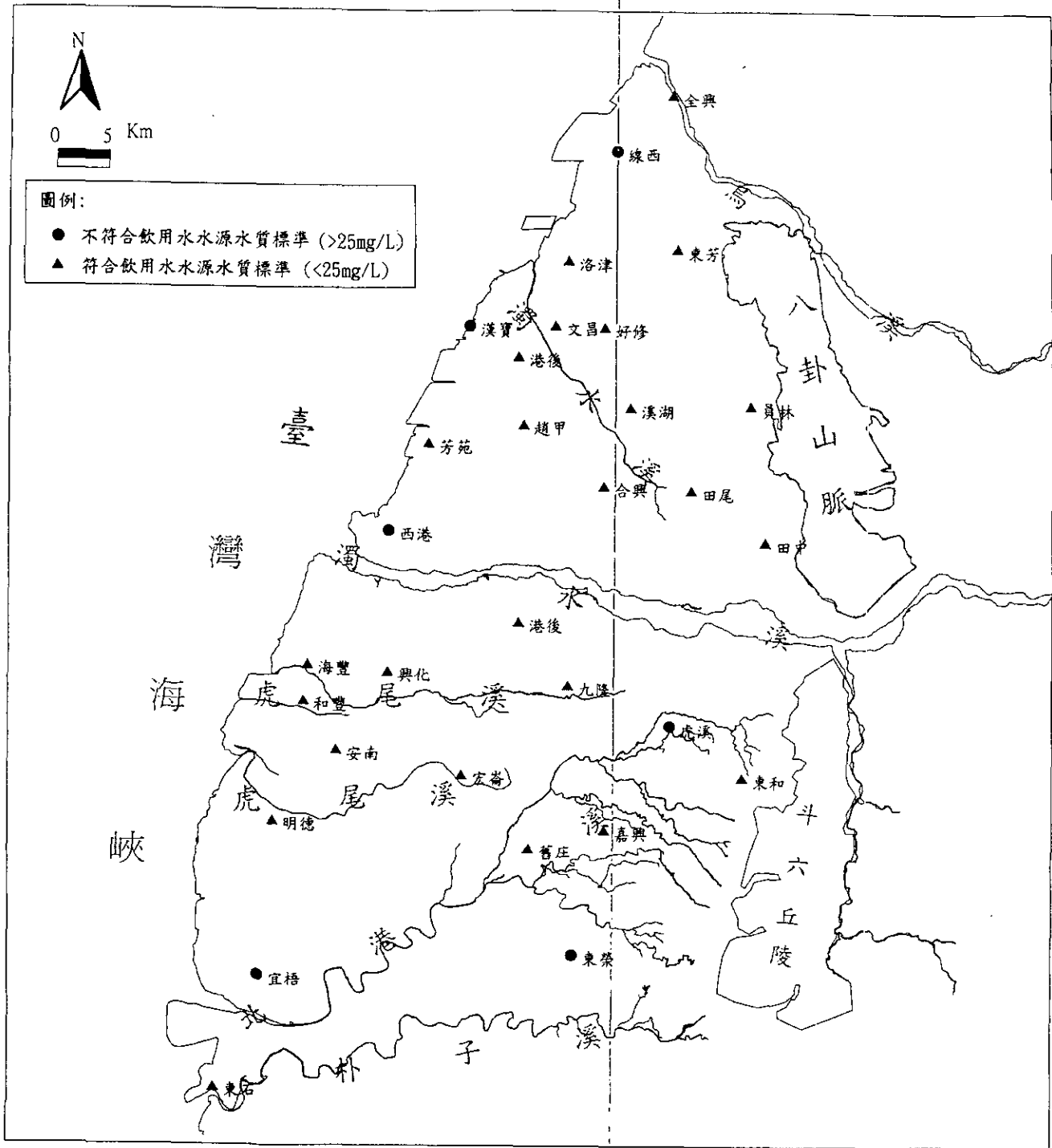


圖4.18 含水層三站井之化學需氧量分析圖

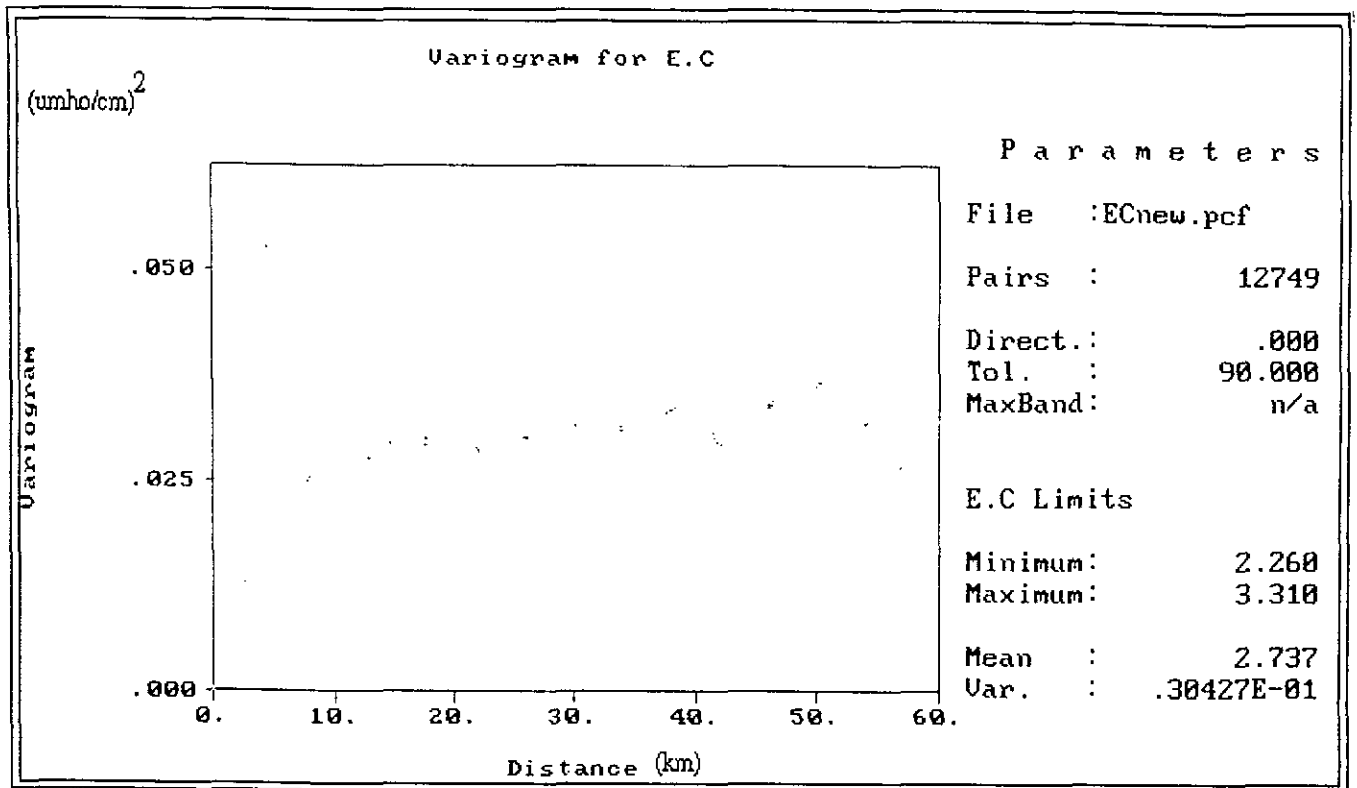


圖4.19 電導度結構分析圖

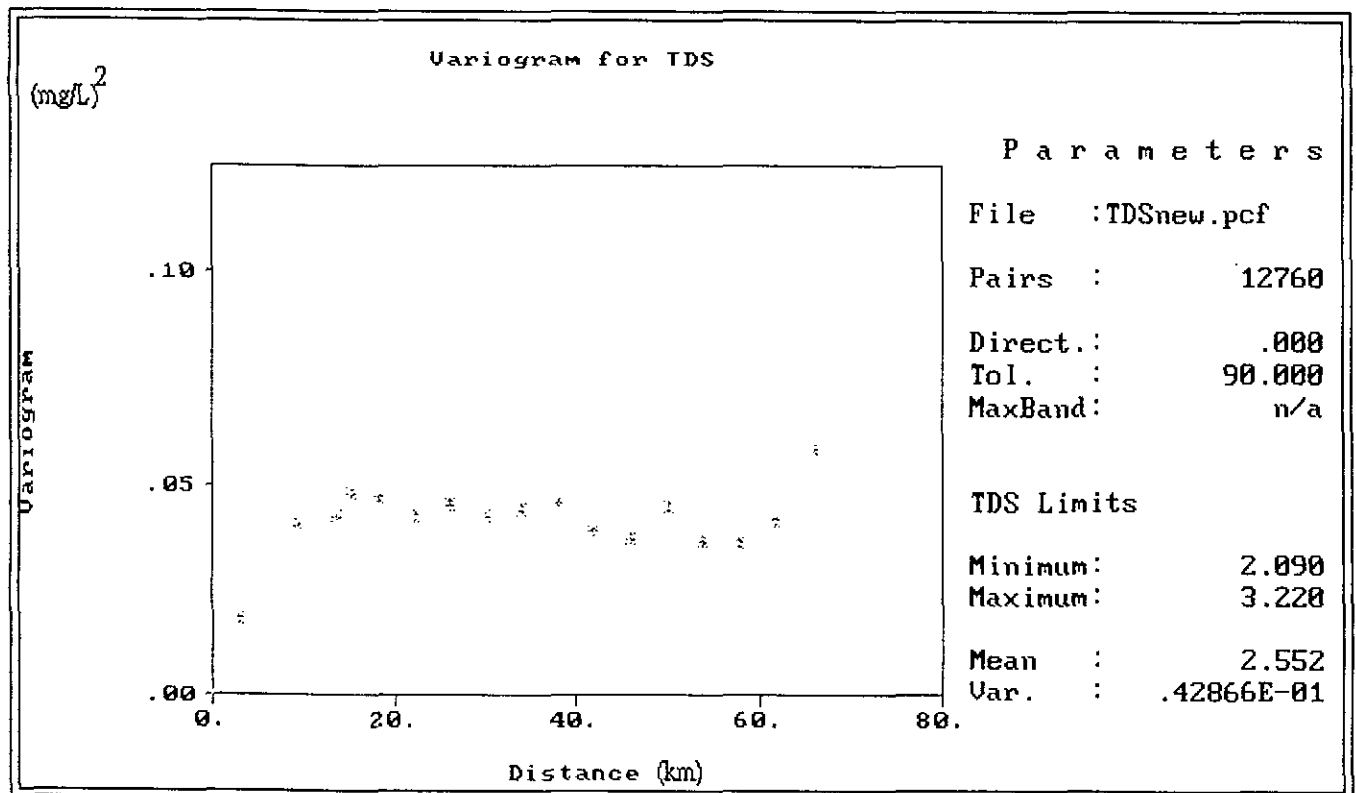


圖4.20 總溶解固體量結構分析圖

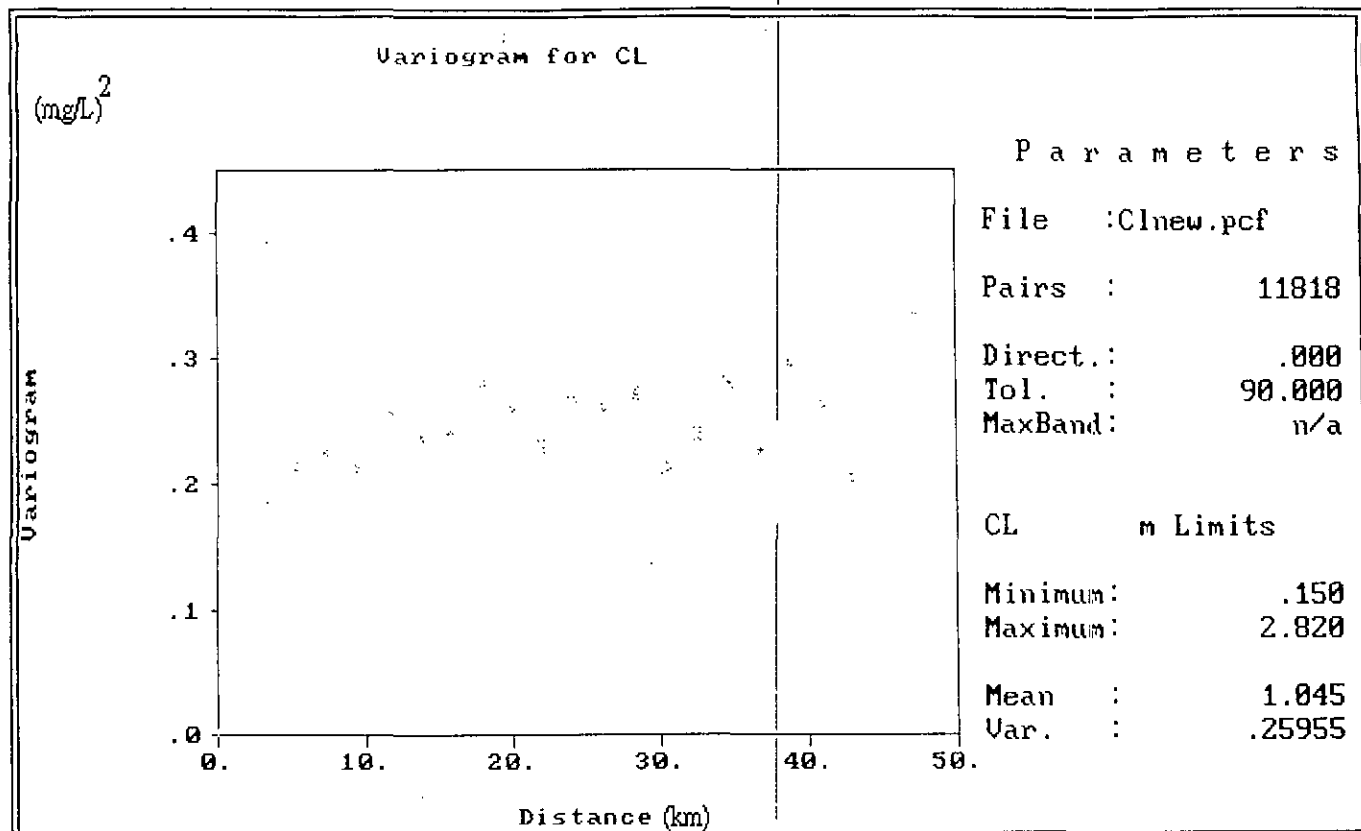


圖4.21 氯鹽結構分析圖

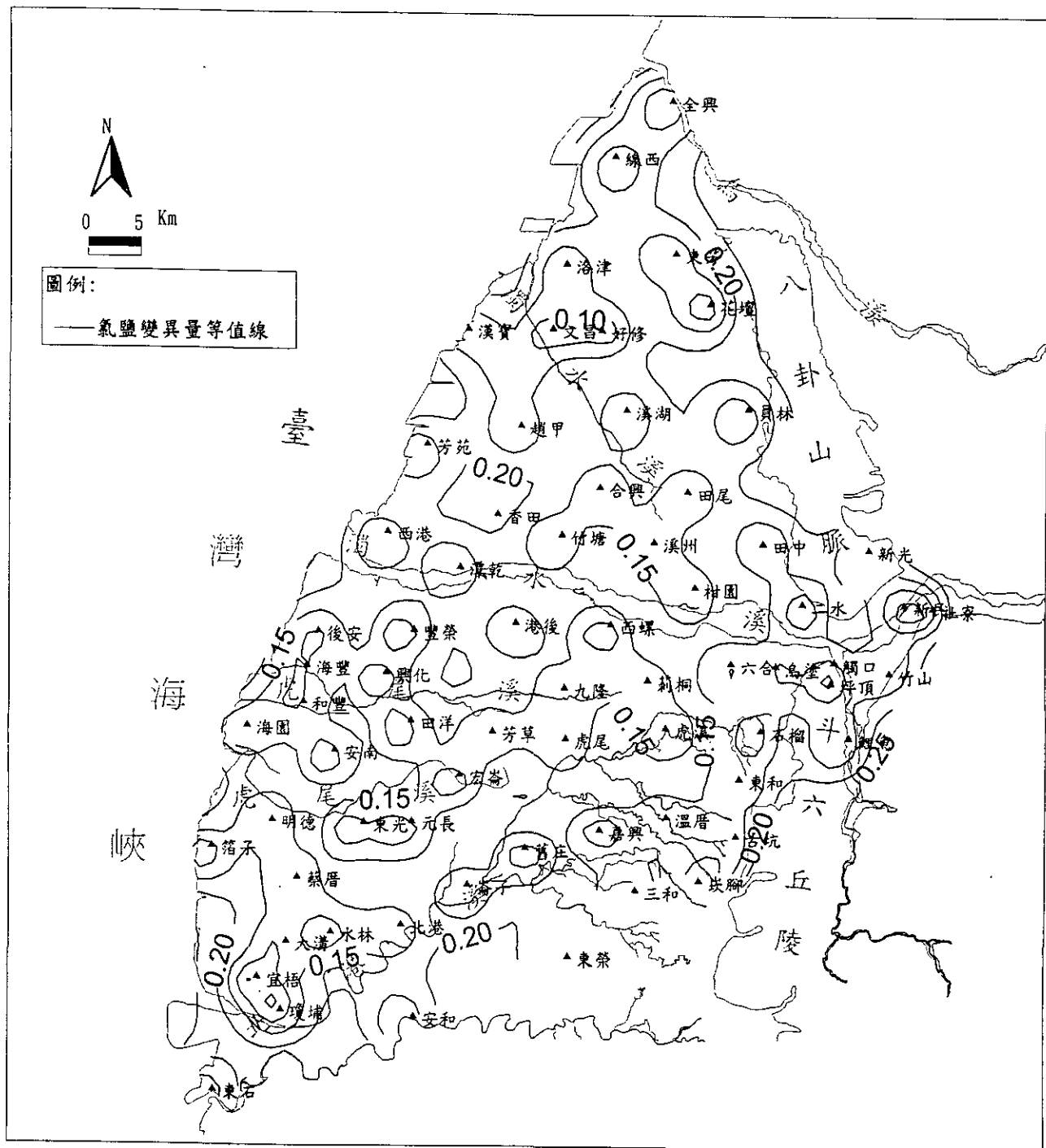


圖4.22 氣鹽變異量等值圖

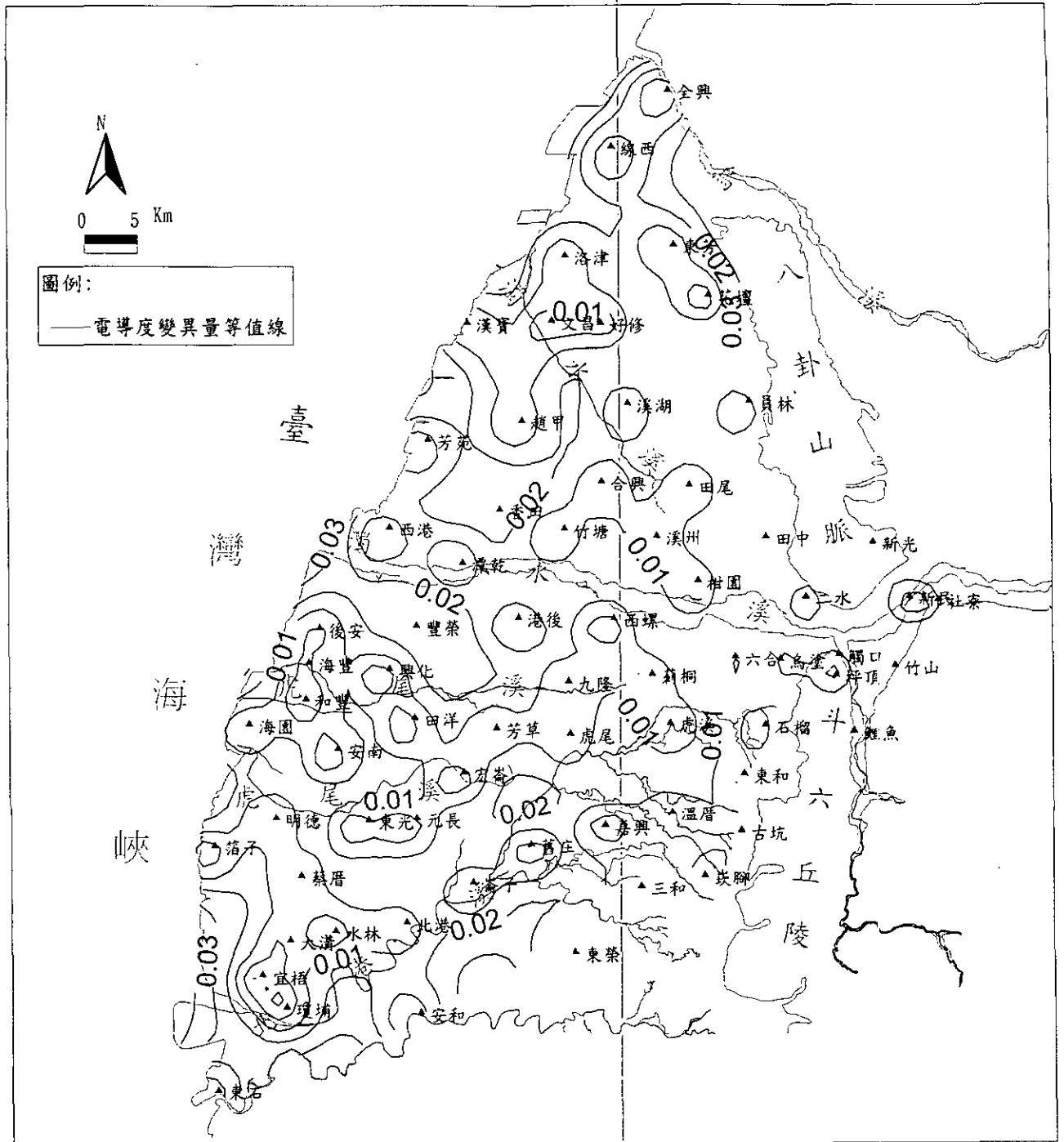


圖4.23 電導度變異量等值圖

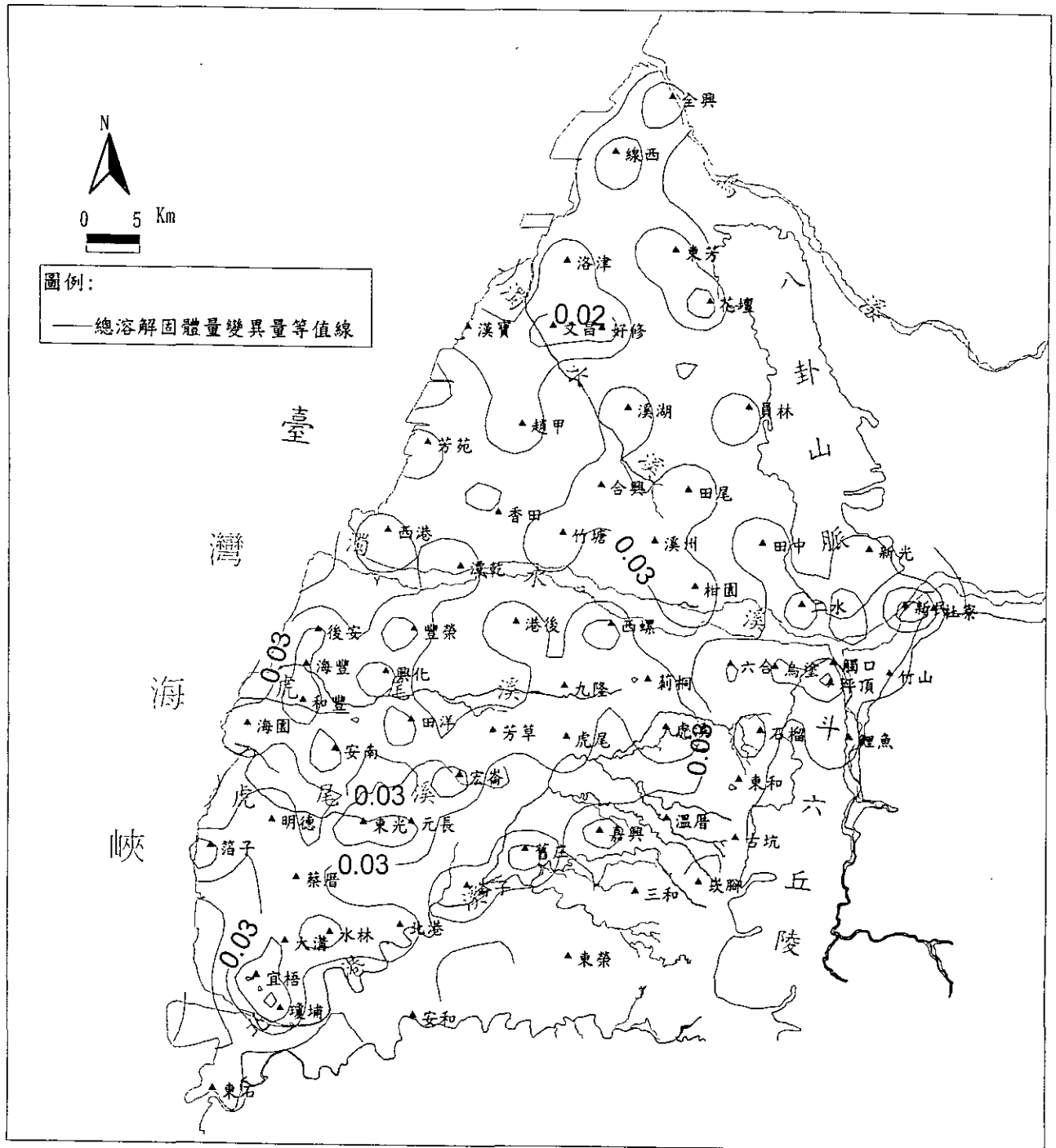
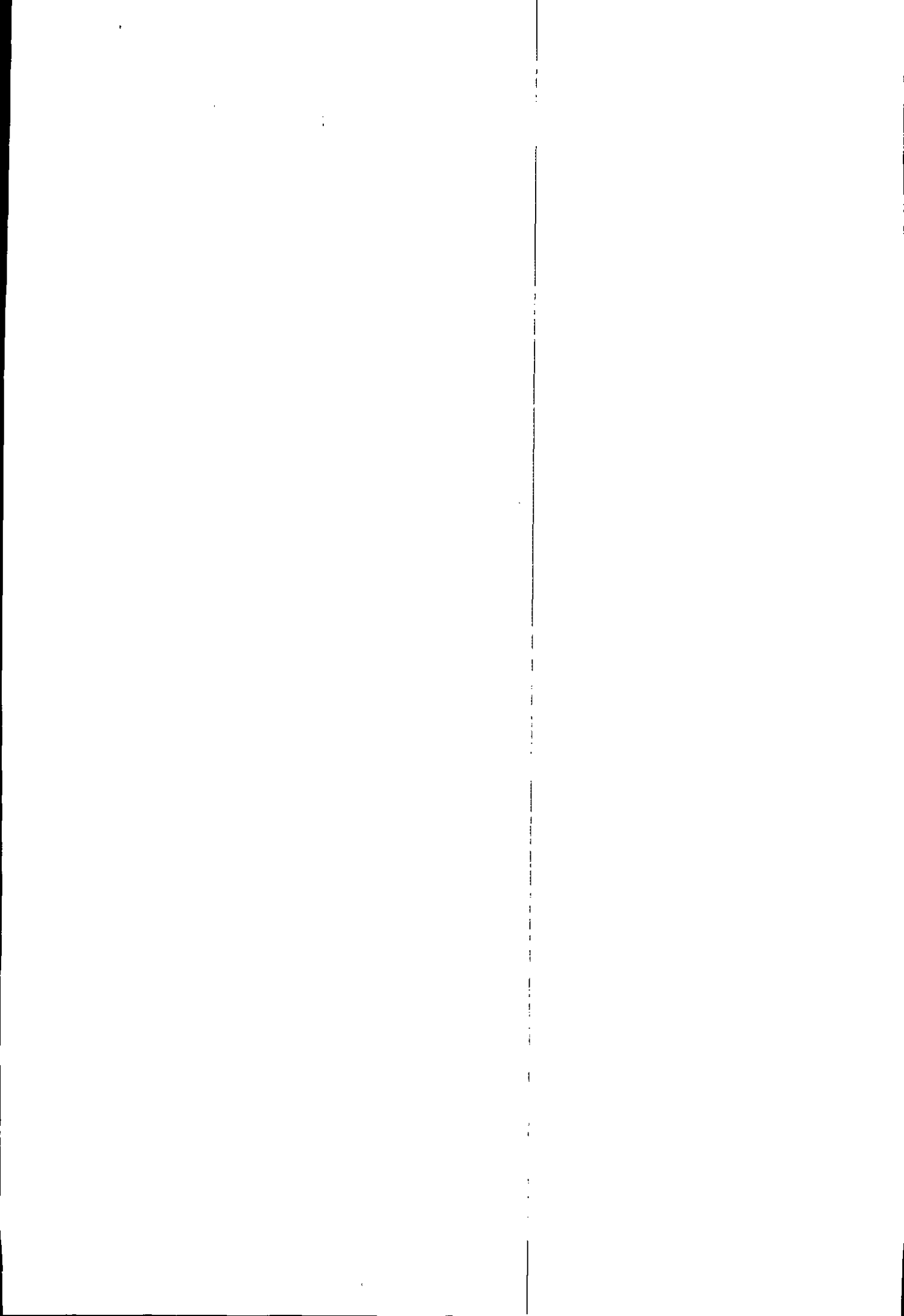


圖4.24 總溶解固體量變異量等值圖



第五章 地下水水平衡分析

地下水水平衡分析為規劃地下水開發之首要工作，水平衡計算必須有時間連續且空間連貫的地下水位觀測資料，及地質狀況之相關資料，方可進行水平衡分析之計算。本計畫選擇利用 MODFLOW 模式先建立擬三維地下水流模式，在完成參數檢定程序後，再以 MODFLOW 中之質量平衡計算模組進行分區水平衡計算。在進行模式建立之前，必須進行數值模式輸入資料前置作業，其中包括含水層空間參數插值，亦即含水層分層、含水層厚度、水力傳導係數、儲水係數等之格網內插。於往昔的研究報告中對含水層參數雖然有描述，惟這些數據尚須數化後，內插至計算網格位置。以下就以民國 88 年數據為例，說明如何進行模式建立作業，及利用地下水觀測水位以參數檢定法推估所得之抽水量成果。

5.1 模式邊界範圍與邊界條件

根據經濟部中央地質調查所（1999）對於濁水溪沖積扇之分層方式，濁水溪沖積扇地下含水層主要可分成含水層1、含水層2、含水層3、與含水層4，相鄰兩含水層中間有一阻水層，就目前調查結果含水層2是主要抽水層，而含水層4是深層含水層，目前資料較少。

由地質鑽探資料得知濁水溪沖積扇扇頂地區為主要地下水補充區，故將模式東部之邊界延伸至車籠埔斷層。就平面上而言，本計畫模式區域北部以烏溪為界，向東銜接八卦山脈、延伸至車籠埔斷層斗六丘陵，南部跨越至嘉義縣而以朴子溪為界，環繞成一零流量邊界，涵蓋範圍略大於傳統上定義之濁水溪沖積扇範圍。西部為海洋，基本上構成一定水頭邊界，但由於阻水層在海底下延伸之緣故，海岸線僅構成第一地下分層之邊界，而下面幾層之西部邊界則為零

流量邊界且在海岸線以外。海岸線構成第一地下分層西部之定水頭邊界，但其他分層之西部零流量邊界則定在離海岸線10公里至20公里處。

第一地下分層除了接受大氣降雨及灌溉入滲補注外，還與烏溪、舊濁水溪、濁水溪、新虎尾溪、虎尾溪、北港溪及朴子溪發生水量交換。另外在進行整個濁水溪沖積扇水平衡分析時，考慮扇頂與扇央、扇尾的地層狀態及地下水流特性不同，故將扇頂視為自由含水層區，扇央、扇尾視為受壓含水層區，模式之概念分層如圖3.6所示。

在格網的劃分上七層地下分層均採同一計算格網，南北方向將模擬區域分為45列，東西方向分為40行。考量資料密度及計算精度的情況下，採用2km等間距的格網，共有12600個格網如圖5.1所示。而在模式邊界內之格網數目第一，二地下分層均為699個格網，第三，四，五地下分層均為1005個格網，第六，七地下分層均為854個格網。

表5.1 模式層別對照表

概念分層	模式分層
含水層一	第一層
阻水層一	第二層
含水層二	第三層
阻水層二	第四層
含水層三	第五層
阻水層三	第六層
含水層四(深層)	第七層

5.2 模式輸入之資料

在本計畫中，模式所需輸入之基本資料除了上述模式概念地下分層架構、邊界範圍和格網劃分之外大致包括了地下水力學參數、模式初始水頭、地下水開採、地表水體、降雨及灌溉入滲等項目，詳述如下：

(1) 地下水力學參數

由於模式已進入非穩態模擬故所需輸入之地下水力學參數包括了透水係數(Hydraulic Conductivity, K值), 垂向滲漏係數(Vertical Leakance, V_{cont} 值)及儲水係數(Storage Coefficient)等。其資料處理步驟如下：

1. 透水係數(Hydraulic Conductivity, K值)

透水係數之資料參考台糖公司新營總廠鑿井工程隊新觀測井網之地下水觀測井開鑿及相關試驗報告，將台糖此報告中定量試水及少部份抽水試驗所得之導水係數(Transmissivity, T值)除以觀測井之濾水管厚度，而得透水係數(K值)。將上述所得K值依其所在濾水管深度，參照地層對比所得的地下分層厚度資訊來判定所屬層位，而得到分層的K值。為了彌補K值資料之不足，除了以上步驟所得之分層K值外，若地質鑽測站缺乏部份分層K值，則依岩性與地下分層之對比估算所缺乏之分層K值。最後利用每一分層K值做克利金(Kriging)內插得各格網點K值之等值圖(如圖5.2~5.4)，以供輸入模式。

2. 垂向滲透係數 (Vertical leakance, Vcont值)

本模式還需輸入垂向滲漏係數 (Vertical Leakance, Vcont值), 以便計算層與層間之水量交換。其表達式如下所示:

$$V_{\text{cont},j,k+1/2} = \frac{1}{\frac{\Delta Z_{i,j,k}/2}{K_{z_{i,j,k}}} + \frac{\Delta Z_{i,j,k+1}/2}{K_{z_{i,j,k+1}}}}$$

i: 元素之行序號

j: 元素之列序號

K, K+1 元素之層序號 (自上而下)。

Vcont i, j, K+1/2: 元素(i, j)處第K層與第K+1層之間垂向滲漏係數。

$\Delta Z_{i,j,K}$ 及 $\Delta Z_{i,j,K+1}$: 第K層與第K+1層在元素(i, j)處之厚度。

$K_{z_{i,j,K}}$ 及 $K_{z_{i,j,K+1}}$: 第K層與第K+1層在元素(i, j)處之垂向透水係數。

對本計畫之數值模擬而言, 即有1—2, 2—3, 3—4, 4—5, 5—6及6—7層共計6個格網化垂向滲漏係數值需給定。各層厚度分佈資料已蒐集整理, 至於垂向透水係數 K_z (Vertical Hydraulic conductivity), 其處理方式為將含水層分為若干單元, 根據各單元之岩性, 賦予其某一特徵值, 見表5.2所示。基本上黏土層區為 10^{-8} m/s, 砂土層區為 10^{-5} m/s, 礫石層為 10^{-4} m/s。

表5.2 垂向透水係數 K_z 初估值(m/s)

	含水層 (Aquifer)	阻水層 (Aquitard)
扇頂地區	1×10^{-4}	1×10^{-4}
扇央地區	3.3×10^{-5}	1×10^{-8}
扇尾地區	1×10^{-5}	1×10^{-8}

3. 儲水係數(Storage Coefficient)

在模式處理時，由於經由抽水試驗所得之儲水係數(Storage coefficient)與比出水量(Specific Yield)資料並不足夠，為了補足資料的不足，除了參考台糖公司新營總廠鑿井工程隊新觀測井網之地下水觀測井開鑿及相關試驗報告外，再配合台糖公司地質鑽探之岩性資料與中央地調所的八張剖面圖，得知各站各層之岩性，再依其岩性給予一估算值，最後利用克利金(kriging)內插得整層格網點之等值圖(如圖5.5~5.7)，在模式中由於第一層為非受壓水層，故給比出水量(Specific yield)，其它六層皆為受壓含水層均給儲水係數(Storage coefficient)。

(2) 模式初始水頭(Initial piezometer heads)

由於 MODFLOW 程式乃利用有限差分法解水流控制分方程式，需要輸入初始水頭以供模式計算。本計劃自台灣省水利局蒐集到濁水溪沖積扇新設觀測站網民國八十八之各月水位記錄，再依其所在濾水管深度進行判定而得所觀測層次之分層地下水位。在本模式中選用民國八十七年十二月之觀測水位，作為模式起始時之參照水位。

(3) 抽水量

由於民井大多為未註冊之非法水井，給地下水開採量之調查與統計帶來極大困難。所以抽水量資料有很大的變異性，故在處理非穩態模式時，此筆資料參考中興工程顧問公司及交通大學防災工程研究中心所做相關報告，斟酌給予一起始抽水量，均勻分配至各月份，於空間分配上研究區域分為14個分區如圖6.2所示，再對照實際觀測所得之地下水位歷線，以UCODE模式進行抽水量之率定，關於率定的方法及步驟將於下一章作進一步介紹。

(4) 降雨及灌溉入滲

地下水之入滲補注包括灌溉入滲及降雨入滲。在灌溉入滲方面，為估算灌溉入滲補注量，本研究特別蒐集到彰化、雲林及嘉義三縣各鄉鎮農作物種植面積統計資料(表 5.3~5.5)，在處理入滲時所使用之方法，乃參照經濟部水資會屏東平原地下水數值模式之應用分析報告(民國 84 年 6 月)，故在處理入滲量時，分為灌溉入滲與旱地之降雨入滲。

表 5.3 嘉義地區種植面積表

	旱田(公頃)	兩期作田(公頃)	單期水田(公頃)
東石鄉	915.73	0	2987.5
六腳鄉	1185.2	0	3375.8
新港鄉	407.87	3304.35	1578.44
民雄鄉	1818.07	3366.81	589.31
溪口鄉	495.61	1394.18	636.04
大林鎮	2072.62	2353.5	0
竹崎鎮	4615.77	665.33	0

5.4 彰化地區種植面積表

	旱田(公頃)	兩期作田(公頃)	單期水田(公頃)
彰化市	1147.59	1693.2	0
鹿港鎮	73.6	2185.44	0
和美鎮	246.39	1981.92	0
線西鄉	0.5	831.57	0
伸港鄉	162.53	1394.37	0
福興鄉	610.05	2800.15	0
秀水鄉	45.73	1924.92	0
花壇鄉	877.65	985.1	0
芬園鄉	1194.34	915.34	0
員林鎮	938.25	1165.06	0
溪湖鎮	119.67	2042.09	0
田中鎮	414.86	1662.44	0
大村鄉	169.78	1657.16	0
埔鹽鄉	60.99	2626.67	0
埔心鄉	69.7	1267.3	0
永靖鄉	139.75	1396.89	0
社頭鄉	658.48	1419.88	0
二水鄉	306.27	1337.67	0
北斗鎮	322.26	1173.93	0
二林鄉	2729.43	4933.36	0
田尾鄉	300.06	1570.64	0
埤頭鄉	725	2689.31	0
芳苑鄉	3457.8	3004.4	0
大城鄉	1067.48	2932.87	0
竹塘鄉	151.6	2387.72	0
溪州鄉	809.7	3662.5	0

表 5.5 雲林地區種植面積表

	早田(公頃)	兩期作田(公頃)	單期水田(公頃)
麥寮鄉	1358.8	0	2141.1
崙背鄉	620.56	1840.01	1800.97
二崙鄉	980.95	3357.37	246.47
西螺鎮	904.19	2806.31	0
莿桐鄉	394.05	1305.64	2496.06
林內鄉	318.99	388.71	1581.49
斗六市	1047.44	1496.79	3126.63
虎尾鎮	1464.42	456.61	3211.19
土庫鎮	346.1	26.72	2439.32
褒忠鄉	564.5	0	3448
東勢鄉	685.6	0	3036.04
台西鄉	1007.51	0	2401.33
四湖鄉	1359.82	0	4280.02
元長鄉	122.22	0	5543.85
大埤鄉	841.11	1786.89	892.59
斗南鎮	448.6	2737.24	472.86
古坑鄉	7044.71	392.61	1427.77
北港鎮	576.79	0	2698.4
水林鄉	708.19	0	5268.55
口湖鄉	485.33	0	3259.53

茲將各種入滲補注量分析如下：

1. 水稻田生長期補注量：

$$Q_g = A \times T \times \phi$$

$$Q_g = \text{生長期降雨和灌溉入滲量}(\text{m}^3)$$

$$A = \text{水田面積}(\text{m}^2)$$

$$T = \text{生長期}(\text{day})$$

$$\phi = \text{水田水量入滲率}(\text{mm/day})$$

而水田又可分為單期作田與雙期作田，單期作田生長期長 11 旬約 110 天，雙期作田生長期長 20 旬約 200 天，在這段期間中水田中皆浸滿水，故此時入滲量與降雨量並無太直接的關係，根據水利局集集共同引水計劃-人工補注技術及可行性實施計劃報告中估計自由層區，其水稻田入滲率約為 15mm/day；在受壓區中由於黏土分布區域甚廣，故其土質應介於壤土與種植土之間，其滲漏量約為 8mm/day，因此估計受壓層區之入滲率約為 5mm/day。

2. 旱地補注量：

$$Q_{rr} = P \times A \times \alpha$$

$$Q_{rr} = \text{月入滲量}(\text{m}^3)$$

$$p = \text{月雨量}(\text{m})$$

$$A = \text{旱地面積}(\text{m}^2)$$

$$\alpha = \text{降雨入滲補注係數}(\text{無因次})$$

區域內之旱地是指旱作地，而旱地的入滲量取決於雨量大小和降

雨入滲補注係數，當水稻田於非灌溉時期，其入滲量與降雨有關，故在此時期將水稻田當作旱地處理。雨量資料由水利局所提供，降雨入滲補注係數則根據土壤性質與年平均降雨量而定，大致上將 α 值給定自由層區 0.15，受壓層區 0.1。

(5) 地表水體之處理

研究區域內之主要河流自北向南計有烏溪、舊濁水溪、濁水溪、新虎尾溪、虎尾溪、北港溪及朴子溪，而本研究蒐集到以上各溪所屬各流量站多年來之日平均流量，供地下水模式中地表地下水交換計算之參考。但在實際情況下，河流與地下水相互流通之水量相對而言較小，對整個研究區域來說其影響力較小，故目前在模式中暫不處理河流與地下水之交互作用。

5.3 地下水平衡推估結果之綜合評估

根據模式率定結果(詳細率定過程請參考第六章)，可得含水層一及含水層二之抽水量推估值如表 5.6 所示，在將其帶回原模式模擬自民國 88 年 1 月至民國 88 年 12 月之各種水平衡量如表 5.7 所示。

茲將非穩態模擬中，經由水平衡運算所得之各項來源分述如下：

- (1) 蓄水體積變化：在模式模擬時，當前一個時間階段所算得之水頭比下一個階段高時，則發生土體釋放水量至水體中，故對水體來說視為入流量。反之，若前一個時段較後一個時段水頭低時則發生土體吸水現象，即由水體出流至土體中。如表 5.7 中土體儲水為負，代表流出土體的水量大於流入土體的水量，在自然界中表示消耗土體的含水量。

- (2) 水平淨流:為水平方向的淨流量，其為水平流入量與水平流出量的差值，在沿海地區也包括了海水的補助。正號代表流入控制體積，負號代表流出。
- (3) 抽水量：由模式中某一點取出或加入之水量，即為實際情況的水井，可為抽水井或補注井，但在目前模式中只有抽水井，故均為出流量，由表 5.7 可知水井淨流量均為負值，而且由於抽水量資料均以鄉鎮為單位，故抽水量視為均勻分佈於鄉鎮內。由表中可知含水層一及含水層二之抽水量約每年 8.75 億噸，其中第一層之抽水量為 6.6 億噸，第二層為 2.1 噸，抽水量比以往之研究稍低，此與採用模擬年份之降雨量有關。
- (4) 入滲：在模式表層格點加入水量，即模擬實際狀況的地表入滲，所以為入流量；同樣由於入滲資料以鄉鎮為單位，故入滲量亦均勻分佈於鄉鎮內。由下頁各表可知地表補注均為正值。
- (5) 滲漏:為控制體積與下邊界的交換量，正號代表下邊界補助到控制體積為流入，負號代表控制體積流出到下邊界。

表 5.6 濁水溪沖積扇非穩態模擬抽水推估

(百萬立方公尺/年)

分區	含水層一	含水層二	總和
1	13.19	9.41	22.60
2	315.48	19.70	335.18
3	23.26	16.33	39.60
4	15.88	16.29	32.18
5	38.65	8.42	47.07
6	44.93	7.41	52.33
7	95.64	24.88	120.52
8	29.36	23.24	52.62
9	6.64	5.78	12.40
10	20.53	19.59	40.13
11	25.59	17.12	42.72
12	21.96	19.28	41.23
13	9.86	16.10	25.96
14	21.05	19.09	40.14
Total	682.06	222.65	904.17

表 5.7 水平衡量分析表

(單位:立方公尺)

分區	抽水量	蓄水體積變化	水平淨流	滲漏	入滲
1	-2.26E+07	2.54E+05	4.07E+06	4.48E+01	1.88E+07
2	-3.35E+08	4.46E+07	1.94E+07	2.57E+02	3.60E+08
3	-3.96E+07	-4.08E+06	3.85E+05	4.20E+01	3.51E+07
4	-3.22E+07	3.45E+06	4.45E+06	-1.27E+02	3.12E+07
5	-4.71E+07	-3.03E+07	4.98E+04	-5.74E+05	1.73E+07
6	-5.23E+07	2.99E+07	5.65E+05	-1.60E+03	8.17E+07
7	-1.21E+07	-6.56E+07	2.59E+06	1.49E+03	5.23E+07
8	-5.26E+07	1.61E+06	2.25E+05	-1.55E+05	5.42E+07
9	-1.24E+07	1.18E+07	7.86E+06	-2.90E+06	1.93E+07
10	-4.01E+07	5.48E+05	2.09E+06	1.60E+03	3.86E+07
11	-4.27E+07	2.76E+06	3.67E+07	-5.61E+02	8.74E+06
12	-4.12E+07	1.25E+06	2.89E+06	-9.49E+05	4.05E+07
13	-2.60E+07	5.90E+06	4.31E+06	-2.37E+06	2.99E+07
14	-4.01E+07	7.99E+05	3.24E+06	-9.48E+03	3.77E+07

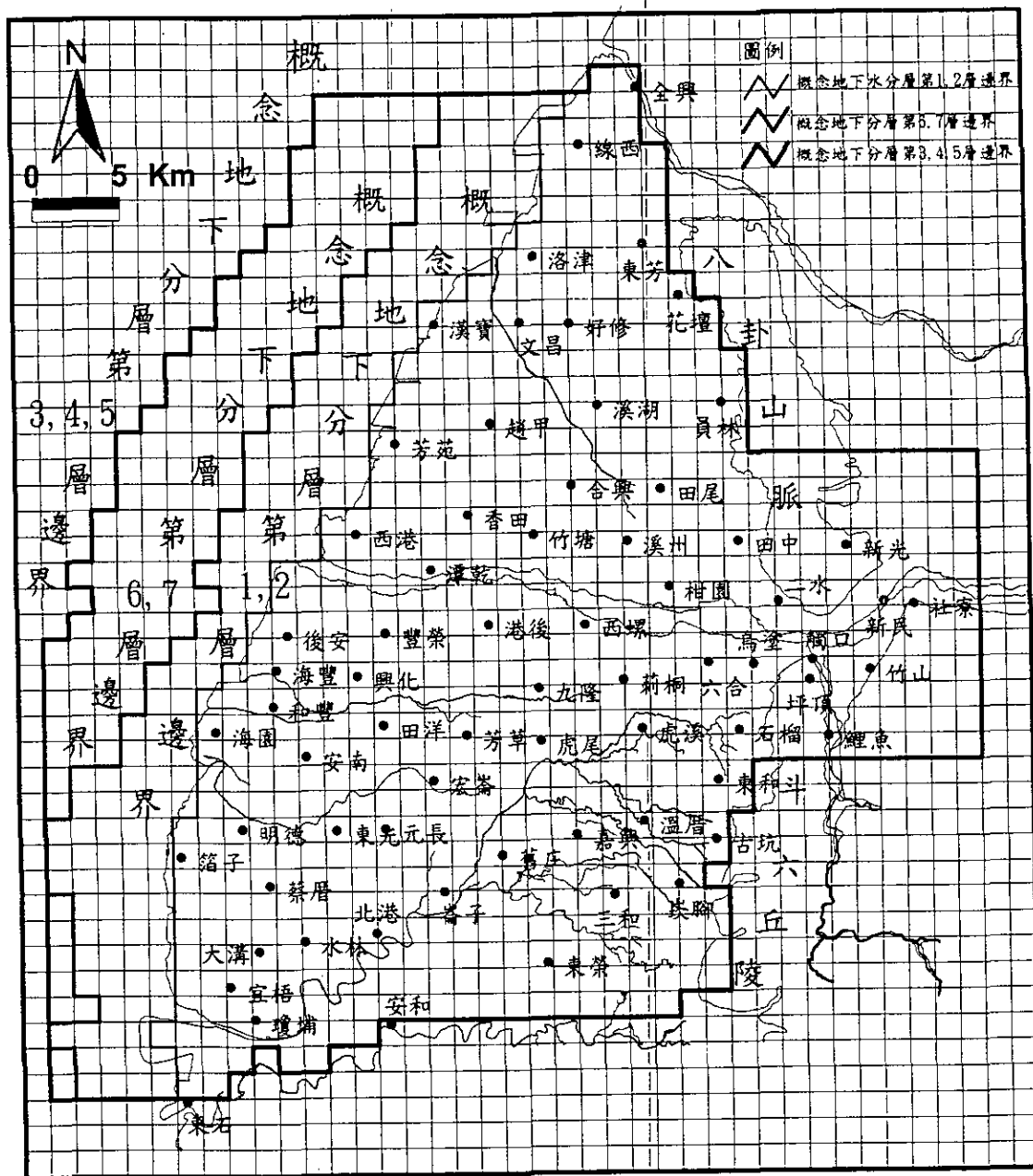


圖5.1 數值模擬邊界格網圖

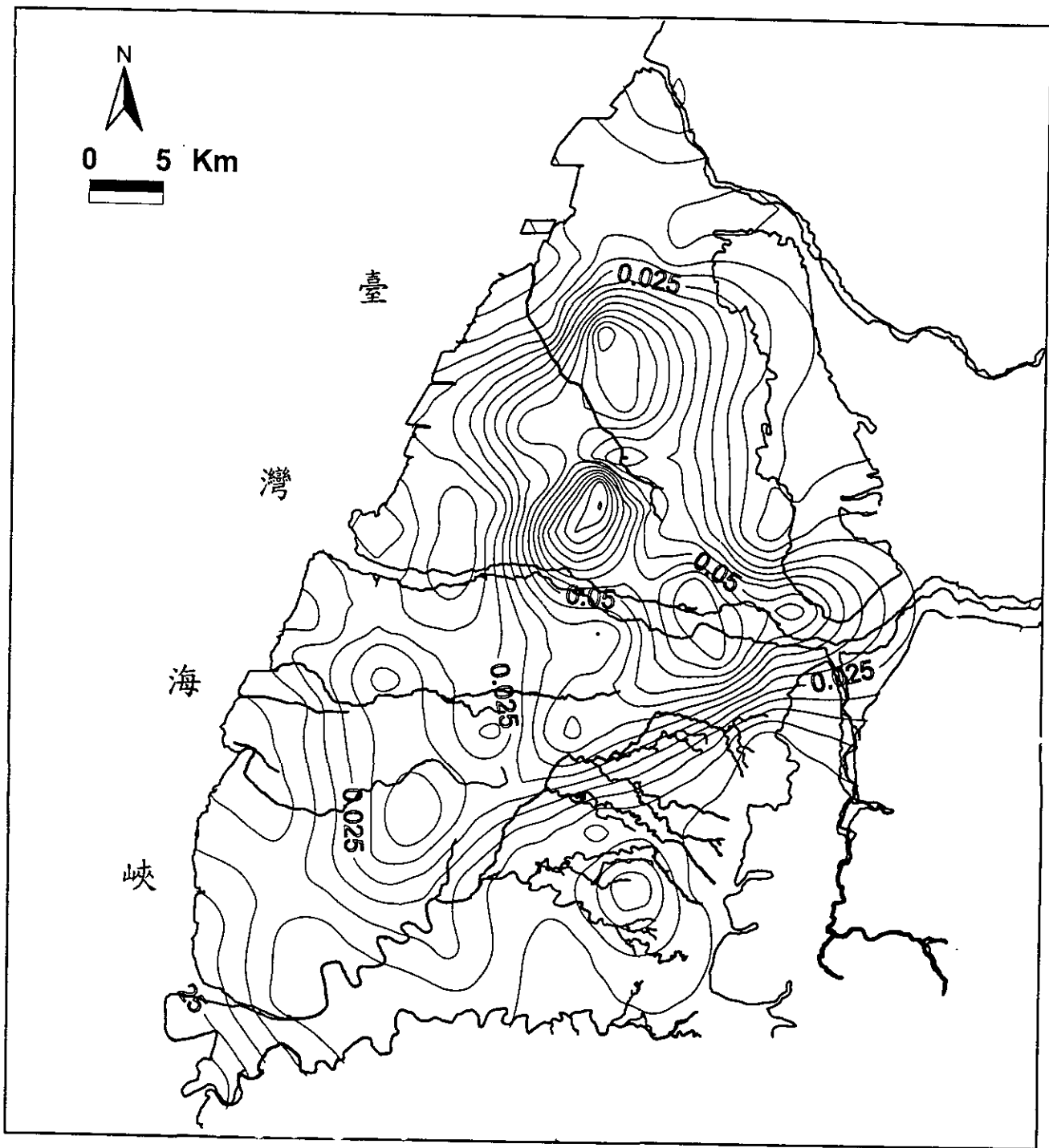


圖5.2 含水層1透水係數等值圖(m/min)

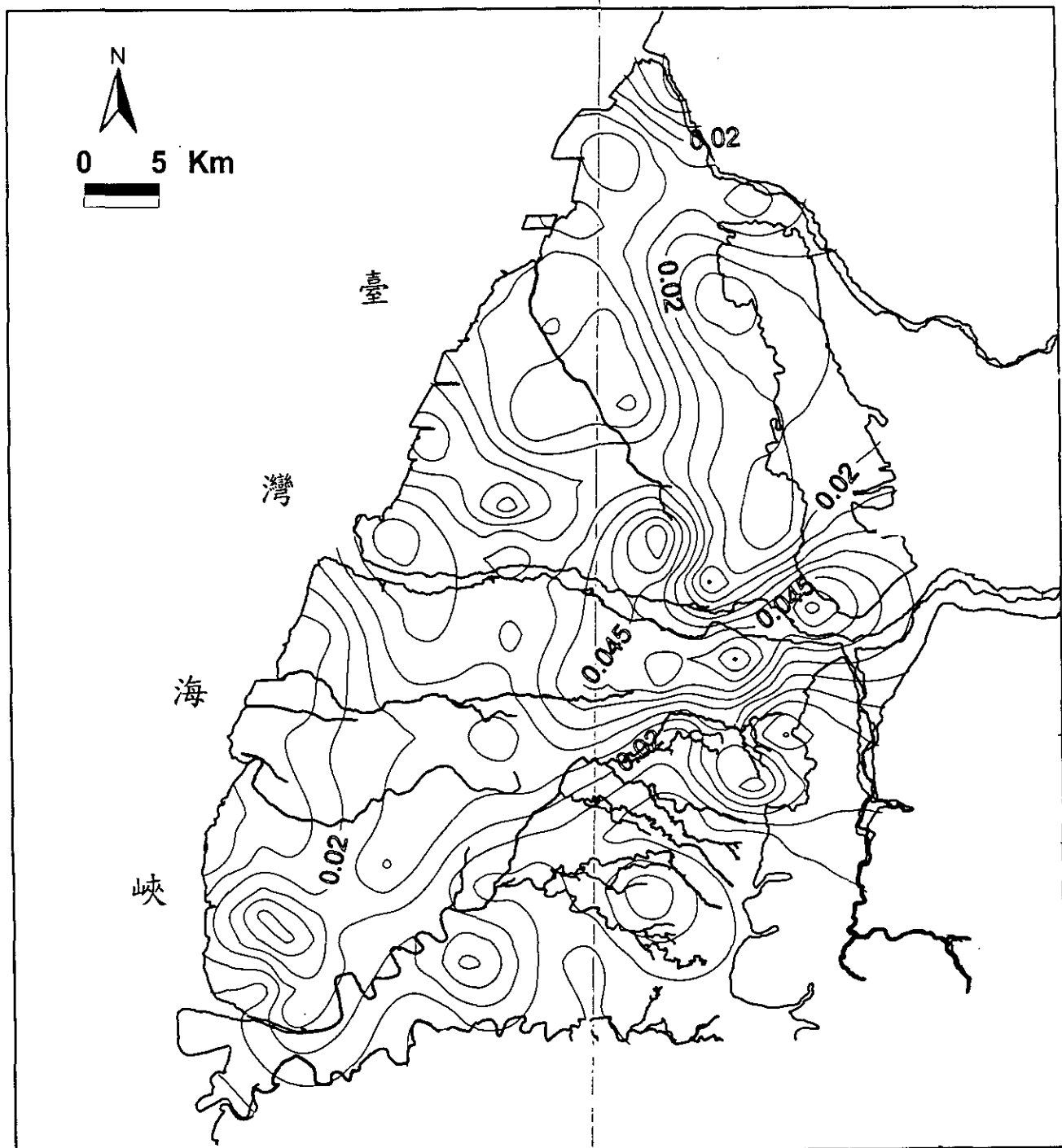


圖5.3 含水層2透水係數等值圖(m/min)

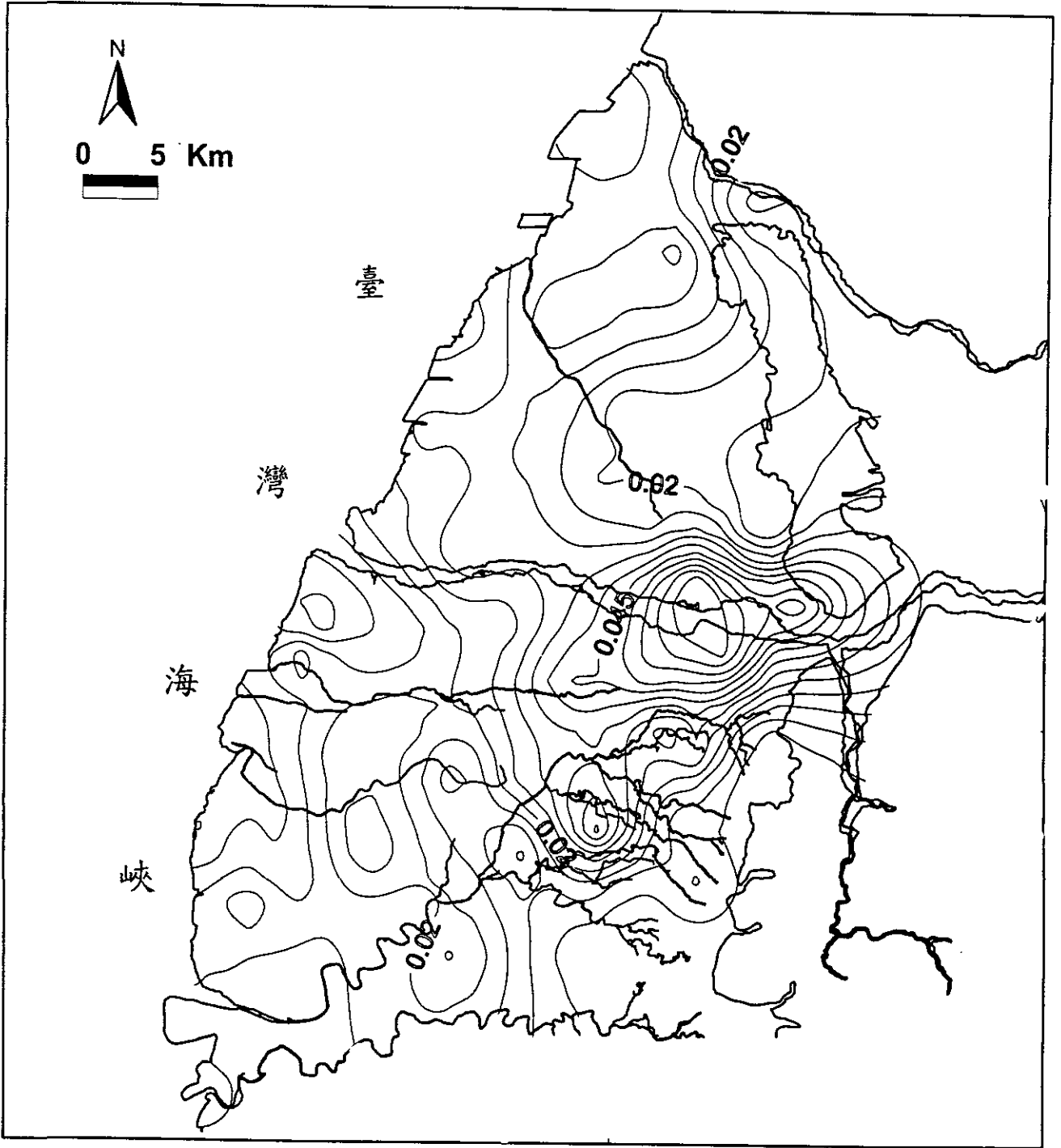


圖5.4 含水層3透水係數等值圖(m/min)

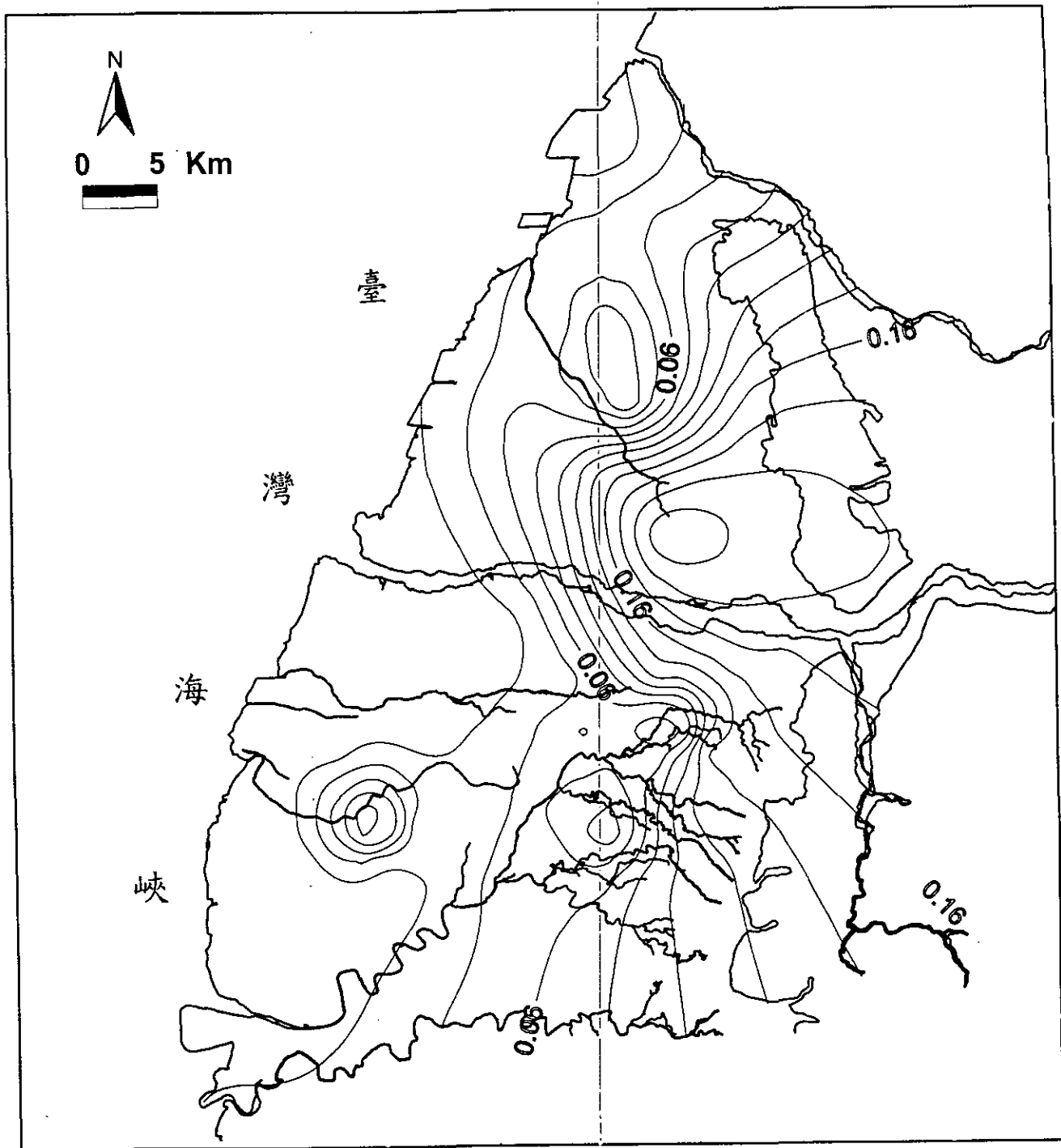


圖5.5 含水層1儲水係數等值圖

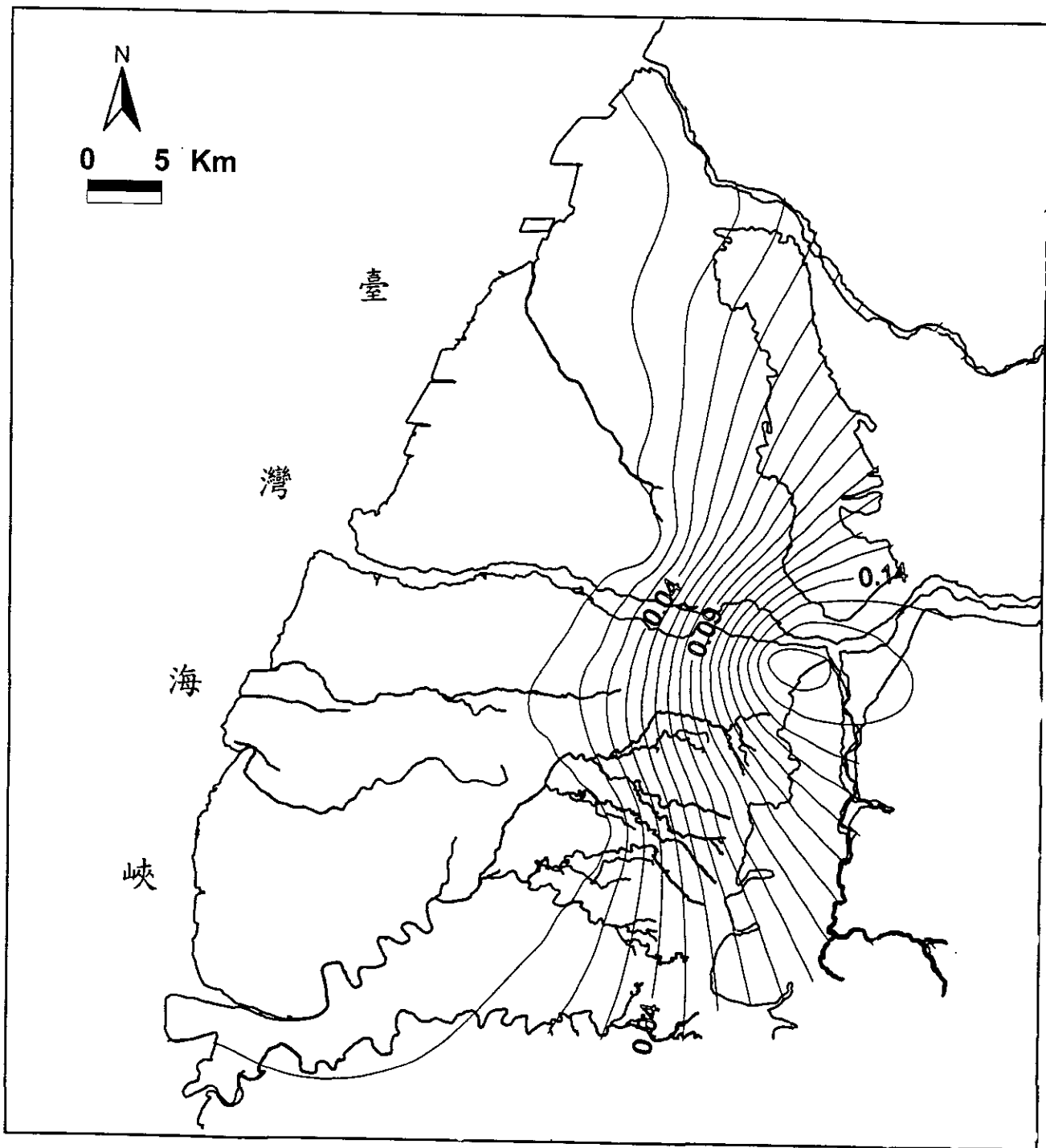


圖5.6 含水層2儲水係數等值圖

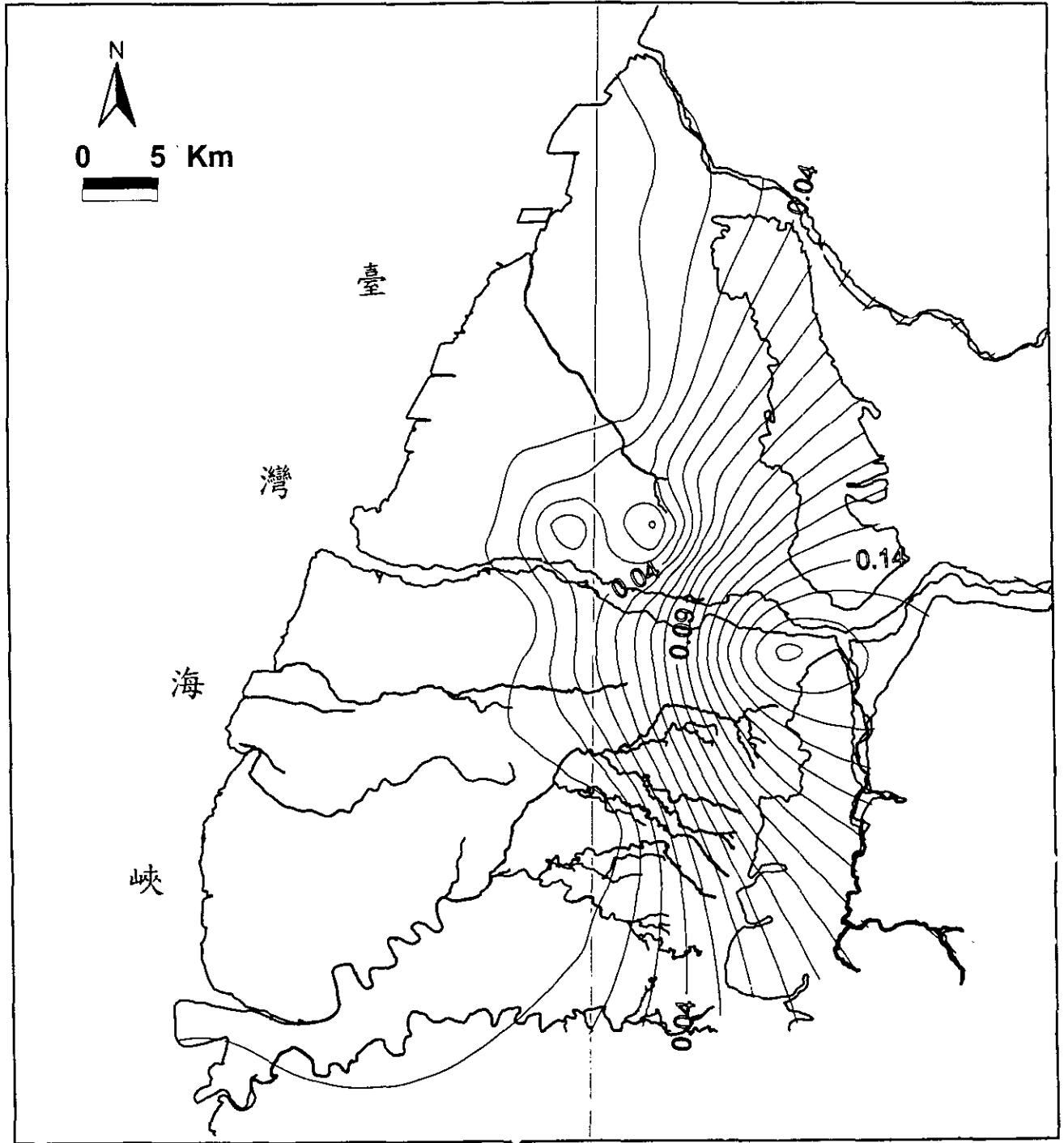


圖5.7 含水層3儲水係數等值圖

第六章 水文地質參數之空間結構分析

影響地下水流動最重要的水文地質參數如透水係數(Hydraulic Conductivity)及儲水係數(Storage Coefficients)，等在空間上的分佈形態對地下水流動有重要且直接的影響，本章在探討不同的參數分區或所對應之最佳參數推估之可信度(共變異矩陣)變化情形，以分析在以降低模擬誤差(模擬與觀測水頭誤差平方和)及提高參數估計可信度(共變異矩陣行列式值)為前提下，水文地質參數較合適的分區情形。本研究針對濁水溪沖積扇，建立數值模式，進一步以UCODE參數優選模式，針對不同的分區型態，優選其對應之參數值及其共變異矩陣，最後在綜合評估此共變異矩陣及對應之模擬誤差，建議較佳的分區型態。

6.1 分析流程

本章之研究流程如圖 6.1 所示，其步驟說明如下：

(1) 模式資料初步建立

此步驟為將收集的地下水位及各參數資料根據水文地質架構，內插給定各初始地下水位值及參數初始值等，其詳細過程如前第五章所述。

(2) 地下水位資料收集

本研究收集濁水溪沖積扇觀測站網之建置後至民國 88 年 12 月的水位資料，此項水位資料可供步驟(4)及步驟(7)UCOLD參數優選的觀測水位。

(3) 抽水量分區

於進行UCODE參數優選時，因參數維度的考量，本研究於參數優選模式中必須對所優選的抽水量分區。將第一含水層分為 14 區，第二含水層同第一含水層的分區方法，亦分為 14 區。如圖 6.2 及所示。

(4) UCODE 參數優選各分區抽水量

本研究採用美國地質調查所(U. S. G. S)所發展的UCODE程式進

行地下水參數優選。

(5)抽水量人工率定

以步驟(7)進行參數優選所得之抽水為基礎量，再加以人工率定可得其初步推估值。

(6)地質參數分區

在本研究中，待優選的地質參數為水力傳導係數(Hydraulic Conductivity, K 值)，本研究，將進行多組不同的地質參數分區。

(7)UCODE 參數優選各分區地質參數

以 UCODE 來優選步驟(6)所設計的地質參數分區。

(8)由共變異矩陣及最小誤差平方求得最佳地質參數分區

在 UCODE 優選的過程中，會同時產生參數的共變異矩陣及水位的最小誤差平方，本研究依據每一種設計的地質參數分區的共變異矩陣行列式值及最小誤差平方來評定最佳的地質參數分區。

6.2 UCODE 模式

UCODE 乃是 IGWMC 及 U.S.G.S.所發展，並由 Eileen P. Poeter 及 Mary C. Hill 所撰寫地下水參數檢定之逆向模式。

UCODE 主要有下列特點：

1. 可與任何地下水模式結合
2. 操作正向模式的輸入檔，並讀取正向模式的輸出檔。
3. 以加權最小目標函數比較觀測值與模擬值，並可加入分析者對被優選參數之優先(Prior)值假設。
4. 使用修正高斯-牛頓法，優選加權最小目標函數。
5. 被檢定之參數值說明詳細。
6. 計算及輸出統計資料：
 - a.檢查不適合之資料或確認參數不能被檢定出之可能性。
 - b.計算被檢定之參數值。
 - c.計算模式展現實際情況之準確性。
 - d.量化模式模擬值之不確定性。

以上第一點為 UCODE 之最大特點。UCODE 模式分為兩大部分：

1.MRDRIVE(Multiple Regression Driverr)

為以 Fortran90 語法撰寫及編譯之執行檔，其運算效率高，為本模式數值運算部分之核心。

2.UCODE(Universal inverse CODE)

以 Perl 語法撰寫，由於 Perl 語言對於文字處理能力十分強大，可針對應用模式(如 MODFLOW、FEMWATER)之輸出檔進行轉換，再提供為 MRDRIVE 之輸入檔；而 MRDRIVE 迴歸之結果，亦由 UCODE 進行轉換，提供給應用模式。UCODE 模式其計算流程如下圖所示。

6.2.1 線性模式架構

不論任何的迴歸步驟，都需要先假設模式架構，在線性迴歸時，可將模式假設成參數的線性函數，如下式：

$$Y_i = X_{i1}\beta_1 + X_{i2}\beta_2 + \dots + X_{ip}\beta_p + \varepsilon_i \quad (6.2-1)$$

式中 Y_i : 在 i 處的實際觀測值

p : 參數的個數

β : 待定參數值

ε_i : 在 i 處的實際觀測值與模式預測值之差

$$\text{而 } X_{ij} = X_{ij}(\xi_{i1}, \xi_{i2}, \dots, \xi_{ik}) \quad (6.2-2)$$

ξ : 獨立變數

k : 獨立變數的個數

X_{ij} 是 k 個獨立變數的函數，而不是待定參數的函數，故

$$\frac{\partial}{\partial \beta_i} (X_{i1}\beta_1 + X_{i2}\beta_2 + \dots + X_{ip}\beta_p) = X_{ij} \quad (6.2-3)$$

X 通常稱做敏感度係數(sensitivity coefficients)，或簡稱為敏感度(sensitivity)，它所代表的意義是當參數 β_j 改變一單位而造成在觀測點 i 處的計算值變化量，在本研究中，即代表了抽水量改變一單位而造成在觀測點處的計算水位變化量。接著可將(6.2-1)式寫成更簡潔的矩陣形式

$$\underline{Y} = \underline{X}\underline{\beta} + \underline{\varepsilon} \quad (6.2-4)$$

式中

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (6.2-5)$$

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \dots & \dots & X_{np} \end{bmatrix} \quad (6.2-6)$$

$$\underline{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (6.2-7)$$

$$\underline{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} \quad (6.2-8)$$

n: 觀測數目

6.2.2 最小二乘法推估

一般來說真正的參數值 $\underline{\beta}$ 和 $\underline{\varepsilon}$ 皆為未知，所以實際的模式(6.3-1)也必須視為未知，然而我們可藉由觀測來得到 \underline{Y} ，再利用觀測值與已假設的模式來求 $\underline{\beta}$ 和 $\underline{\varepsilon}$ 的推估值，如果真的能推估出 $\underline{\beta}$ 和 $\underline{\varepsilon}$ ，那麼就可以找出真實模式的誤差結構(error structure)，如此一來最後所得到的模式就能夠儘可能的近似真實模式。

假設所有的 ε_i ($i=1,2,\dots,n$) 皆為隨機變數，而有相同的變異數 (common variance) σ^2 ，而且 ε_i 與 ε_j 之間無相關性，所以

$$\text{Var}(\underline{\varepsilon}) = \underline{I} \sigma^2 \quad (6.2-9)$$

上式中的 σ^2 可由下列各式解得

$$\begin{aligned} \text{tr}[\text{Var}(\underline{\varepsilon})] &= \text{tr}(\underline{I}) \sigma^2 \\ \Rightarrow \text{tr}[E((\underline{\varepsilon} - E(\underline{\varepsilon}))(\underline{\varepsilon} - E(\underline{\varepsilon}))^T)] &= n \sigma^2 \\ \Rightarrow E[(\underline{\varepsilon} - E(\underline{\varepsilon}))^T (\underline{\varepsilon} - E(\underline{\varepsilon}))] &= n \sigma^2 \\ \Rightarrow \sigma^2 &= E[(\underline{\varepsilon} - E(\underline{\varepsilon}))^T (\underline{\varepsilon} - E(\underline{\varepsilon}))] / n \end{aligned} \quad (6.2-10)$$

假設 $\underline{\varepsilon}$ 無偏差， $E(\underline{\varepsilon})=0$ ，所以

$$\sigma^2 = \frac{E(\underline{\varepsilon}^T \underline{\varepsilon})}{n} \quad (6.2-11)$$

至此 $\underline{\varepsilon}$ 、 σ^2 和 $\underline{\beta}$ 仍然為未知，但是若由一個近似真實的模式配合觀測值則可求得 $\underline{\varepsilon}$ ，接著可以求得 σ^2 。令 \underline{b} 為 $\underline{\beta}$ 的估計值，線性模式可寫成

$$\underline{Y} = \underline{X}\underline{b} + \underline{e} \quad (6.2-12)$$

式中 \underline{e} 為殘值(residual)，是 $\underline{\varepsilon}$ 的推估值，由(6.2-11)與(6.2-12)式，可得到 σ^2 的推估值

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{\underline{e}^T \underline{e}}{n} \quad (6.2-13)$$

任意的一組參數值都可能得到一個大於 σ^2 的 $\tilde{\sigma}^2$ 值，因為由任意一組參數值所產生的模式，並不一定能夠符合觀測資料的結果，所以在所有可能的 \underline{b} 中，最能夠使模式符合觀測值，同時得到 $\tilde{\sigma}^2$ 最小值

者，它也就能夠使誤差平方和函數 $S(\underline{b})$ 得到最小值

$$S(\underline{b}) = \underline{e}^T \underline{e} \quad (6.2-14)$$

當改變 \underline{b} 來求得 $S(\underline{b})$ 最小值而推估出 σ^2 和 $\underline{\beta}$ 的過程，就稱之為最小二乘法推求 (least-square estimation)。

現在重新考慮(6.2-9)式，它假設任兩個 ε_i 之間無相關性，所以有相同的 σ^2 。但在某些情況下 ε_i 和 ε_j 有不同的變異數 σ_i^2 和 σ_j^2 ，彼此之間甚至有關聯性，所以會有共變數 (covariance) σ_{ij} ($\sigma_{ij} \neq 0$)。在這種情形下(6.3-9)式需要寫成更一般化的形式

$$\text{Var}(\underline{\varepsilon}) = \underline{V} \sigma^2 \quad (6.2-15)$$

$\underline{V} \sigma^2$ 是一個對稱 (symmetric) 且正定 (positive define) 的變異數-共變數 (variance-covariance) 矩陣，其定義如下

$$\underline{V} \sigma^2 = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \cdots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \sigma_{n3} & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (6.2-16)$$

再定義 $\underline{V}^{-1/2}$ 為一個非奇異 (nonsingular) 對稱矩陣，將(6.2-15)式改寫如下

$$\begin{aligned} \underline{V}^{-1/2} \text{Var}(\underline{\varepsilon}) \underline{V}^{-1/2} &= \underline{V}^{-1/2} \underline{V} \underline{V}^{-1/2} \sigma^2 \\ \Rightarrow \text{Var}(\underline{V}^{-1/2} \underline{\varepsilon}) &= \underline{I} \sigma^2 \end{aligned} \quad (6.2-17)$$

在上式中 σ^2 看起來是定值，變成 $\underline{V}^{-1/2} \underline{\varepsilon}$ 的共同變異數，而且經由 $\underline{V}^{-1/2} \underline{\varepsilon}$ 轉換後的誤差彼此間又沒有相關性了。接著我們可以將(6.2-15)式，依照(6.3-11)式以後的步驟，引入最小二乘法推估，也就是用 $\underline{V}^{-1/2} \underline{\varepsilon}$ 替換 $\underline{\varepsilon}$ ，可得

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{E \left[\left(\underline{V}^{-1/2} \underline{\varepsilon} \right)^T \left(\underline{V}^{-1/2} \underline{\varepsilon} \right) \right]}{n} \\ &= \frac{E \left(\underline{\varepsilon}^T \underline{V}^{-1} \underline{\varepsilon} \right)}{n} \end{aligned} \quad (6.2-18)$$

所以

$$S(\underline{b}) = \underline{e}^T \underline{V}^{-1} \underline{e} \quad (6.2-19)$$

理論上來說用(6.3-19)式比(6.3-14)式更能表現出正確的誤差結構。以下將再假設更具一般性的 $S(\underline{b})$ 形式

$$S(\underline{b}) = \underline{e}^T \underline{\omega} \underline{e} \quad (6.2-20)$$

式中 $\underline{\omega}$ 是對稱且正定的加權(weight)矩陣來替代 \underline{V}^{-1} ，應用(6.2-20)式時， $\underline{\omega}$ 不需反應 $\underline{\varepsilon}$ 之誤差結構，完全依照研究者的想法來強調 $S(\underline{b})$ 中的任何組成單位。

6.2.3 線性模式求最佳參數

為了要推估出 $\underline{\beta}$ 和 $\underline{\varepsilon}$ ，加權誤差平方和 $S(\underline{b})$ 可寫成：

$$\begin{aligned} S(\underline{b}) &= \underline{e}^T \underline{\omega} \underline{e} \\ &= (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T \underline{\omega} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b}) \end{aligned} \quad (6.2-21)$$

因為求最小值，所以將 $S(\underline{b})$ 對 \underline{b} 中每個元素 b_j ($j=1,2,\dots,p$) 微分，而且微分值等於零

$$\begin{aligned} \frac{\partial S(\underline{b})}{\partial b_j} \Big|_{\underline{b}=\tilde{\underline{b}}} &= \frac{\partial}{\partial b_j} [(\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T \underline{\omega} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})] \Big|_{\underline{b}=\tilde{\underline{b}}} \\ &= 0, \quad j=1,2,\dots,p \end{aligned} \quad (6.2-22)$$

式中 $\Big|_{\underline{b}=\tilde{\underline{b}}}$ 表示 $\tilde{\underline{b}}$ 是能夠使 $S(\underline{b})$ 的微分值等於零的一組參數，在微分時需要注意 $\underline{\omega}$ 與 \underline{b} 是互相獨立的，所以微分式可寫成：

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial b_j} [(\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T \underline{\omega} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})] &= \left[\frac{\partial}{\partial b_j} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T \right] \underline{\omega} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b}) \\ &\quad + (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T \underline{\omega} \frac{\partial}{\partial b_j} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b}) \end{aligned} \quad (6.2-23)$$

當計算 $\frac{\partial}{\partial b_j} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T$ 時，需注意的是觀測值 \underline{Y} 與參數 \underline{b} 是獨立的，所以：

$$\frac{\partial}{\partial b_j} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T = \frac{\partial}{\partial b_j} \left\{ \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} - [X_1, X_2, \dots, X_p \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix}]^T \right\} = -X_j^T \quad (6.2-24)$$

式中

\underline{X}_j : \underline{X} 矩陣中的第 j 行向量

接著計算(6.3-23)式中等號右邊的第二項

$$\begin{aligned}(\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T \underline{\omega} \frac{\partial}{\partial b_j} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b}) &= \left[(\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T \underline{\omega} \frac{\partial}{\partial b_j} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b}) \right]^T \\ &= \left[\frac{\partial}{\partial b_j} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})^T \right] \underline{\omega} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{b})\end{aligned}\quad (6.2-25)$$

代入(6.2-23)式得

$$-2\underline{X}_j^T \underline{\omega} (\underline{Y} - \underline{X}\underline{\tilde{b}}) = 0 \quad (6.2-26)$$

或

$$\underline{X}_j^T \underline{\omega} \underline{X}\underline{\tilde{b}} = \underline{X}_j^T \underline{\omega} \underline{Y}, \quad j=1,2,\dots,p \quad (6.2-27)$$

或

$$\begin{bmatrix} \underline{X}_1^T \\ \underline{X}_2^T \\ \vdots \\ \underline{X}_p^T \end{bmatrix} \underline{\omega} \underline{X}\underline{\tilde{b}} = \begin{bmatrix} \underline{X}_1^T \\ \underline{X}_2^T \\ \vdots \\ \underline{X}_p^T \end{bmatrix} \underline{\omega} \underline{Y} \quad (6.2-28)$$

式中

$$\begin{bmatrix} \underline{X}_1^T \\ \underline{X}_2^T \\ \vdots \\ \underline{X}_p^T \end{bmatrix} = \underline{X}^T \quad (6.2-29)$$

故(6.2-28)式可寫成

$$\underline{X}^T \underline{\omega} \underline{X}\underline{\tilde{b}} = \underline{X}^T \underline{\omega} \underline{Y} \quad (6.2-30)$$

上式稱之為 normal equation, $\underline{\tilde{b}}$ 是 $\underline{\beta}$ 的推估值, 可由下式求得

$$\underline{\tilde{b}} = (\underline{X}^T \underline{\omega} \underline{X})^{-1} \underline{X}^T \underline{\omega} \underline{Y} \quad (6.2-31)$$

\underline{X} 矩陣中的各元素常會有數值大小差異太大的問題, 所以在使用的時候

計算機解矩陣時，會發生錯誤而產生誤差，為了解決這個問題，引入一個對角線(diagonal)矩陣 \underline{C} ，其定義如下

$$\text{令 } \underline{X}^T \underline{\omega X} = \underline{A}$$

$$\underline{C} = \text{diag}\{1/A_{11}^{1/2}, 1/A_{22}^{1/2}, \dots, 1/A_{pp}^{1/2}\}$$

其中 A_{ii} 是 \underline{A} 的主對角線元素，因此(6.3-31)式可轉換成

$$\underline{C}^T \underline{X}^T \underline{\omega X} \underline{C} \underline{C}^{-1} \underline{\tilde{b}} = \underline{C}^T \underline{X}^T \underline{\omega Y} \quad (6.2-32)$$

$$\Rightarrow \underline{S}^T \underline{\omega S} \underline{\tilde{a}} = \underline{S}^T \underline{\omega Y} \quad (6.2-33)$$

$$\text{式中 } \underline{S} = \underline{XC} \quad (6.2-34)$$

$$\underline{\tilde{a}} = \underline{C}^{-1} \underline{\tilde{b}} \quad (6.2-35)$$

上述轉換之功能在於將 $\underline{X}^T \underline{\omega X}$ 這個矩陣的主對角線元素都轉換為1時，仍然能夠保持此矩陣的對稱性；而經過這樣轉換後，矩陣元素之尺度差異太大得以解決，使計算機能夠算出正確的答案。

6.2.4 非線性迴歸

如果迴歸模式中的參數為非線性，但是非獨立變數 Y 為線性，那麼可以把非線性迴歸模式用下列方程式表示：

$$Y = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k; \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p) + \varepsilon \quad (6.2-36)$$

這種型式比(6.3-1)式顯得更複雜，當有 n 個觀測值時，上式可用矩陣表示之

$$\underline{Y} = \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{\beta}) + \underline{\varepsilon} \quad (6.2-37)$$

把參數 $\underline{\beta}$ 、誤差項 $\underline{\varepsilon}$ 分別用推估值 \underline{b} 、 \underline{e} 代入

$$\underline{Y} = \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}) + \underline{e} \quad (6.2-38)$$

同理線性迴歸步驟，可對加權殘值平方和目標函數求最小化來得到迴歸解

$$\begin{aligned} S(\underline{b}) &= \underline{e}^T \underline{\omega} \underline{e} \\ &= (\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}))^T \underline{\omega} (\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b})) \end{aligned} \quad (6.2-39)$$

然而，因為(6.2-38)式為非線性，所以不能像線性情況那樣直接地求解。最方便的辦法就是將(6.3-38)式線性化，再把它視為線性問題來求解；首先將 $\underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b})$ 做一階泰勒展開(Taylor expansion)，得到 $\underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b})$ 之近似式

$$\underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}) \cong \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}_0) + \underline{X}_0 (\underline{b} - \underline{b}_0) \quad (6.2-40)$$

式中

$$\underline{X}_0 = \{X_{ij}^0\} = \left\{ \left. \frac{\partial f_i}{\partial b_j} \right|_{b=b_0} \right\}_{(n \times p)} \quad (6.2-41)$$

f_i 是在第 i 個觀測位置的計算值， \underline{X}_0 是敏感度，將(6.2-38)與(6.2-40)式合併成

$$\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}_0) \cong \underline{X}_0 (\underline{b} - \underline{b}_0) + \underline{e} \quad (6.2-42)$$

如果模式為線性，則 $\underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}) = \underline{X}(\underline{\xi})\underline{b}$ ，那麼上式即為真實的；若為非線性的模式，那麼經由一階泰勒展開後得到的(6.3-42)式，就只是一個近似的模式。下圖將以一個參數作例子加以簡單地說明

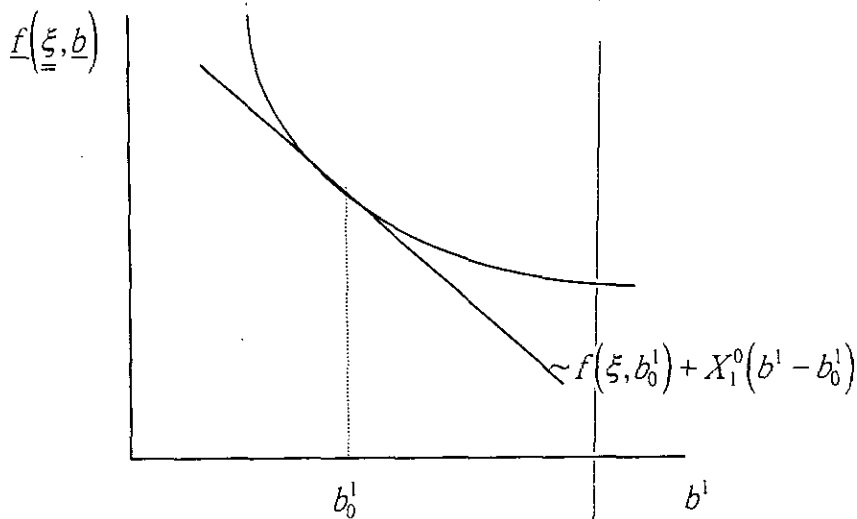


圖 6.2.2 非線性函數線性化示意圖

參數 \underline{b} 之最佳近似解，就是當目標函數 $S(\underline{b})$ 最小化時 \underline{b} 的值，而 $S(\underline{b})$ 的定義如下

$$S(\underline{b}) = \underline{e}^T \underline{\omega} \underline{e} \cong \left(\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}_0) - \underline{X}_0(\underline{b} - \underline{b}_0) \right)^T \underline{\omega} \left(\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}_0) - \underline{X}_0(\underline{b} - \underline{b}_0) \right) \quad (6.2-43)$$

上式接下來的推導過程與線性情況所介紹過的完全相同，最後可得到 normal equations

$$\underline{X}_0^T \underline{\omega} \underline{X}_0 \underline{d}_1 = \underline{X}_0^T \underline{\omega} \left(\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}_0) \right) \quad (6.2-44)$$

式中

$$\underline{d}_1 = \underline{b}_1 - \underline{b}_0 \quad (6.2-45)$$

為了要改善非線性迴歸時由於矩陣中元素尺度差異太大而造成計算機錯誤的問題，我們可以利用線性迴歸所介紹過的方法來解決尺度問題，這樣(6.2-44)式可轉換成

$$\underline{S}_0^T \underline{\omega} \underline{S}_0 \underline{\delta}_1 = \underline{S}_0^T \underline{\omega} \left(\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}_0) \right) \quad (6.2-46)$$

式中

$$\underline{S}_0 = \underline{X}_0 \underline{C}_0 \quad (6.2-47)$$

$$\underline{\delta}_1 = \underline{C}_0^{-1} \underline{d}_1 \quad (6.2-48)$$

$$\underline{C}_0 = \text{diag} \left\{ (A_{11}^0)^{-1/2}, (A_{22}^0)^{-1/2}, \dots, (A_{pp}^0)^{-1/2} \right\} \quad (6.2-49)$$

$$\underline{A}_0 = \underline{X}_0^T \underline{\omega} \underline{X}_0 \quad (6.2-50)$$

A_{ii}^0 : \underline{A}_0 的主對角線元素

因為(6.2-44)式並非真實解，所以(6.2-39)式也不能得到真正最小化，也就是說 \underline{b}_1 不是最佳參數值。因此 \underline{b}_1 使用來替換 \underline{b}_0 ，在經過同樣的步驟推求另一組參數值，如此便可將(6.2-46)式寫成疊代方程式

$$\underline{S}_r^T \omega \underline{S}_r \underline{\delta}_{r+1} = \underline{S}_r^T \omega \left(\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}_r) \right) \quad (6.2-51)$$

式中

$$\underline{S}_r = \underline{X}_r \underline{C}_r \quad (6.2-52)$$

$$\underline{\delta}_{r+1} = \underline{C}_r^{-1} \underline{d}_{r+1} = \underline{C}_r^{-1} (\underline{b}_{r+1} - \underline{b}_r) \quad (6.2-53)$$

$$\underline{C}_r = \text{diag} \left\{ (A_{11}^r)^{-1/2}, (A_{22}^r)^{-1/2}, \dots, (A_{pp}^r)^{-1/2} \right\} \quad (6.2-54)$$

$$\underline{A}_r = \underline{X}_r^T \omega \underline{X}_r \quad (6.2-55)$$

A_{ii}^r : \underline{A}_r 的主對角線元素

當疊代收斂時， $\underline{\delta}_{r+1} \rightarrow 0$ ，(6.3-42)式變成 $\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{\tilde{b}}) \cong \underline{\tilde{e}}$ ，所以 $S(\underline{\tilde{b}}) = \left(\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{\tilde{b}}) \right)^T \omega \left(\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{\tilde{b}}) \right)$ ，這樣在非線性迴歸中便得到其最小值，這種使 $S(\underline{b})$ 最小化的程序就稱之為高斯-牛頓(Gauss-Newton)法。

眾所周知，高斯-牛頓法常有無法收斂之情形，為了改善其收斂性，必須對高斯-牛頓法加以修正，成為修正型高斯-牛頓法(Modified Gauss-Newton Method)；以下就針對修正後的不同處加以說明：

1. 調幅係數 ρ (damping parameter)

用來修正(6.2-53)式

$$\underline{b}_{r+1} = \rho \underline{d}_{r+1} + \underline{b}_r \quad (6.2-56)$$

式中

$$\underline{d}_{r+1} = \underline{C}_r \underline{\delta}_{r+1} \quad (6.2-57)$$

由上式可看出 ρ 是用來調整 \underline{d}_{r+1} ，也就是調整 \underline{b}_r 的變化幅度使疊代更容易收斂，而 ρ 的使用也必須注意一些可能發生的情況；譬如 overshoot 問題，常會妨礙收斂速度或造成發散，其發生的原因是即使找到正確方向 $\rho \underline{\delta}_{r+1}$ ，但是由於 ρ 值過大而使變化幅度大於理想情況，其結果甚至使 \underline{b}_{r+1} 比 \underline{b}_r 更無法使目標函數值降低。同樣地，太小的 ρ 值會使 \underline{b}_{r+1} 與 \underline{b}_r 之間變化幅度太小而產生 undershoot 問題。

2. Marquardt parameter μ

如果 \underline{d}_{r+1} 向量幾乎平行 $S(\underline{b})$ 的等值線，也就是說 \underline{d}_{r+1} 的代入，卻只能使目標函數值 $S(\underline{b})$ 產生極小的變化。為了改變 \underline{d}_{r+1} 的方向，讓目標函數值下降的更快，在此引入 μ 來修正(6.2-51)式

$$(\underline{S}_r^T \underline{\omega} \underline{S}_r + \mu \underline{I}) \underline{\delta}_{r+1} = \underline{S}_r^T \underline{\omega} (\underline{Y} - \underline{f}(\underline{\xi}, \underline{b}_r)) \quad (6.2-58)$$

在每次疊代時 μ 必須重新計算

$$\mu_r^{new} = 1.5 \mu_r^{old} + 0.001 \quad (6.2-59)$$

直到找出合適的 μ ，使所求得之參數能夠讓目標函數值逼近最佳化的幅度最大。

6.2.5 計算參數敏感度

在大部份的地下水問題中，要得到(6.2-1)式之解析解幾乎不可能，必須依靠計算機求其數值解，Modflow 便是如此。而進一步利用非線性迴歸模式推求較複雜地下水問題時，必須求得參數變化對模擬值(水頭)之敏感度值，方法之一乃先求得數值模式之敏感度方程式，再解此敏感度方程式，以求得參數對各計算點水位之敏感度。因此，參數優選過程中必須配合地下水數值模式以求出參數之敏感度，接著再利用迴歸理論推求其最佳參數值。

UCODE 的修正型高斯-牛頓最佳化方法中，也需要敏感度係數，即(6.2-58)式中的 \underline{X}_r ，其定義如下

$$\underline{X}_r = \frac{\partial \tilde{Y}_n}{\partial b_p} \quad (6.2-60)$$

式中

\tilde{Y}_n : 在第 n 個觀測點之計算水位

b : 推估出的參數值

\underline{X}_r 可以由 Modflow 所解之差分式(6.2-7)對參數微分後所得之敏感度方程式中求得:

1. 穩態時(steady)

首先將水流模式所解的差分式寫成矩陣的形式

$$\underline{A}(0)\underline{h}(0) = -f \quad (6.2-61)$$

把上式對 b_i 微分

$$\underline{A}(0)\frac{\partial \underline{h}(0)}{\partial b_i} + \frac{\partial \underline{A}}{\partial b_i}\underline{h}(0) = -\frac{\partial f}{\partial b_i} \quad (6.2-62)$$

故

$$\frac{\partial \underline{h}}{\partial b_i} = \underline{A}^{-1}(0)\left(-\frac{\partial \underline{A}(0)}{\partial b_i}\underline{h}(0) - \frac{\partial f}{\partial b_i}\right) \quad (6.2-63)$$

2. 非穩態時(transient)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \underline{h}(n)}{\partial b_l} = & -\frac{\partial \underline{B}(n)}{\partial b_l} \underline{h}(n-1) + \underline{B}(n) \frac{\partial \underline{h}(n-1)}{\partial b_l} \\ & - \frac{\partial \underline{A}(n)}{\partial b_l} \underline{h}(n) - \frac{\partial f(n)}{\partial b_l} \end{aligned} \quad (6.2-64)$$

式中

$\frac{\partial \underline{h}(n)}{\partial b_l}$: 水位對第 l 個參數之敏感度

b_l : 第 l 個參數

\underline{h}_n : 第 n 個 time step 之計算水位

$\underline{A}(n)$: $\frac{-\underline{S}}{\Delta t(n)} + \underline{K} + \underline{P}(n)$

$f(n)$: 抽水量

$\underline{B}(n)$: $\frac{-\underline{S}}{\Delta t(n)}$

\underline{S} : 比儲水量(specific storage) \times 格網體積

$\underline{P}(n)$: 與水位相關的邊界條件之流通性

\underline{K} : 垂直與水平方向的透水因子(conductances)

將(6.3-63)或(6.3-64)式所解得之 $\frac{\partial \underline{h}}{\partial b_l}$ 也就是敏感度 \underline{X}_l 代回(6.2-58)式，如此便可行成一次推估參數之完整疊代。

6.3 模式率定與檢核

經由 UCODE 初步優選出每個時刻每個分區的抽水量後，進一步對模式作更精確的率定與檢核的工作。此為進一步以人工調整抽水量及其他參數，使模式計算水位與觀測水位更加吻合。

本模擬模式為非穩態地下水系統，因此計算所得之各時段水頭須與每月的觀測值比較。當處理非穩態率定時，對於穩態模擬時所得之 K 值、垂直滲漏係數(Vcont)、S 值，不再多作調整而只考慮入滲量和抽水量作調整。由非穩態模擬所得之水位-時間曲線須與實際觀測值相同，故在做人工檢定時，須先由空間上均勻選取觀測站，目前是一次選取十個左右觀測站，逐站做微調工作，完成之後再微調另外於空間上分佈均勻的觀測站，當對每個站作微調時，須連同處理其臨近各格點，如此反覆處理直至整個層面之水位-時間線均合理才行。由降雨量及各鄉鎮水田及旱田面積比例估算所得入滲量之給定較為詳細且有依據故均視為合理，並不多加調整，所以當水位 - 時間線與觀測不符合時，以抽水量的調整為主。

在遵循上述原則調整後，非穩態模式計算出全區域水位隨時間的變化，圖 6.4 與圖 6.6 為非穩態模擬一年後所繪出之含水層一及含水層二水位等值圖，將其與實際觀測水位(圖 6.5 及圖 6.7)相比，二者結果非常接近。接著進行地質參數的分區，將再下節地質參數分區評定中詳加說明。

6.4 共變異矩陣之計算及地質參數分區之評定

估計參數之共變異數矩陣的推導，經由前人的研究有兩種方式均得到相同結果，包括以多重線性迴歸推導[Bard, 1974]，及以非線性迴歸推導[Yeh、Yoon, 1974, 1981; Shan, 1978]，茲將以後者[Yeh、Yoon, 1981]推導方式詳述如下：

定義估計參數的共變異數矩陣如下

$$\text{Cov}(\hat{p}) \equiv E\{(p - \hat{p})(p - \hat{p})^T\} \quad (6.4.1)$$

上式中， E : 期望值

當考慮之問題為

$$\text{Min}_p J = [h - h^0]^T [h - h^0] \quad (6.4.2)$$

h^0 為 h 之真值，亦即無雜訊(no noise)之情形。令 p_e 為參數 p 之估計值，假設 J 於 $p_e = p_e^0$ 時有極小值，若對 h^0 加入一微小變動量，即 $h^* = h^0 + \varepsilon_h$ ，而 p_e^0 亦相對地變為 $p_e^0 + \varepsilon_{p_e}$ ，以泰勒級數展開得：

$$h = h^0 + \left. \frac{\partial h}{\partial p} \right|_{p=p_e^0} \cdot (p_e - p_e^0) + HOT$$

或

$$h = h^0 + J_a^{0T} (p_e - p_e^0) + HOT \quad (6.4.3)$$

忽略高次項(high order terms, HOT)，並代入式(3.3.2)中，可得到

$$\begin{aligned} J &= [h^0 + J_a^{0T} (p_e - p_e^0) - h^0 - \varepsilon_h]^T [h^0 + J_a^{0T} (p_e - p_e^0) - h^0 - \varepsilon_h] \\ &= [J_a^{0T} (p_e - p_e^0) - \varepsilon_h]^T [J_a^{0T} (p_e - p_e^0) - \varepsilon_h] \end{aligned} \quad (6.4.4)$$

導入求最小值之必要條件，可得

$$\frac{\partial J}{\partial p_e} = 2J_a^{0T} J_a^0 (p_e^* - p_e^0) - 2J_a^{0T} \varepsilon_h = 0 \quad (6.4.5)$$

假設 $[J_a^{0T} J_a^0]^{-1}$ 存在，則

$$p_e^* - p_e^0 = [J_a^{0T} J_a^0]^{-1} J_a^{0T} \varepsilon_h$$

或

$$\varepsilon_{p_e} = [J_a^{0T} J_a^0]^{-1} J_a^{0T} \varepsilon_h \quad (6.4.6)$$

設 ε_h 為 iid(independent and identically distributed)分佈，且具有下列性質時：

$$E(\varepsilon_h) = 0$$

$$Var(\varepsilon_h) = \sigma_h^2$$

則

$$Cov(p_e^*) = \sigma_h^2 [J_a^{0T} J_a^0]^{-1} \quad (6.4.7)$$

其中

$$\sigma_h^2 = \frac{J(p_e^*)}{M-L}$$

J_a^0 即為式(3.2.2)所示之Jacobian矩陣

M 為觀測值的數量， L 則為參數之維度。因此估計參數之共變異數矩陣之近似式可寫如下式：

$$Cov(p_e^*) = \frac{J(p_e^*)}{M-L} [J_a^{0T} J_a^0]^{-1} \quad (6.4.8)$$

本研究初步先針對濁水溪主要含水層（第二含水層）之導水係數（Transmissivity）進行評估。並依不同的考量及地文因子條件，設計了3種分區的方案，分述如下：

方案一：依扇頂、扇央、扇尾、等水位線（水流方向）及自由水層與拘限水層分界為主要考量，分為14區，如圖6.8所示。

方案二：依扇頂、扇央、扇尾及海岸地區分為4大區，在以濁水溪作為南北分區，分為11區，如圖6.9所示。

方案三：依k值劃分了11區，如圖6.10所示。

設計好之分區分別給予合理的起始參數值後，經由UCODE優選出最佳的參值，並可得到共變異矩陣之行列式值及最小水頭誤差平方。其結果如表6.1所示。

表 6.1 各方案之結果比較

	分區數目	共變異矩陣之行列式值	水頭誤差平方和
方案一	15	9.53E+12	41355
方案二	11	5.90E+11	43229
方案三	11	1.41E+14	41361

綜合比較其各種分區之結果，以方案二的分區形式，其共變異矩陣之行列式值及水頭誤差平方和最小，因此評定為最佳參數分區之設

計。圖 11、圖 12、圖 13 分別為 UCODE 所優選出各分區組合最佳參
數值 (k 值)。

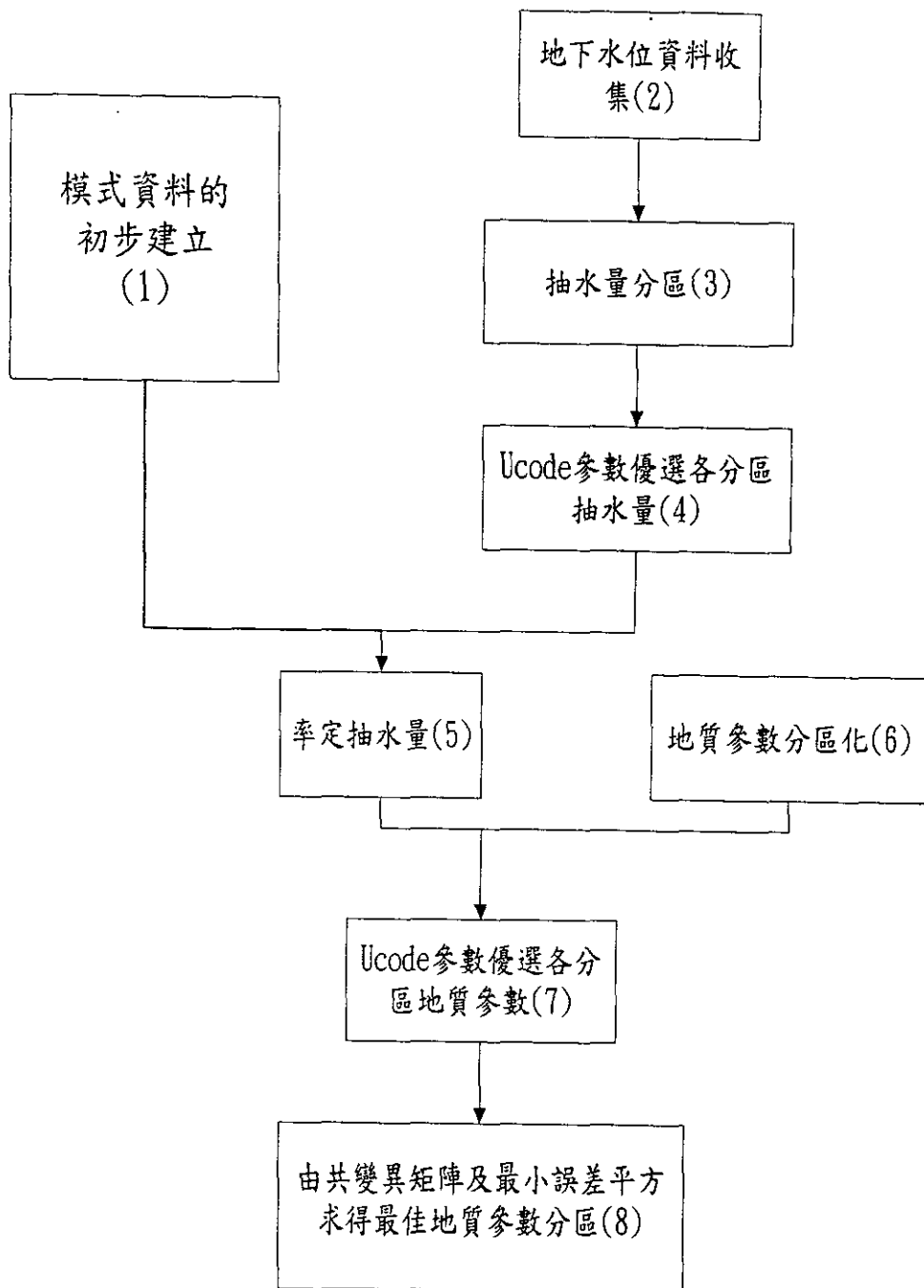


圖 6.1 數值模擬分析流程圖

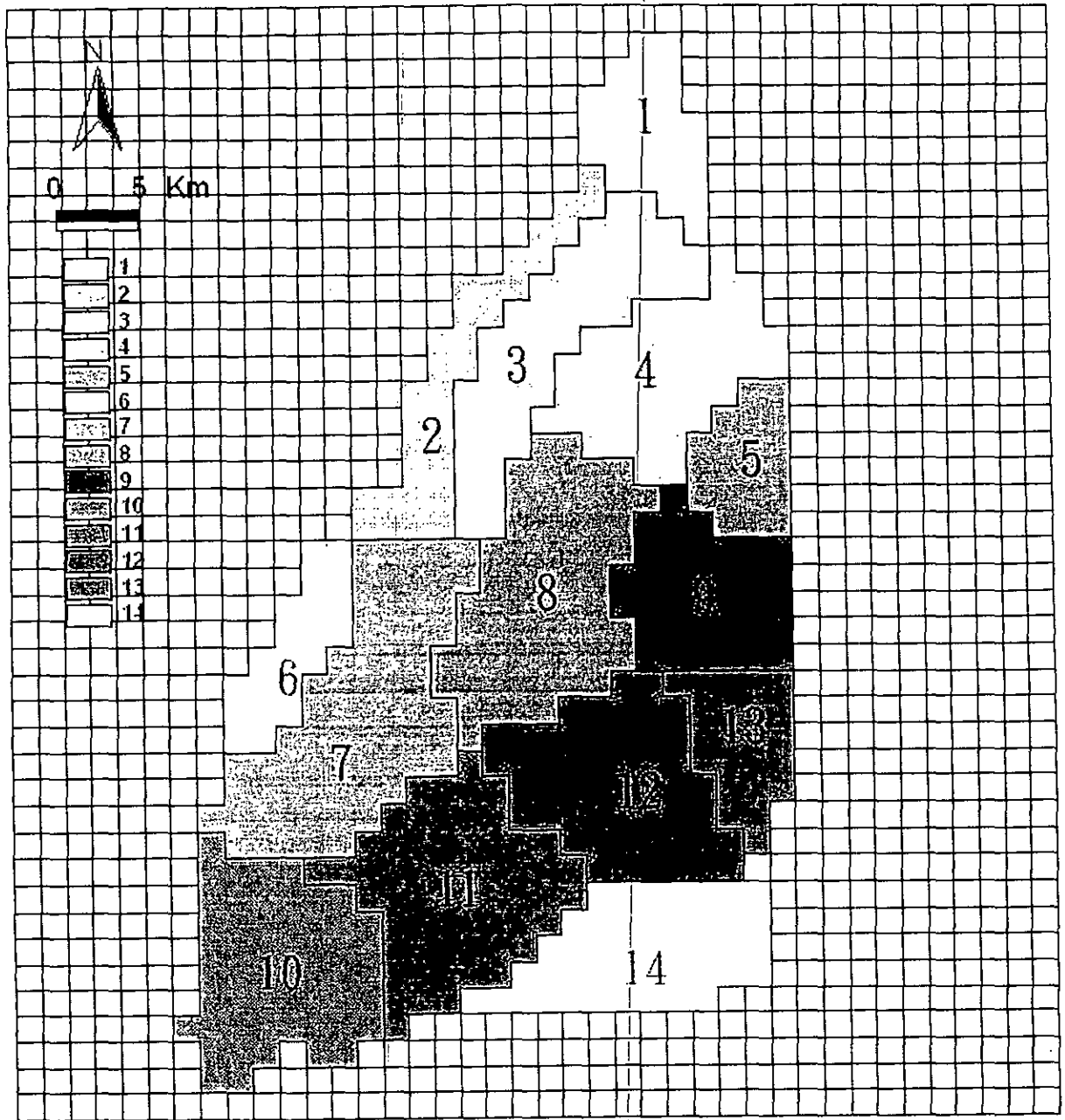


圖 6.2 抽水量分區圖

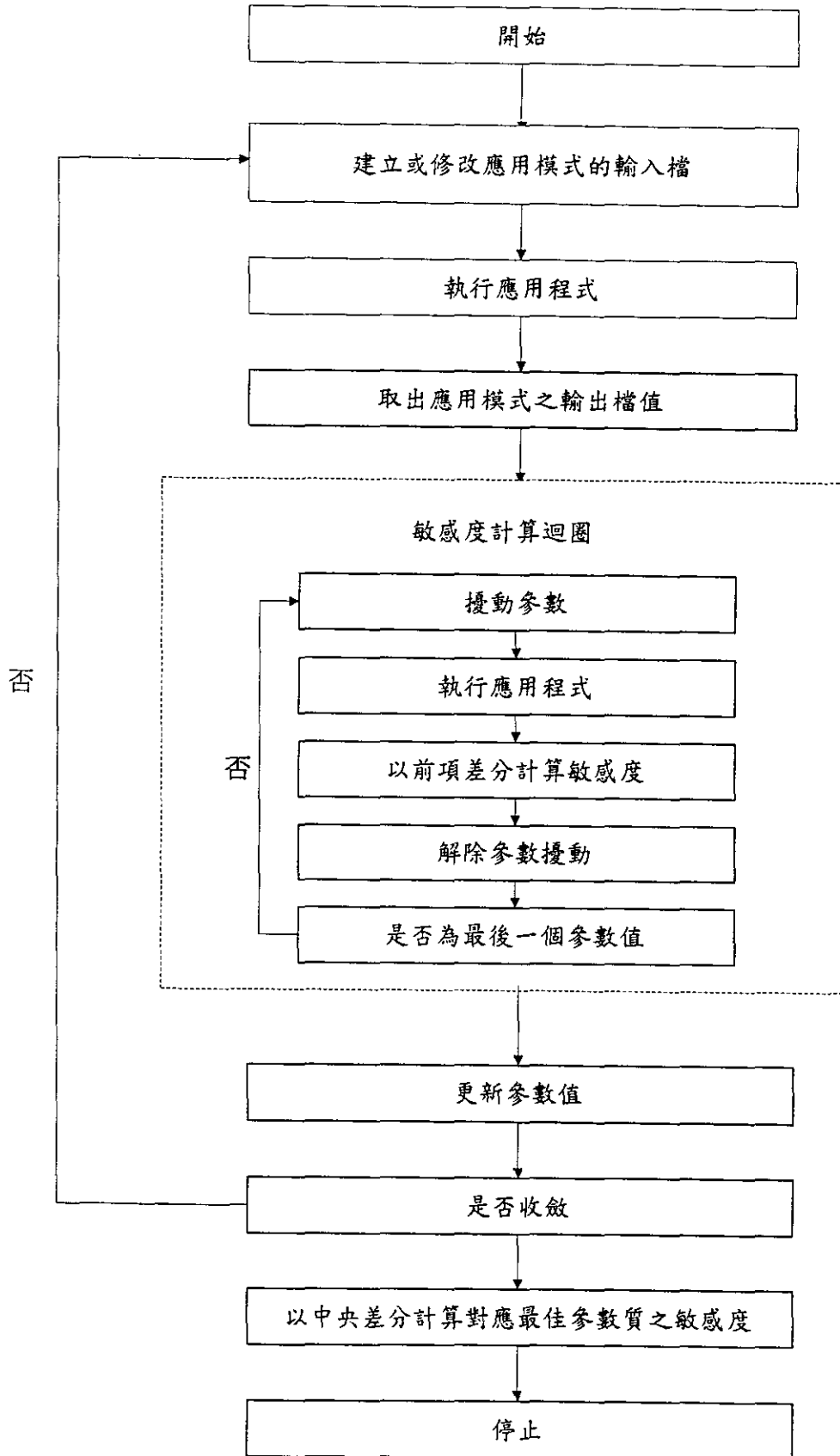


圖 6.3 UCODE 檢定參數之流程圖

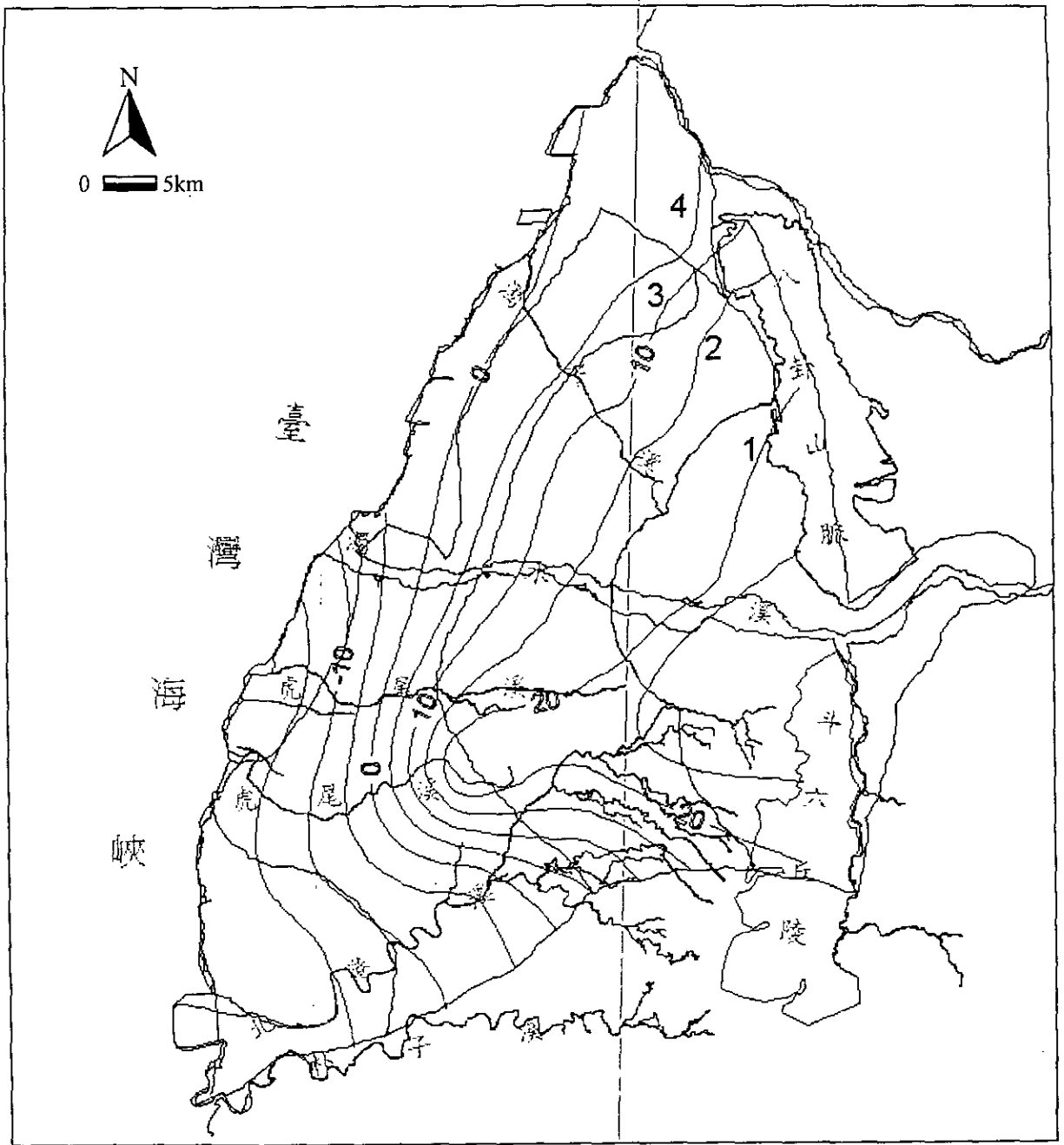


圖 6.4 非穩態模擬含水層—水位等值圖

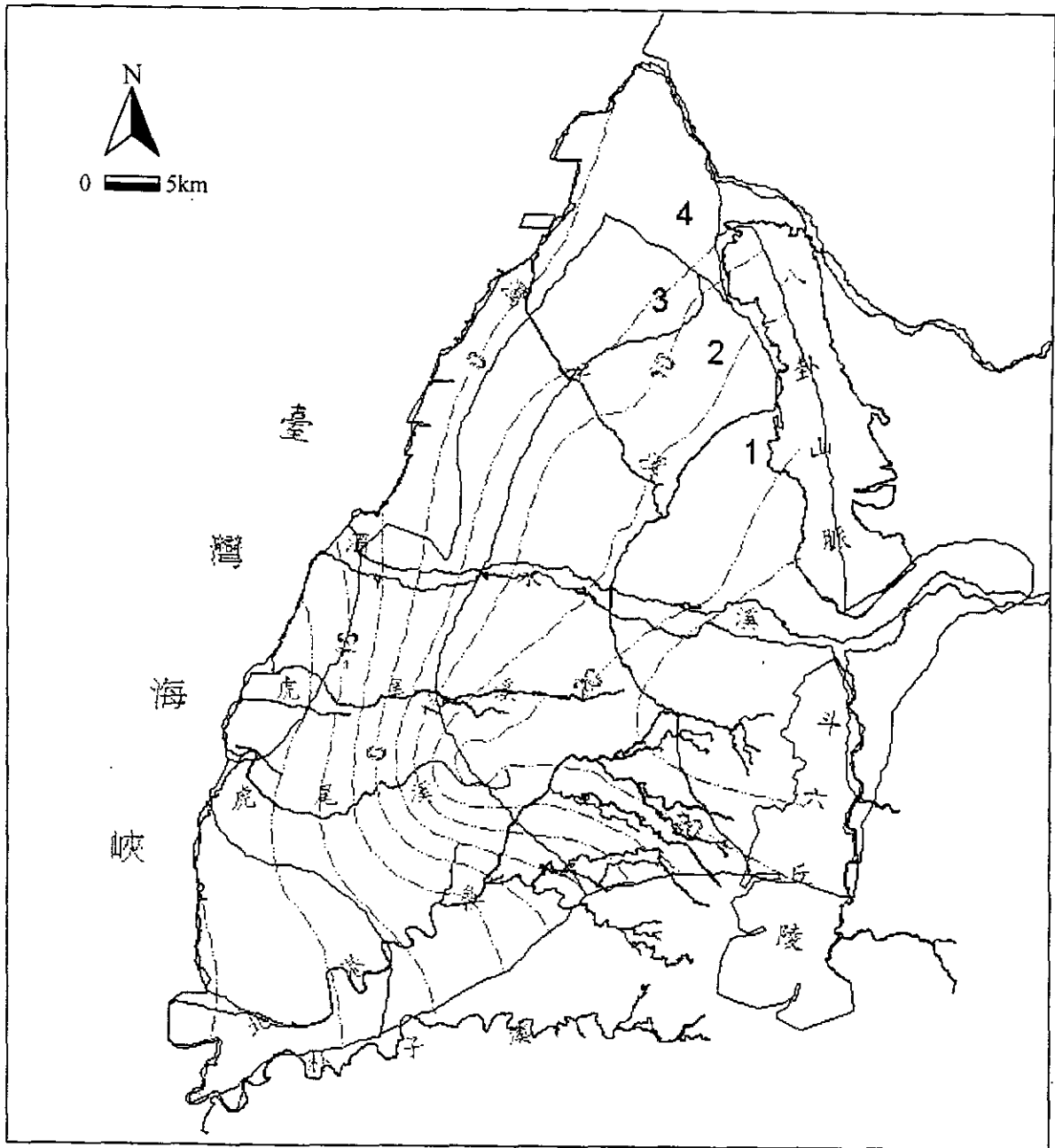


圖 6.5 民國 88 年 12 月含水層一觀測水位等值圖

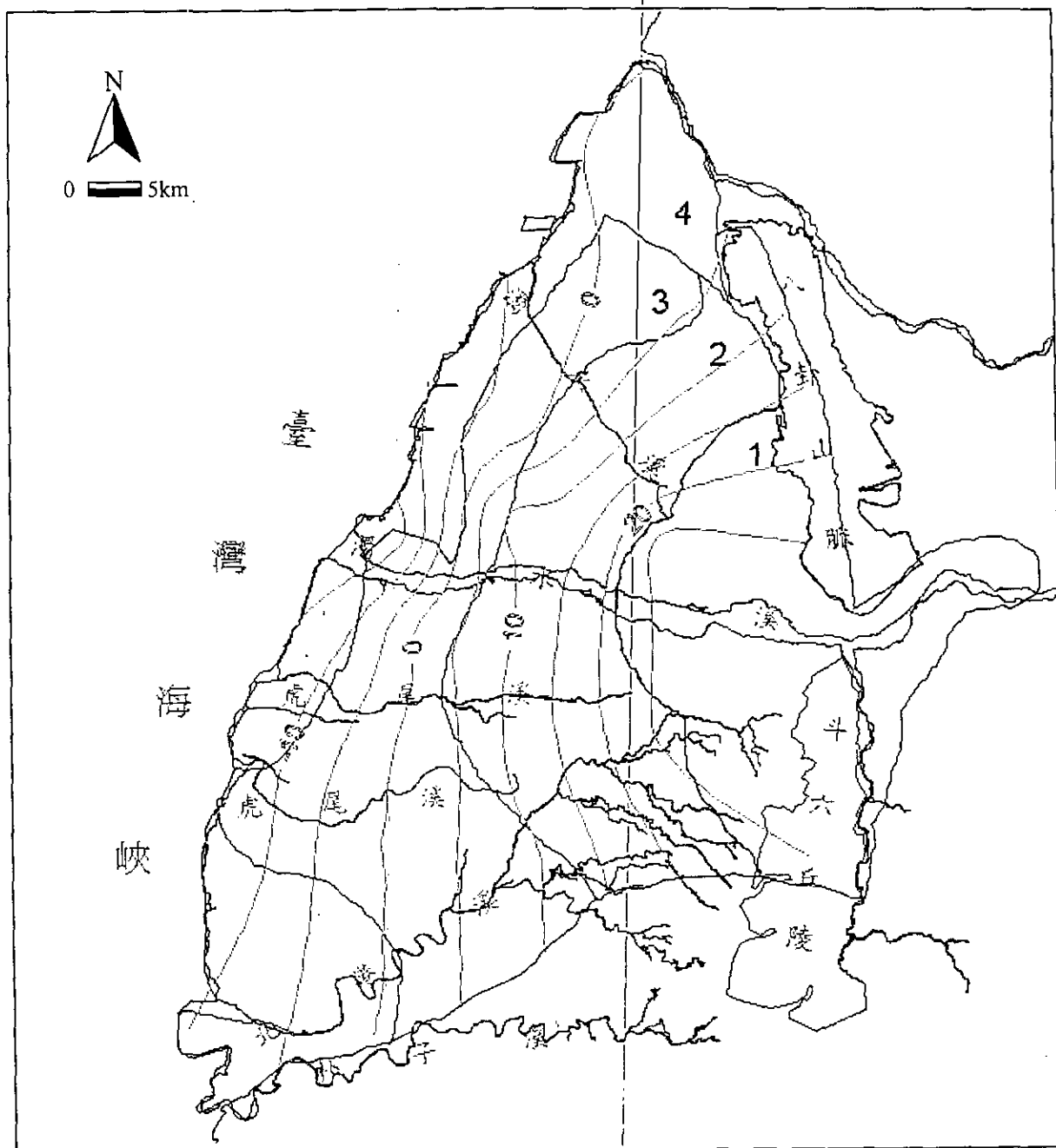


圖 6.6 非穩態模擬含水層二水位等值圖

第七章 地下水管制區相關因素探討

7.1 說明

根據水利法第四十七條之一「省(市)主管機關為防止某一地區地下水之超抽所引起之海水入侵或地盤沈陷，得劃定地下水管制區，限制或禁止地下水之開發。其管制辦法，由省(市)主管機關報經中央主管機關核准後公告實施」，以往台灣省政府曾於八十五年五月十三日發布台灣省地下水管制辦法，其劃定之標準如下：

1. 有下列二項者為正分，每項給十分。
 - (1) 地盤高於標高十五公尺以上。
 - (2) 地層非礫石層與黏土層之互層。
2. 有下列四項者為負分，每項扣十分。
 - (1) 地盤已下陷地區。
 - (2) 地下水位已低於海平面。
 - (3) 近十八年來，年最低水位下降三公尺以上。
 - (4) 地面標高在五公尺以下。

各區域加總分之總分為零以下者列入管制區，本辦法目前已列為中央之地下水管制辦法。

7.2 管制考量因素

原辦法之考量因素不外乎地下水水位、地盤下陷、地表高程及地層結構四類，本研究除保留此四類因子外，將增加水質的考量，並對各因素的評估原則進行修正，茲分述如下：

1. 地下水水位

原辦法與此相關之條文為

- 地下水水位已低於海平面
- 近十八年來，年最低水位下降三公尺以上。

滿足上述兩項將各扣十分，前者本研究仍建議保留，惟後者將修正為分兩級評估：

- 四年中每年最低月平均水位每年持續下降，且下降總量超過 2 公尺者。
- 當年最低月平均水位，低於四年內各年之最低月平均水位最大值 3 公尺以上者。

滿足前項者為較嚴重情形。

2. 地盤下陷

原辦法相關條文為

- 地盤已下陷地區

若滿足上項條件亦為扣分，本研究建議修正為

- 近 5 年內，累積下陷量達 30 公分以上者為一級。
- 近 5 年內，累積下陷量達 20 公分以上者為另一級。

3. 水質

以往未曾考量此項因素，惟近年來由於觀測站網的建置，已逐漸

建立水質資料，本研究建議分為

- 該地區地下水電導度大於 5000 者
- 該地區地下水電導度大於 1000 者

4. 地表高程

原辦法相關條文為

- 地盤高於標高十五公尺以上者，加十分。
- 地面標高在五公尺以下扣十分。

本研究建議修正為

- 地面標高在五公尺以下者為不利因素

5. 地層結構

原辦法相關條文為

- 地層非礫石層與黏土層之互層

滿足上述條件為加十分，本研究建議修正為

- 地層為含水層與阻水層互層，且最大阻水層厚度大於 15 公尺以上者。(含水層地層定義為砂或礫石層，阻水層為黏土或粉土)

上述條件為不利因素

若以預防地下水超抽地層下陷以及海水入侵等地下水管理的目的而言，前三項因素乃直接反應系統的情況，在此稱之為“狀態因子”，後兩項則為系統的特質，惟特質與系統的反應並不必然一致，如較易發生地層下陷的地層結構並不一定會發生地層下陷，仍必需視水位的變化而定，因此本研究後兩項因素定義為“潛勢因子”，綜合上述說明，本研究對地下水管制區之劃定將以“狀態因子為主，潛勢因子為輔。

7.3 評分標準及方式

本研究評分方式以狀態因素為主，考量之每一狀態因素可分為三個等級，分別為重度、中度及輕度三級，重度為4分，中度為2分，輕度為0分；另外本研究又以潛勢因素為輔，如為較不利開發之地區者加一分，相反者不加分，每項狀態因子單獨考慮，茲說明如下：

1. 地下水水位：

重度：該地下水水位低於海平面或四年內（85、86、87、88年）每年最低月平均水位每年持續下降，且下降總量超過2公尺者為4分

中度：當年（88年）最低月平均水位，低於四年內（85、86、87、88年）各年之最低月平均水位最大值3公尺以上者為2分。

輕度：不屬於以上兩者為0分。

2. 地層下陷量：

重度：近5年內，累積下陷量達30公分以上者或是一年下陷量達到10公分者為4分。

中度：近5年內，累積下陷量達20公分以上者為2分。

輕度：不屬於以上兩者為0分。

3. 水質(電導度)：

重度：該地區電導度大於5000為準為4分。

中度：該地區電導度大於1000為準為2分。

輕度：不屬於以上兩者為0分。

以下就針對兩個潛勢因素評分標準做說明：

1. 地層地質情況

考慮地層性質是否屬含水層與阻水層互層，且最大阻水層厚度大

於 15 公尺以上者，如是者，其為較不利開發之地區加 1 分，相反者不加分。

2. 地表高程是否為低於五公尺

該地區地表高程是否低於五公尺者，如是者，其為較不利開發之地區加 1 分，相反者不加分。

本研究評分方式，乃將各地區分別根據上述三個狀態因素再配合兩個潛勢因素做評分，最後可得各該區對應至各狀態因素之評分，若有任一個為 3 分或 3 分以上者為列入管制之區域。

下列各表為每個狀態因素評分之各種可能情形。

表 7.1 地下水水位評分表

地下水水位 潛勢因素	重度(4分)				中度(2分)				輕度(0分)			
	地層地質	(0)	(0)	(1)	(1)	(0)	(0)	(1)	(1)	(0)	(0)	(1)
地表高程	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)
評分	4	5	5	6	2	3	3	4	0	1	1	2
是否列入管制	是	是	是	是	否	是	是	是	否	否	否	否

表 7.2 地層下陷量評分表

地表下陷量 潛勢因素	重度(4分)				中度(2分)				輕度(0分)			
	地層地質	(0)	(0)	(1)	(1)	(0)	(0)	(1)	(1)	(0)	(0)	(1)
地表高程	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)
評分	4	5	5	6	2	3	3	4	0	1	1	2
是否列入管制	是	是	是	是	否	是	是	是	否	否	否	否

註：地質情況為較不利開發者加 1 分，相反者為不加分

地表高程屬於不利開發者加 1 分，相反者為不加分

表 7.3 水質(電導度)評分表

地下水水質 潛勢因素	重度(4分)		中度(2分)		輕度(0分)	
	地表高程	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)
評分	4	5	2	3	0	1
是否列入管制	是	是	否	是	否	否

註:地表高程屬於不利開發者加1分,相反者為不加分

以上各個因素評分,若3分或3分以上者為達到管制標準,若該地區有一項(含)以上達到管制標準,則該區列為管制區。

7.4 配合措施及分析流程

7.4.1 配合措施

本研究建議對於地水位觀測及評分計算同一處若有分層水位可以地下水水位變化最大者為準。

1. 資料觀測點之選擇(包括水位、水質),可由中央主管單位參照現有觀測點選定之。
2. 在實施前,管制區域公告之頻率,應詳加考量。
3. 區域觀測資料如地層下陷、水質等之觀測頻率需配合管制區公告頻率。
4. 對於管制區域空間上的劃分,本研究初步建議先採用行政區域的界線來劃分,如鄉鎮界,若該鄉鎮有70%以上者列為管制區,則全鄉鎮均列入管制;假使該鄉鎮部分列為管制區,則再參考天然地形(如河川,山脈等)或是人為結構物(如主要幹道,橋樑等)劃出界線。

7.4.2 分析流程

本章節之分析流程如圖 7.1 所示，其步驟說明如下

(1) 資料收集

本研究收集濁水溪沖積扇地下水觀測站自 85 年至 88 年之水位資料，此項水位資料為地下水位參數評分的來源；地層下陷量資料取自民國八十七年工業技術研究院能源與資源研究所之雲林縣沿海地區—地層下陷區水準點檢測報告書，以及民國八十七年台灣省水利處之彰化沿海地區地盤下陷檢測計畫報告，以供地層下陷量評分之用；水質資料參考民國 81 年、82 年、83 年、85 年、86 年中興大學環工所—濁水溪沖積扇地下水基本水質試驗分析之研究計畫報告書，作為電導度評分的依據；地層地質資料來源取自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附錄，以提供評分標準；地表高程資料取自台灣地區 2 度分帶座標系統(UTM)之數位高程資料(DTM)，為地表高程參數評分的依據，因為內政部尚未訂定海岸地區範圍，故本研究暫以五公尺為分界線。

(2) 地表高程格網評分

先將地表高程資料經內插後轉出格網資料，如此每個格網都具有一個高程的值，再利用程式判斷每個格網的分數，低於五公尺為較不利開發地區給 1 分，相反者為優不加分。

(3) 地層地質格網評分

先將每個觀測井中的阻水層資料整理，由於阻水層可分成 T1，T2，T3 三層，即有 T1，T2，T3 三個檔案，經內插後轉出格網的資料表，利用程式判斷 T1，T2，T3 同一個格網中的最大值，最大值若大於 15 公尺以上，為較不利開發之地區給 1 分，相反

- 者為優不加分。
- (4) 電導度格網內插評分
將水質資料經過內插後轉出格網的資料，再運用程式判斷每一個格網的分數，若大於 5000 為 4 分，大於 1000 為 2 分，不屬於以上兩者為 0 分。
- (5) 電導度指標管制區格網圖
將電導度因子、地表高程兩張格網評分圖依表 7.3 作評分，三分以上即列為電導度指標管制區。
- (6) 累積下陷量格網評分
地層下陷量評分需要 5 年內的下陷量資料，因此分成 83 年、84 年、85 年、86 年、87 年五個檔案分別內插後轉出格網資料，再利用程式判斷分數，若 5 年內累積下陷量達 30 公分或是一年下陷量達到 10 公分者的給予 4 分，累積下陷量達 20 公分給予 2 分，其餘的給 0 分。
- (7) 地層下陷量指標管制區格網圖
將地層下陷量和地層地質、地表高程三張格網圖依照表 7.2 來評分，三分以上即列為地層下陷量指標管制區。
- (8) 最近一年水位格網評分
本評分採用 88 年地下水位資料，經內插後轉出格網資料，若水位低於海平面的給予 4 分。
- (9) 歷年（四年）最低月平均水位格網圖產生
使用歷年最低月平均水位資料，經內插後轉出格網資料，繪製成格網圖。
- (10) 水位持續下降格網評分
利用程式判斷格網的分數，若四年最低月水位平均持續下降且

下降累積量超過 2 公尺者給予 4 分。

(11) 四年最低月平均水位評分

利用程式判斷格網的分數，若當年最低月平均水位，低於四年內各年之最低月平均水位最大值 3 公尺以上者給予 2 分。

(12) 地下水位指標管制區格網圖

將地下水位和地層地質、地表高程三張格網圖依照表 7.1 來評分，三分以上即列為地下水位指標管制區。

(13) 管制區格網整合(聯集分析)

將三項指標管制區的圖層套疊，取三項管制區所包含的區域，即是本研究所綜整的管制區。

(14) 管制區最終範圍界定

先將管制區採用行政區域的界線來劃分，如鄉鎮界，若該鄉鎮有 70% 以上者列為管制區，則全鄉鎮均列入管制；假使該鄉鎮部分列為管制區，則再參考天然地形（如河川，山脈等）或是人為結構物（如主要幹道，橋樑等）劃分界線。

7.5 濁水溪沖積扇實例分析：

本研究以濁水溪沖積扇作為實例分析對象，針對地下水位、地層下陷量和電導度三個狀態因子及地層地質、地表高程二個潛勢因子進行分析。本研究著重於格網的作法，五項因子評分方式皆是經由 SURFER 內插轉出格網資料，再運用 FORTRAN 程式判斷分數。

地表高程依照 7.3 節所敘述的評分標準，分為 1 分和 0 分，以不同顏色標示於圖 7.6，由於內政部尚未制訂海岸地區，因此本研究暫以 5 公尺標高為評分的依據，此為步驟 (2)。

地層地質依照 7.3 節所敘述的評分標準，分為 1 分及 0 分，以不同顏色標示於圖 7.5，地層地質因子考慮最大阻水層厚度大於 15 公尺以上者為較不利開發之地區，圖中黑點為地下水質觀測點，此為步驟 (3)。

電導度依照 7.3 節所敘述的評分標準，分為 4 分、2 分和 0 分，以不同顏色標示於圖 7.4，由於濁水溪沖積扇的電導度經內插後皆低於 1000，因此評分皆為 0 分，此為步驟 (4)。

圖 7.9 電導度指標則是根據表 7.3 水質 (電導度) 評分表，由於電導度因子的評分皆為 0 分，再加上地表高程因子後，即呈現 0 至 1 分的評分圖。此為步驟 (5)。

地層下陷量依照 7.3 節所敘述的評分標準，分為 4 分、2 分、0 分，以不同顏色標示於圖 7.3，地層下陷較嚴重的區域集中在芳苑鄉與大城鄉兩個鄉鎮，以及田洋東附近，此為步驟 (6)。

圖 7.8 地層下陷量指標是依據表 7.2 地層下陷量評分表繪製而成，顏色的分佈參照地下水指標的方式。此為步驟 (7)。

地下水位依照 7.3 節所敘述的評分標準，分為 4 分、2 分和 0 分，以不同的顏色標示於圖 7.2，圖中地下水位管制區域大多分佈

在沿海地區與斗六市、斗南鎮等鄉鎮市，而圖中的黑點為地下水位觀測井所在位置，此為步驟(8)、(9)、(10)、(11)。

圖 7.7 地下水位指標是根據表 7.1 地下水位評分表，繪製成 0 至 6 分的分佈圖，且以紅色系的顏色代表管制區，綠色系的顏色則代表非管制的區域，以漸層的方式標示於圖中，地下水指標顯示出沿海地區的地下水位為管制區域。此為步驟(12)。

地下水位、地層下陷量指標的圖層(圖 7.7, 圖 7.8)，是以狀態因子(地下水位，地表下陷量)，分別和二個潛勢因子(地層地質，地表標高)作套疊，電導度指標(圖 7.9)則是以電導度狀態因子和地表高程潛勢因子作套疊。

綜合三項指標的評分圖(圖 7.7, 圖 7.8, 圖 7.9)，將三張管制區圖層套疊聯集分析後得管制區，如圖 7.10。此為步驟(13)。

本研究先採用行政區域的界線來劃分，如鄉鎮界，假使該鄉鎮縣市部分列為管制區，則再參考天然地形(如河川，山脈等)或是人為結構物(如主要幹道，橋樑等)來劃分界線，管制區的界線劃分如圖 7.11 所示。此為步驟(14)。

經本研究後建議全區受管制鄉鎮計有：

伸港鄉，線西鄉，鹿港鎮，福興鄉，秀水鄉，芳苑鄉，二水鎮，鹽埔鄉，大城鄉，竹塘鄉，埤頭鄉，麥寮鄉，崙背鄉，二崙鄉，西螺鎮，台西鄉，東勢鄉，褒忠鄉，土庫鎮，虎尾鎮，斗南鎮，大埤鄉，元長鄉，四湖鄉，口湖鄉，水林鄉，北港鎮，溪口鄉，東石鄉，六腳鄉，新港鄉，計有 31 個。

部分受管制鄉鎮區域劃分：

花壇鄉：縣道 137 以西列為管制區

溪湖鎮：省道台 19 線以西列為管制區

溪州鄉：國道中山高速公路以西列為管制區

斗六市：省道台 1 丁和縣道 149 甲連成的曲線以西列為管制區。

古坑鄉：古坑鄉與斗六市的鄉鎮界和縣道 149 甲、縣道 158 甲圍成的區域。

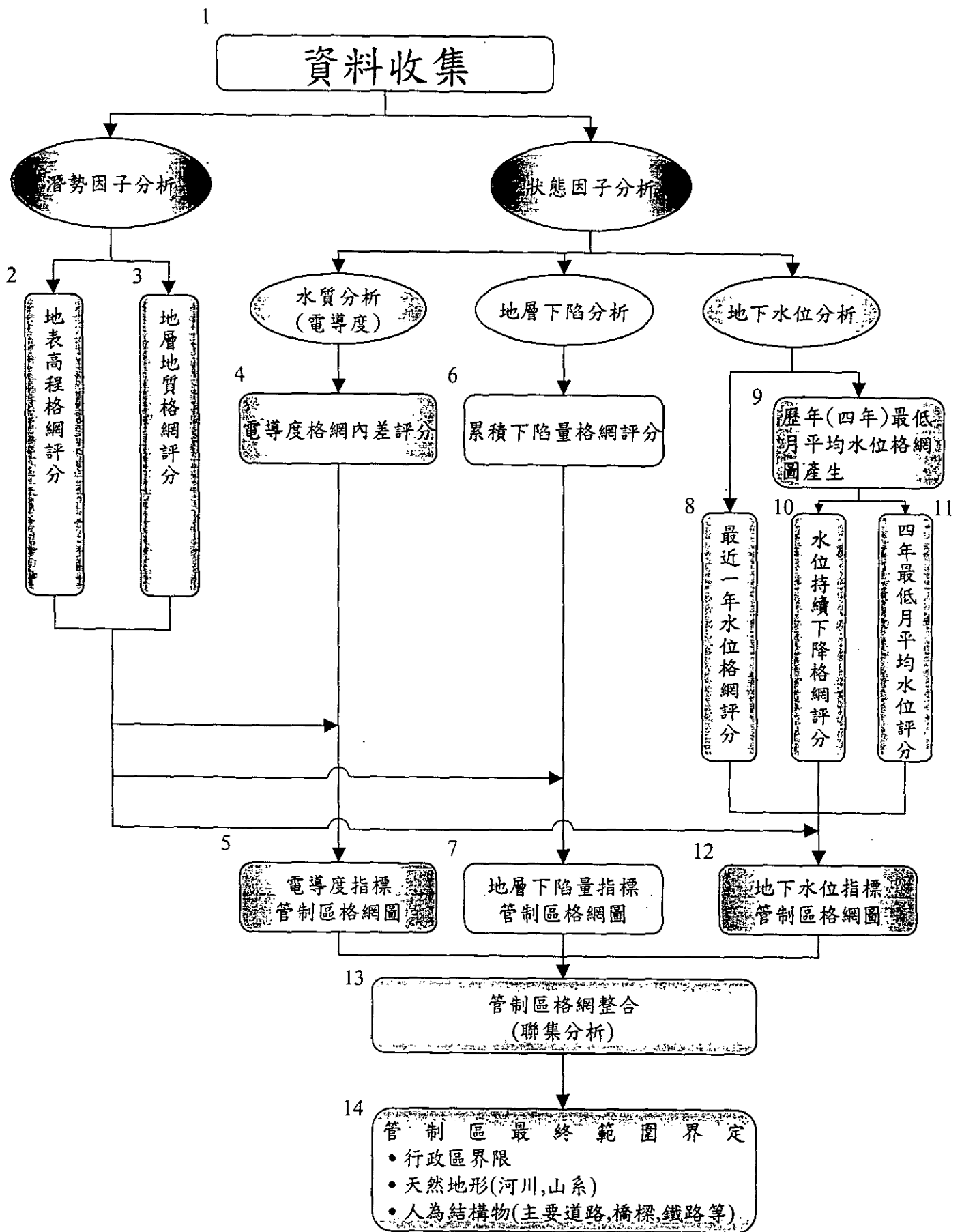


圖7.1 地下水管制區制定流程圖

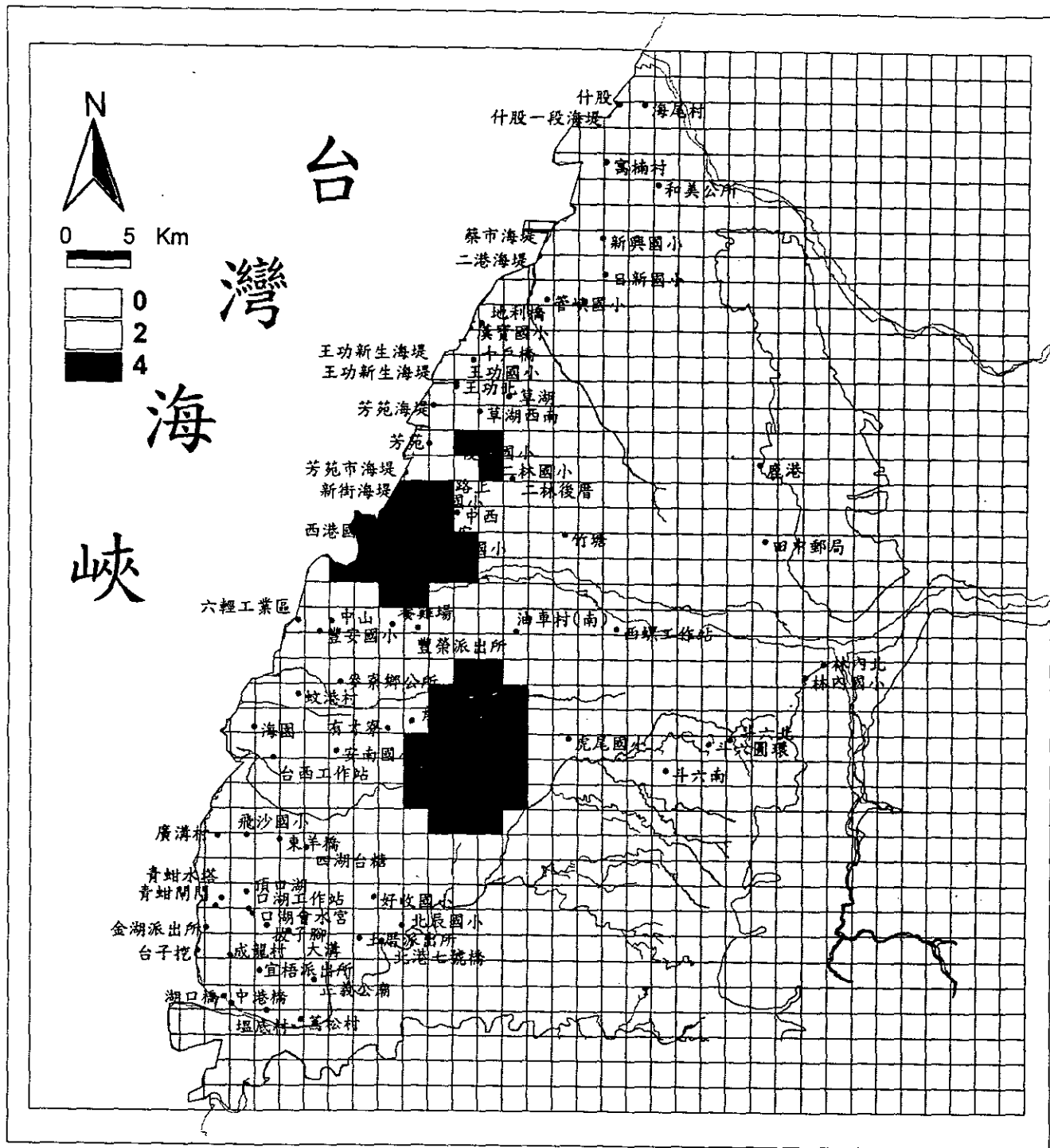


圖7.3 地層下陷量評分格網圖

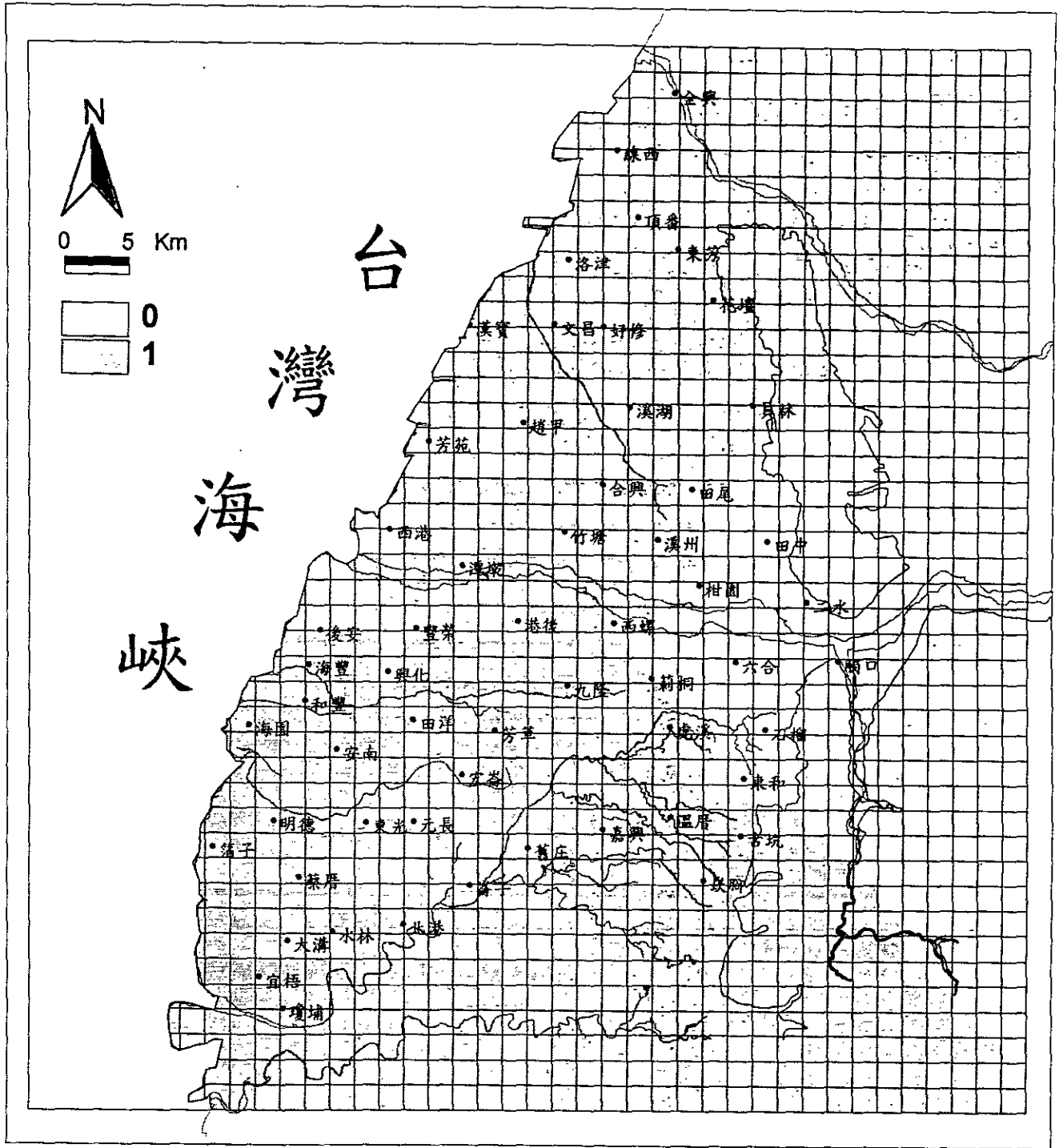


圖7.5 地層地質評分格網圖

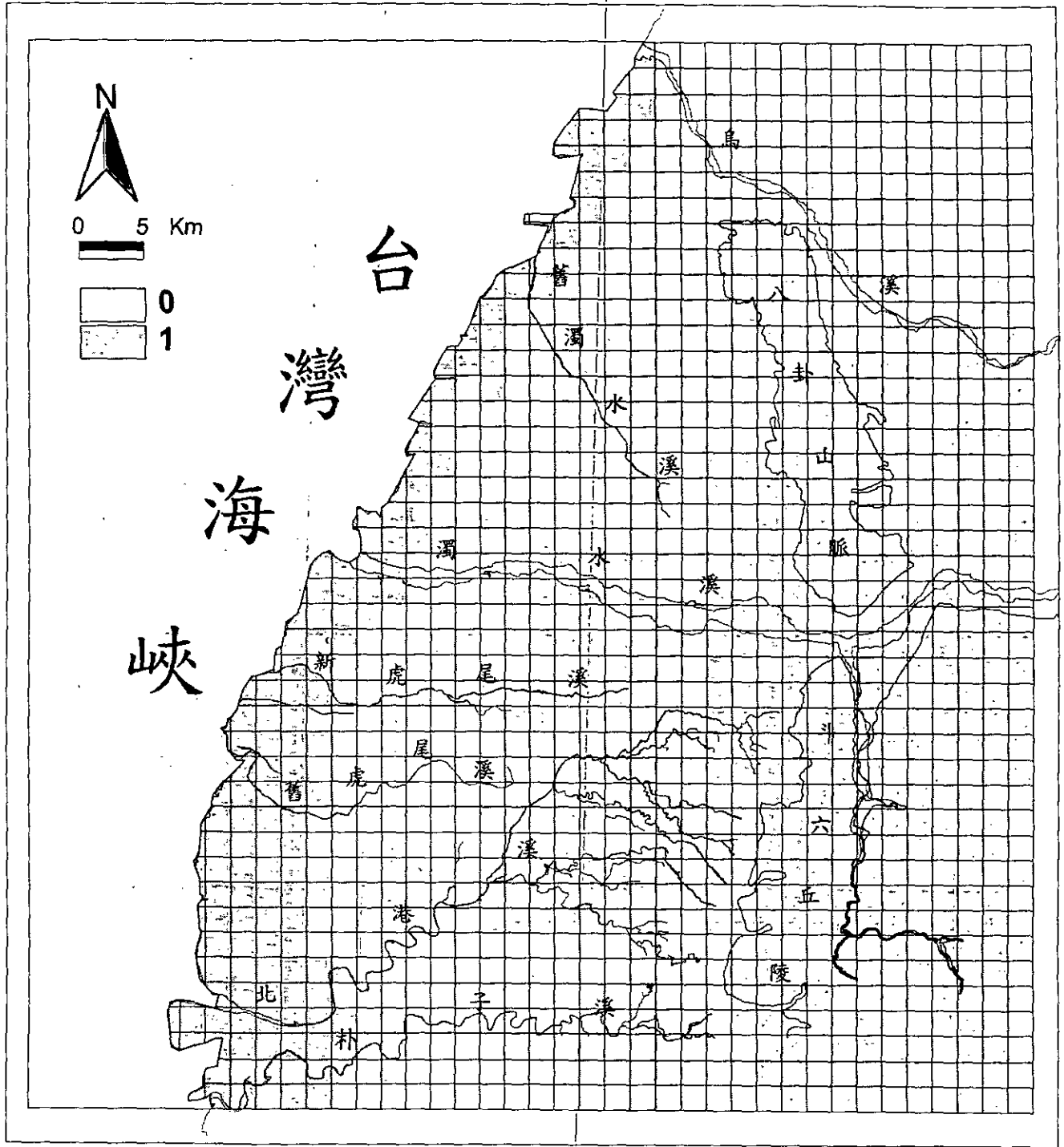


圖7.6 地表高程評分格網圖

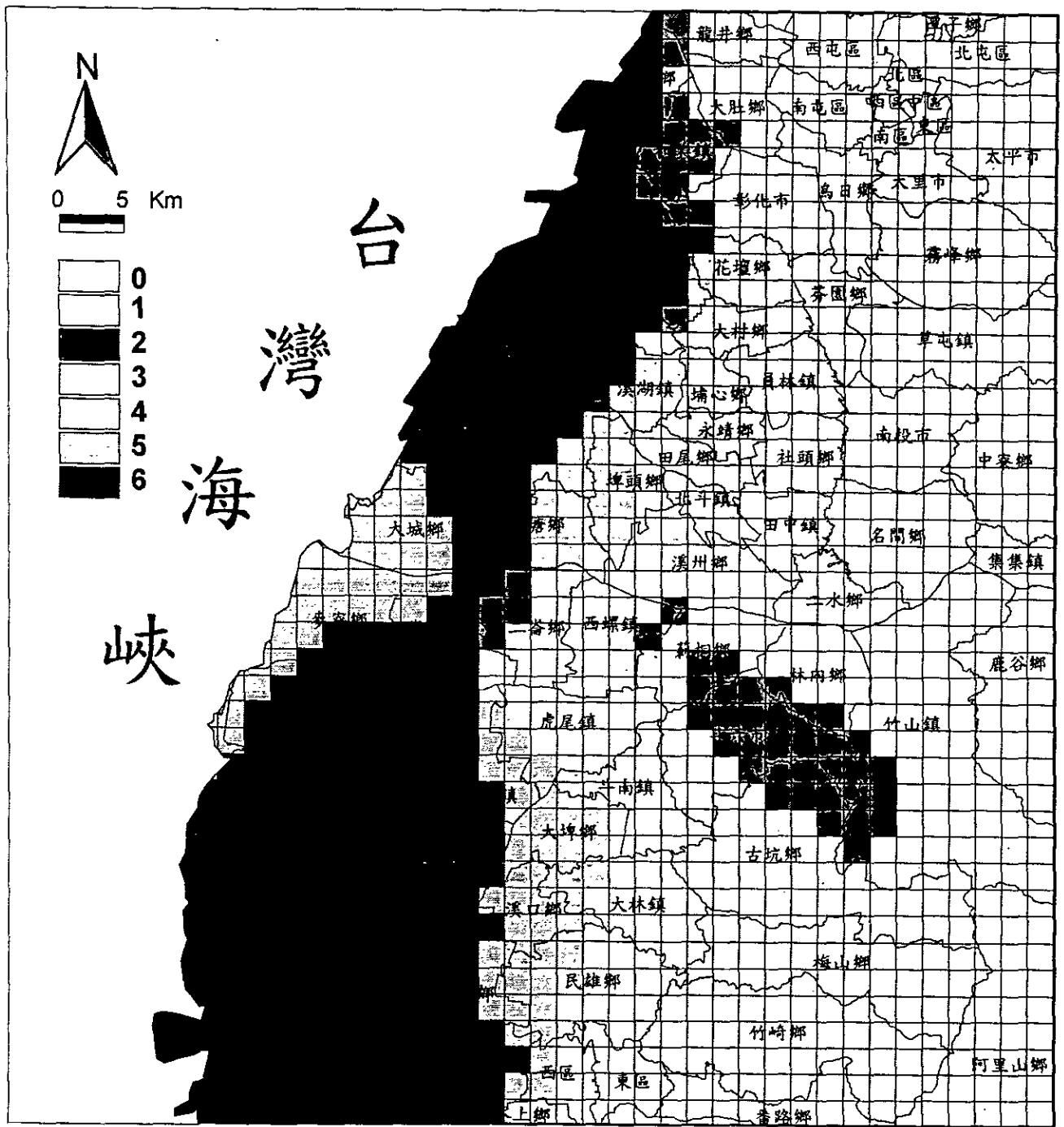


圖7.7 地下水位指標管制區格網圖

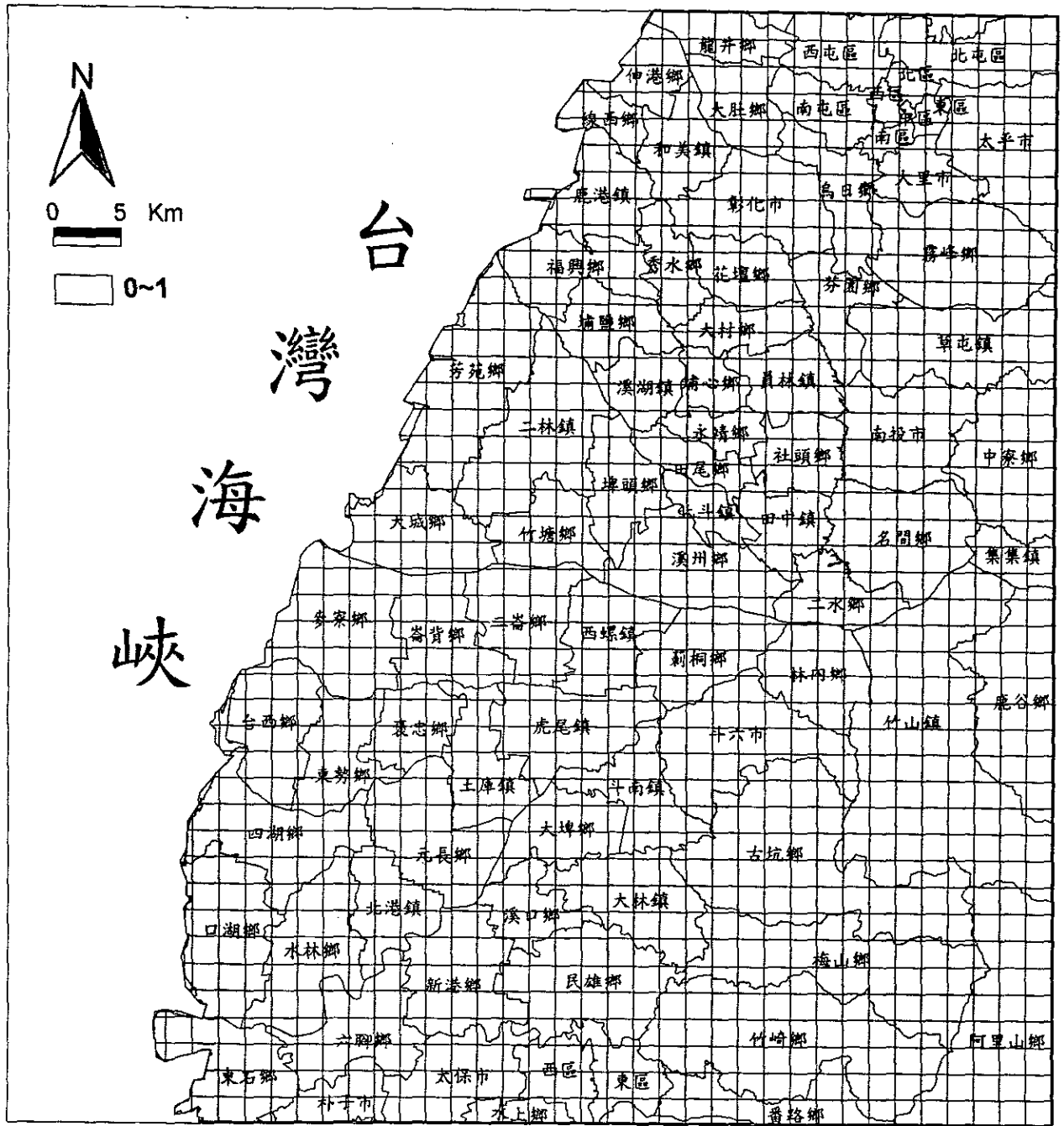


圖7.9 電導度指標管制區格網圖

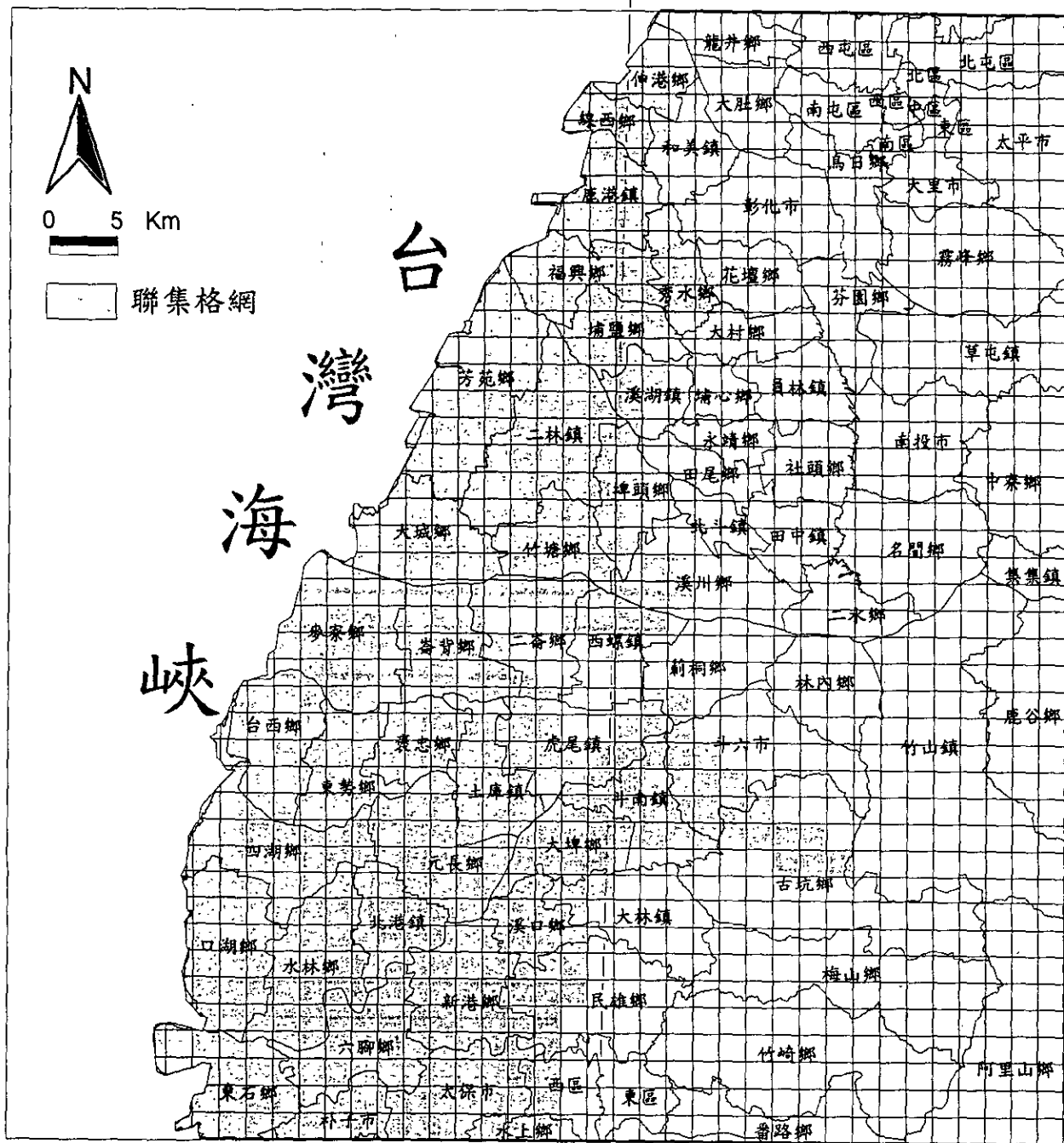


圖7.10 管制區評分格網圖

第八章 結論與建議

8.1 結論

1. 本研究成功的應用最新的參數優選模式(UCODE)，針對濁水溪沖積扇進行全區大尺度且動態的參數優選檢定，模式中並完整的考量拘限與非拘限含水層，此項成果已突破以往國內對如濁水溪沖積扇般大尺度地下模擬在參數檢定上，僅只依靠人工檢定的限制，使得模式的建立更加客觀。
2. 根據 1 項之成果，本研究進一步以同時考量模式推估誤差及參數推估不確定性的觀念，進行水文參數分區結構探討，並得出明確的分區建議。
3. 由地下水水位分析可發現濁水溪沖積扇，除了八十七年因五場颱風造成降雨量大增之影響外，其豐水期約在 9-10 月間，枯水期約在 3-4 月，此與地表雨量之豐水期相當一致。
4. 從水質分析中本研究區大部份均符合兩項標準，且發現淺層含水層受污染情形較深層含水層嚴重，大部分受污染之水質分佈在含水層一。
5. 由圖 7.10 管制區比較分佈圖中，我們可看出本研究建議的管制區比原管制區多，探討其原因，係本研究多考量四年內之年最低月平均水位是否連續下降達一成幅度，圖中可看出零位線以西為地下水位低於海平面的地區，已包含原管制區，而零位線以東部分區域會列為管制區的原因係因該地區四年最低月水位變化較為嚴重之地區。
6. 從新舊管制區分佈比較圖（圖 7.11）中得知地下水位指標管制區包含地層下陷量指標管制區，明顯發現管制區以地下水位之影響

為主，地層下陷與電導度因子為次之。

7. 由表 5.7 中可看出在沿海地區的抽水量仍佔整體抽水量的大部分，但與往昔的研究報告中比較起來，已經有減少的趨勢，海水入侵的情況也較以前緩和，可能的原因是沿海養殖業的沒落。
8. 本研究成功的將各地下水文成果整合於地理資訊中，突破以往如紙上水文地質圖只能平面展示資訊的限制，建立一個能藉不同圖層展示擬三維資訊及可互動查詢的電子化水文地質圖的範例。

8.2 建議

1. 大多數的觀測站井僅有兩次水質檢測紀錄，難以真正評估各站之水質變化情形，故建議針對在重要的水質項目中，能長期定時進行水質檢測，隨時監控。
2. 本研究所提出的管制區，係針對本研究建議之評分標準及流程，將現有水文地質資料予以量化評分，此項結果仍可待進一步評估確定。
3. 雖然本研究已建立並驗證了管制區評定流程及標準，惟分析過程目前為止仍是分段離線分析，將來可進一步在選定的地理資訊系統上依此流程建立自動化分析模組，以提高評定效率。

參考文獻

1. 經濟部水利處，"濁水溪沖積扇地表地下聯合營運總報告"，民國八十九年十月。
2. 經濟部中央地質調查所，"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"，民國八十九年。
3. 台灣省水利處，"台灣區地下水觀測網第一期計畫—地下水基本水質檢定及定年分析 81 年度報告(濁水溪沖積扇)"，民國八十二年三月。
4. 台灣省水利處，"台灣區地下水觀測網第一期計畫—地下水基本水質試驗分析研究 82 年度報告(濁水溪沖積扇)"，民國八十二年十二月。
5. 台灣省水利處，"台灣區地下水觀測網第一期計畫—地下水基本水質試驗分析研究 83 年度報告(濁水溪沖積扇)"，民國八十三年十二月。
6. 台灣省水利處，"台灣區地下水觀測網第一期計畫—濁水溪及高屏溪沖積扇地下水基本水質試驗分析之研究 85 年度報告"，民國八十五年九月。
7. 台灣省水利處，"台灣區地下水觀測網第一期計畫—濁水溪沖積扇地下水基本水質試驗分析之研究 86 年度報告"，民國八十六年八月。
8. 台灣省水利局，"台灣地區地下水觀測網第一期計畫八十一年至八十三年度濁水溪沖積扇觀測站網建立及運作管理工作報告"，民國八十四年十二月。
9. 台灣省水利局，"台灣地區地下水觀測網第一期計畫八十四年至八十五年度濁水溪沖積扇及屏東平原觀測站網建立及運作管理工作報告"，民國八十六年三月。
10. 台灣省水利局，"台灣地區地下水觀測網第一期計畫八十六年至八十七年度濁水溪沖積扇及屏東平原觀測站網建立及運作管理工作報告"，民國八十七年十二月。
11. 經濟部水資源局，"地層下陷區水準點檢測-雲林縣沿海地區"，

民國八十七年六月。

12. 經濟部水利處，”彰化沿海地區地盤下陷檢測計畫報告”，民國八十七年六月
13. 經濟部水利處，”地下水超抽導致地層下陷模式(二)”，民國八十九年九月
14. 經濟部水資源局，”台灣地區地下水觀測網水質調查分析及指標井選定研究成果報告，民國八十八年六月。
15. 經濟部水資源局，彙編『台灣地區地下水---濁水溪沖積扇』，民國八十八年六月
16. 涂根源，”長期水文模式推估地下水補注量之研究，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所”，民國八十七年一月。
17. 台灣省水利處，”濁水溪沖積扇地表地下聯合運用—第一階段—濁水溪沖積扇地下水可開發潛能評估報告”，民國八十六年六月。
18. 台灣省水利處，”濁水溪沖積扇地表地下聯合運用—第二階段—濁水溪沖積扇地下水可開發潛能評估報告”，民國八十八年九月。
19. 經濟部水利處，”地下水超抽導致地層下陷防治對策之群體研究—區域地下水文平衡模擬與預測(一)”，民國八十八年九月
20. 經濟部水利處，”地下水超抽導致地層下陷防治對策之群體研究—區域地下水文平衡模擬與預測(二)”，民國八十九年
21. 經濟部水資源局，”屏東地區地下水補助量推估(一)”，民國八十七年六月。
22. 行政院農業委員會，“地下水及地盤下陷調查—農業灌溉對地下水補注之調查評估(I)”，民國八十四年六月。
23. 經濟部水利司，”區域性地下水觀測站網檢討(II)---濁水溪沖積扇觀測站井佈置及觀測頻率”，民國85年六月
24. 台灣省水利局，”地下水觀測網之建立及運作管理，濁水溪及高屏溪沖積扇地下水基本水質試驗分析之研究”，民國85年9月。
25. 蕭偉松，“未飽和層入滲模擬問題之研究”，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，民國85年6月。

26. 吳峰誼，實驗與數值方法應用於推估地下水補注之研究，碩士論文，國立屏東技術學院土木工程技術研究所，民國84年6月
27. 蔡威平，"應用遺傳演算法與參數優選於地下水最佳觀測井網設計"，碩士論文，國立交通大學土木工程研究所，民國八十八年六月
28. 邵長平，"非線性迴歸應用於大區域之地下水參數優選"，碩士論文，國立交通大學土木工程研究所，民國八十六年六月
29. Allison, H. J. and Peck, A. J., "HYDRAULIC SCALING THEORY IN RECHARGE ESTIMATION", Groundwater Recharge.
30. Bouwer, H., Groundwater Hydrology. McGraw-Hill, New York, 1978.
31. Eileen P. Poeter and Mary C. Hill, "Documentation of ucode, A computer code for universal inverse Modeling". U. S. Geological survey water-resources investigations report 98-4080, 1998.
32. Mary C. Hill, "Methods and guidelines for effective model calibration", U. S. Geological survey water-resources investigations report 98-4005, 1998
33. Goode, D. J. and Appel, C. A., "Finite-difference interblock transmissivity for unconfined aquifers and for aquifers having smoothly varying transmissivity": U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 92-4124, 79 p., 1992.
34. Rastogi A. K., and S. N. Pandey, "Modeling of Artificial Recharge Basins of Different Shapes and Effect on Underlying Aquifer System", Journal of Hydrologic Engineering, January 1998, pp. 62-68
35. Sharma, M. L., "Groundwater Recharge", Division of Water Resource, Wembley, Australia, 1987.
36. Segol, G., Classic Groundwater Simulations, PRT Prentice Hall, USA, pp. 283-330, 1993.
37. Tuong, T. P., M. C. S. Wopereis, J. A. Marques and M. J. Kropff, "Mechanisms and Control of Percolation Losses in Irrigated Puddled

- Rice Fields ”,Soil Sci. Soc. Am. J. Vol 58,1994,pp.1794-1803
38. van Genuchten, M. T.; “A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils”, Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 44, pp.892-898, 1980.
 39. Wang, H. F., and Anderson, M. P., “Introducton to Groundwater Modeling”, W.H. Freeman and Company. New York, 237 p.1982.
 40. Yeh, G. T., “Modeling of Flow and Contaminant Transport in Subsurface Media”, Tutorial Material Presented at International Conference of High-Performance Computing, Taipei, 1995a.
 41. Yeh, G. T., J. R. Chang, and H. P. Cheng, Users’ Manual: 2-Dimensional Finite Element Model of Flow and Transport through Saturated-Unsaturated Media, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, 1995b.

附錄二 期中報告審查意見及處理情形

各單位意見	處理情形
<p>經濟部水利處 張炎銘課長</p> <p>一、本研究將濁水溪沖積扇分為四區，跟以往不同的是多一個「沿海地區」，而沿海地區之定義依3-4頁第2行是「沿海地層下陷嚴重的地區」，惟依據經濟部公告嚴重地層下陷區在濁水溪沖積扇是大城、麥寮、台西、四湖、口湖五鄉鎮與圖並不符合，請說明分區之標準。</p> <p>二、p3-15頁以後，水位歷線圖品質並不理想，10日、15日、30日之移動平均看不出來又作那麼多之移動平均，似乎不太有意義，另p3-42以後圖之品質亦不良。</p> <p>三、p4-4在電導度的說明內述及水質標準中沒有明列電導度之標準，並不全然正確，在灌溉用水水質標準電導度為750umhos/cm。</p> <p>四、p4-33在地質統計分析上，為何採用電導度作分析，請說明。</p> <p>五、P5-2第一段提及扇央、扇尾之分界係作用地下水零位線，但地下水零水位線隨時間分層而有不同，似不適宜請再酌量檢討是否與前面數章有否衝突？</p> <p>六、P5-23降雨入滲量仍是用降雨量之30%及10%估計，應有二組數據為何只有一種？</p> <p>七、P6-6建議是否依照評分標準作作看實際多少範圍是否難以執行。</p> <p>八、P5-26表5.2.2扇頂、扇央、扇尾之分層抽水量、沿海地區未列或已併入扇尾地區。</p> <p>九、水平衡分析中河道補助量如何？</p> <p>十、地下水水平衡分析最好能把相關文獻成果列表供參考。</p>	<p>扇頂、扇央、扇尾、沿海地區的界定係根據中央地調所所規劃之區域，彰雲大橋以西為濁水溪沖積扇扇頂區域、扇央及扇尾的界線則根據地下水位平均零位線、沿海地區則依中興工程顧問公司之報告中所述根據地盤沉陷之資料將下陷量較嚴重區域規劃為沿海地層下陷區。</p> <p>已參照修改。</p> <p>已參照修改。</p> <p>電導度可用來評判海水入侵情形及用水標準因此先採用電導度作分析，後續會針對各水質參數進行分析。</p> <p>扇央、扇尾之分界係根據年平均地下水位之零位線，已將時間因子考量。</p> <p>參照修正</p> <p>參照辦理。</p> <p>於期末報告會將各分區之抽水量列出。</p> <p>河道補注相較於整沖積扇之補助量期補助並不大。</p> <p>已參照辦理</p>
<p>中央地質調查所 賴典章組長</p> <p>一、水位線時間變化，是否可考慮將新站井資料加入以後的綜合線另外統計，比較不同年度不同井數觀測的水位變化趨勢是否相同。</p> <p>二、水位圖在八卦山與斗六丘陵地區以東地帶之水位線請刪除，以免使用者錯引資料。</p>	<p>已參照辦理</p> <p>已遵照辦理</p>

<p>台灣大學 農業工程 學系 劉 振宇教授</p>	<p>一、地下水水位之時間變化與抽水試驗獲得之水力傳導係數及儲水係數進行 Co-Kriging 分析以求得更具代表性之水文地質參數。</p> <p>二、灌溉用水之電導度為 750 umhos/cm 可作為水質比較之標準。</p> <p>三、含水層之氣鹽及電導度分佈可將彰濱工業區之淺層地下水水質數據納入比較，應該有鹽化之現象。</p> <p>四、地下水管制區之考量因素中有關水質之電導度之分級建議縮小並增加距如 750、1500、2500、5000、7500 等另外不同含水層之水質亦有不同，如何納入評估亦請考慮。</p>	<p>鑒於計畫時程建議在後續研究中進行</p> <p>已遵照辦理</p> <p>將參照辦理</p> <p>參照辦理</p>
<p>中興工程 顧問公司 龔誠山博 士</p>	<p>一、扇頂、扇央、扇尾的分層分區，建議考慮空間及區域地形、地質之特性再行細分，尤其在扇頂區、中游區、斗六丘陵地區、沖積扇頂地區為不同之地質特性，故不宜加總平均，尤其針對區域性的觀點而言，如何代表區域性的地下水位爭議性很大，宜深入探討。</p> <p>二、分層分區平均地下水位的變動特性分析，受井數及區位之特性而呈現不同之跳動現象，建議在時間分段上表示不同時間參加平均計算的井數，以輔助了解資料的不確定性。</p> <p>三、對於空間特性分析，建議考量地質特性及含水層特性進行水位分佈繪製。另坪頂、觸口、鯉魚三站的地下水為斗六丘陵地下水與沖積扇不一致，宜分開。</p> <p>四、柑園站氣鹽值偏高，建議站網監測單位宜深入探討其原因，係污染所致或局部之地球化學現象或者水質取樣被污染所致。</p> <p>五、有關地下水管制與地盤沉陷區之管制宜分開，地下水位之變化在地質不良區才會引發地盤下陷，而地下水下降在地質良好區不易引發沉陷，但地下水資源仍然會</p>	<p>於後續研究針對各區特性進行分析研究。</p> <p>已參照辦理</p> <p>已遵照辦理</p> <p>參照辦理</p>

	<p>耗竭，因此建議未來管制宜區分清楚才進行不同之管制方法。</p> <p>六、管制上仍建議考量行政上的方便管制，仍以鄉鎮為主，否則要管制到村里鄰。</p> <p>七、K值，S值等空間參數之平均分配宜參考地質特性繪制。</p>	<p>地下水管制區之做法先針對各項因子進行評分再以圖層套疊方式繪製管制區，第二步再以行政區界線來劃分管制區若該鄉鎮僅部分列入則再以天然地形(河川、山脈等)或是人為結構物(如主要幹道、橋樑)來劃分界線。</p> <p>參照辦理</p>
<p>本局主辦 科意見</p>	<p>一、有關地下水管制區相關因素探討中，請將宜蘭縣政府所提之重新劃設地下水管制區範圍圖之相關意見及劃設方法納入研議，另由於東西部縣市之地形環境不同，東部地區之地下水管制區鄉鎮區域含跨山區，平原及沿海，與西南沿海各縣為防止海水入侵或地層下陷所劃設地下水管制區鄉鎮之地理環境大不相同，致東部地區之地下水管制區無法有效利用山區，平原之地下水資源，非屬水利法第四十七條之一「為防止某一地區地下水超抽所引起之海水入侵或地盤沉陷之地下水管制精神」爰請考慮上開因素提出檢討修正地下水管制區劃設原則之建議。</p> <p>二、對於原判定地下水管制區之評估標準如地下水水位，地層下陷，地表高程及地層結構等有所修正，並加上水質考量重新評定地下水管制區，請補充說明水質電導度大於 10000 及 5000 所代表的意義。為地下水鹽化之程度，兩者之扣分與嚴重程度上是否合理。</p>	<p>將參照辦理</p> <p>電導度高於何值始列入管制標準並未有明確的標準 10000 及 5000 為參考國外資料所得，後續研究將針對其合理性進行評估</p>

附錄三 期末報告審查意見及處理情形

	各單位意見	處理情形
<p>主辦科審查意見</p>	<p>一、有關於第4·12頁，4.5地質統計初步分析結果：從事地質統計研究時，最基本而重要的問題為：</p> <p>①如何求得穩健之實驗變差函數、②據以從事相關分析與應用（區域化變量之克立金估計及克立金方差估計）：因此建議本節應考慮下列之步驟或概念：</p> <p>(一)求取穩健之實驗變差函數：</p> <p>1. 考慮區域化變量是否具異質不等向性：以地質之觀點而言，由於濁水溪沖積扇係沉積岩層，倘若考慮岩層分層構造，可持問題由三維轉化為二維之情形，而沉積岩層沿水流方向之變異性較垂直水流方向為大（透過求取該三維面上各方向上之實驗變差函數[容忍角取小於45度為宜]，可估計其二維變異性)；原則上，垂直地層面向上之變異性最大，垂直水流方向之變異性最小，而沿水流方向者則介於二者之間，故可驗證所擬合出之實驗變差函數(均質不等向構造之主要特徵具有相近之實驗基台值[其等於塊金常數與拱高之和，C_0+C]，惟在各方向上之影響範圍值[於最小變異方向上有最大之影響距離值]應不相等)是否合宜。</p> <p>2. 消除比例效應：一般當區域化變量具有對數常態機率分布時，就很可能存在正比例效應，造成實驗變差函數之基台值(C_0+C)隨著採樣點鄰域平均值($M*(X_0)$)增大而增大。消除比例效應之常用方式有二，一將原始數據取對數後再求其變差函數(對數變差函數法，為非線性轉換)，另一則以鄰域內之變差函數除以該鄰域內數據平均值</p>	<p>本項研究重點在藉由地質統計內差以展現各變因在空間上變化趨勢，各相關資料若要進行較仔細的分層異向性分析資料數目恐仍不足，目前水質資料各井點皆只有有一或兩次之檢測資料，可待將來資料數目較豐富時再作較深入之研究，另對於基值之比例效應部份，本研究已針對部份具有較明顯偏態分佈且資料變化較大的項目如電導度、氯鹽及總溶解固體物等已參考審查意見重新取其對數值，進行結構分析及內差等值圖之繪製。</p>

	<p>的平方(相對變差函數法)。</p> <p>(二)區域化變量之克立金估計及克立金方差估計：求得穩健之實驗變差函數之參數值後，據以求解克立金方程組及克立金方差(σ_k^2)，從而得到較佳之區域化變量之估計值，並由其方差了解空間上估計值之誤差分布情形。</p> <p>(三)如上揭所述之方式，再繪製調查區各參數(即區域化變量，其為文中所述之電導度、酸鹼值、總溶解固體量、氣鹽及水溫等)等值圖及其方差等值圖，以供使用者參考。</p> <p>二、於 7-2 及 7-4 頁，有關地下水位評估之方式，其是否仍採用近四十八年內之數據資料為準？而所謂「四年中(內)」及「當年」之定義並不明確，是否以較明確之文句說明該時間點之定義。</p> <p>三、請將所建議之三十一個地下水管制鄉鎮之各項評分依其評分項表說明。</p> <p>四、於第 8.1 頁，第八章結論與建議，第六點似乎尚未說完，是否有缺頁？</p> <p>五、請依各審查委員之意見作適當修正後，將定稿(初稿)一份送本局確認後，再印製報告書，俟後再依契約書第九條規定辦理結案事宜。</p>	<p>報告中分析之地下水位乃採用新地下水觀測網 85 年至 88 年之水位資料，「四年中(內)」係是指 85、86、87、88 年，「當年」是指 88 年，已於報告中修正。</p> <p>本研究之管制區評分基本單位乃是以比鄉鎮解析度更高的網格為基本單位，管制區之初步分佈情形乃是各因子最後綜合的結果，再考量行政區域、天然地形(如河川、山脈等)及人為結構物(如主要幹道、橋樑等)等界定最後的管制範圍，所以有些鄉鎮僅部份區域列入管制，因此不適合以鄉鎮別表列其各項評分。</p> <p>已補充修正。</p>
<p>台大農工 劉教授振 宇</p>	<p>一、模擬將第四層之邊界條件設定為第三層之水位是否意味著將第三層含水層延伸至第四層，而無須模擬第四層。</p> <p>二、應用 UCODE 模式推估 T 及 S 值較</p>	<p>將邊界條件設定在第四層，乃是著眼於主要的用水層乃集中在含水層三以上，且第四層觀測資料較少所作的簡化，並不暗示著第三含水層延伸至第四層。</p> <p>以 UCODE 推估 T 及 S 等參數乃是以"</p>

	<p>一般使用之 kriging 或條件模擬之優勢請說明。</p> <p>三、台灣省政府 85 年訂定之地下水管制區標準劃定之範圍在濁水溪沖積扇是否即為圖 7.11 之「原管制區」，請說明。</p> <p>四、按照新法劃定之地下水管制區面積增加頗多，其原因請加以探討（參考地層下陷防治方案 5 年之執行成果）。</p> <p>五、第八章結論部份漏頁請修正。</p> <p>六、時間序列分析是否有應用水位及水質變化之分析。</p>	<p>參數優選”，即解地下水逆向問題的方式求得相關參數，而以 Kriging 方式內插參數的做法乃是直接以部分“已知參數點”統計內插其他點位之參數值。兩者做法有其根本上的不同，以參數優選方式計算參數，由於包含了模式模擬的過程，較能直接考量系統的物理特性，如邊界條件等。</p> <p>本研究中所指「原管制區」為台灣省政府於 85 年劃定之地下水管制區。</p> <p>本研究所規劃之地下水管制區係考量地下水、地層下陷及水質三大因子，曾針對台灣省政府於 85 年規劃之地下水管制區與新劃定之地下水管制區做比較，發現本研究劃定的管制區範圍較大，主要因素係因本研究多考量四年內之年最低平均水位是否連續下降一定幅度，造成管制區範圍加大之因素。</p> <p>已補充修正。</p> <p>本研究僅針對新地下水觀測站網水位做時間序列分析係因新站網觀測水位資料較為完整，而水質資料並非每日量測，因而資料較不足，不適合做時間序列分析。</p>
<p>中興顧問 龔博士誠 山</p>	<p>一、p3-13 水文地質分層示意建議依比例尺繪製，另建議含水層延伸至外海處較為合適。</p> <p>二、p3-38, p3-39 等平均水位圖，在八卦山及斗六丘陵上由於資料點較少，這樣的水位分布與地形變化不符，建議刪除八卦山及斗六丘陵以上之部份。</p> <p>三、水質分析雖然非常困難，建議仍將分佈特性以圖形表示，不要只分二級。</p> <p>四、Kriging 分析是否可加入 K 值、S</p>	<p>已參考修正。</p> <p>已補充修正。</p> <p>本研究對於在空間尺度較大的水質項目如電導度、水溫...等項目已以等值圖表示其分佈情形，其他水質項目空間上變化太大，以目前站網的密度而言，若強以等值圖表示，恐易造成誤導，故本研究乃以二級點狀分佈圖表示之。</p> <p>在 UCODE 進行參數檢定時，已先以</p>

	<p>值等分析，另氣鹽與電導度可否試做 Cokriging</p> <p>五、圖 6.4-6.7 請標示清楚</p> <p>六、p7.7DTM 高程在沿海地區有明顯偏高之現象，主要係 DTM 為舊資料目前該地區下陷之故，建議用歷年地層下陷檢測資料較好。</p> <p>七、p7.23 新舊管制區反映沿海地區持續下降之事實且向內陸延伸，加上扇頂地區為補注區，如此建議全沖積扇地區為管制區才合理以達地下水資源保育之目標。</p>	<p>Kriging 對 K 及 S 值內插出其初始估計值，故 K 及 S 值之 Kriging 分析已經包括，Cokriging 的分析乃是追加項目，鑒於計畫時程建議在後續研究中進行。</p> <p>已補充修正。</p> <p>本計劃目的係將管制區訂定較明確可量化的管制辦法，並以濁水溪沖積扇為實驗區域，進行試算，從分析結果發現地下水主要影響地下管制區若使用歷年地層下陷檢測資料來修正 DTM 高程，所得到的地表高程格網評分表，對地下水管制區的範圍影響不大。</p> <p>本研究劃定之地下水管制區係針對地下水、地層下陷及水質三因子做考量，訂定較明確可量化的管制辦法，若要配合補注區的管制，建議後續進一步研究其可行性。</p>
<p>地調所費 科長立沅</p>	<p>一、P.1-1 在計畫目標中，並未將地下水管制區相關因素的探討列入，建議在文字上應補充。</p> <p>二、p.3-4 請以文字說明扇頂、扇央、扇尾、沿海地層下陷嚴重地區如何界定。</p> <p>三、第四章分層地下水水質分析：1 使用的數據是各鑽井完成時之第一次分析結果，是否具有足夠的代表性。2 電導度 (EC) 與總溶解固體量 (TDS) 理論上有某種程度的相關。在含水層一，EC 比 TDS 多一口；在含水層二，EC 比 TDS 少二口；在含水層三，EC 與 TDS 僅宏崙井都超過標準，其他之全興、田中、水林等三井並未同時在 EC 及 TDS 超過標準，宜參考其他資料加以說明。3 如果考慮氣鹽與 EC 或 TDS 的關聯性時，似乎彼此並無明確的相關。</p> <p>四、請說明 P.4.12 公式所代表之意</p>	<p>已補充修正。</p> <p>扇頂、扇央、扇尾、沿海地區的界定係根據中央地調所所規劃之區域，彰雲大橋以西為濁水溪沖積扇扇頂區域、扇央及扇尾的界線則根據地下水位平均零位線、沿海地區則根據地盤沉陷之資料將下陷量較嚴重區域規劃為沿海地層下陷區。</p> <p>資料的代表性需視其目的而定以目前的水質資料而言，欲探討其時間上的變化，或是小尺度的空間變化，顯然是不足，惟若是描述整個沖積扇水質空間上的變化狀況，則有相當大的參考價值，另外 EC 與 TDS 的相關性必需以其原本的數值進行探討較客觀，若是先經過水質標準的篩選，再探討其是否相關則容易誤導。概一般所指在野外 EC 與 TDS 相關乃具統計的意義，並非毫無誤差。</p> <p>為了解參數值彼此在空間上之關係經</p>

義；請說明圖 4.19-4.23 所呈現的意義。

五、p. 7-2 管制考量因素：1 總量管制也可以列入考慮，例如設定一個區域最多可以容許的抽水井數量、養殖魚塭最多容許的面積等。2 地盤下陷—建議改為地層下陷，「近 5 年內，累積下陷量達 30 公分以上者為一級」，似可加入「或一年下陷量達到 10 公分以上」，以擴大條件範圍。3 水質—建議應考慮是以第一層（自由含水層）或是主要的抽水層為標的：考慮是以滯留水（緩慢流動的水）或是抽水井之水質為設定的標準。4 地層結構—建議在思考時，也是從第一層（自由含水層）或是主要的抽水層為標的來考量。

六、p. 7-4 評分標準及方式：高中低三級建議改為重中低度或是一二低三級；潛勢因素分為優、劣兩種，與一般對於「優」、「劣」文字的意涵不同，容易造成混淆。

統計結構分析後所得之方程式即 P.4.12 公式所示，理論上各觀測值間的影響（以半變異元表示）會隨距離增加趨於一穩定值，可利用此方程式了解以觀測值推估一已知距離點之變異量。圖 4.19~4.23 中所代表的意義為各個水質指標的變異量與距離的關係圖。圖中由觀測點至半變異元達到穩定之距離稱為影響範圍，而其達到穩定之值稱為基值，已於報告中增加說明。地層下陷條件已加入「或一年下陷量達到 10 公分以上」之條件，本計畫目的再訂定明確可量化的管制區訂定方法，至於管制的標的如含水層別之探討牽涉甚廣，已超過本計畫範圍，建議水資局應邀及相關學者討論形成政策。

已於報告中將易造成混淆之高、中、低三級改成重度、中度、輕度三級，報告所中提「優」、「劣」則刪除，改以分數表示，避免讀者造成混淆。