

國立中央大學

地球物理研究所
碩士論文

電阻率剖面與槽溝剖面之對比研究

研究生：陳伯毅

指導教授：陳平護 博士

中華民國九十三年七月



國立中央大學圖書館 碩博士論文電子檔授權書

(93年5月最新修正版)

本授權書所授權之論文全文電子檔，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

- ()同意 (立即開放)
()同意 (一年後開放)，原因是：_____
()同意 (二年後開放)，原因是：_____
()不同意，原因是：_____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動讀者間「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、公開陳列、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名：陳伯毅

論文名稱：電阻率剖面與槽溝剖面之對比研究

指導教授姓名：陳平護

系所：地球物理研究所 博士 碩士班

學號：90622014

日期：民國93年7月14日

備註：

1. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁（全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替）。
2. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館（以統一代轉寄給國家圖書館）。
3. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

地球物理 學系/研究所 陳伯毅 研究

生所提之論文

(題 目)

電阻率剖面與槽溝剖面之對比研究

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授 陳平護 (簽章)

93 年 6 月 18 日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

地球物理 研究所 陳伯毅 君所提之論文

電阻率剖面與槽溝剖面之對比研究

(題 目)

經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人

陳建志

委 員

陳東透

游峻一

(簽章)

中華民國

93年

6月

28日

論文提要內容：

本研究針對車籠埔斷層在竹山與霧峰、新化斷層在那菝林地區、梅山斷層在崎頂等各處的槽溝，進行地電阻法的施測，並將結果與該測線所在槽溝進行對比。運用地電阻方法探勘結果與槽溝對比結果，找出其對應關係，並得到以下幾點結論：

1. 竹山地區礫石層之電阻率從 300 $\Omega\cdot m$ 一直可到 1000 $\Omega\cdot m$ 以上，錦水頁岩則多在 40 $\Omega\cdot m$ 以下，視電阻率差別大，易於分辨。
2. 藉由地電阻率的不連續面與地表的高低落差相配合，並可以判斷出斷層帶的分佈以及走向。
3. 竹山區高電阻的礫石層被兩個低電阻不連續面截成三段，此三段礫石層之中，最南段仍在地表底下，深度達到八公尺以上；中段及北段則已經出露在地表。三段厚度各有不同，表示受侵蝕的程度有所不同。此結果表示，礫石層上的兩個地電阻率不連續面的形成時間不相同，亦即說明 此斷層區層經多次斷層運動，非一次活動造成。
4. 車籠埔斷層竹山段的上盤電阻率在 25-50 $\Omega\cdot m$ 之間，為錦水頁岩；下盤則在 50 $\Omega\cdot m$ 以上，為含礫石層的頭料山層。
5. 新化斷層位於濱海相區域，電阻率受鹽度及有機沉機的影響甚大，接近海相的部分電阻率較低多在 20 $\Omega\cdot m$ 以下，陸相則相對較高，約在 40 $\Omega\cdot m$ 以上。
6. 新化那菝林槽溝附近之地電阻率資料，經分析之後推斷斷層位置在槽溝北側，且角度甚大，此推測也在後續開挖中得到證實。
7. 梅山地區測線多為礫石，電阻率多為 300 $\Omega\cdot m$ 以上，即使是土壤層也多在 200 $\Omega\cdot m$ 左右。
8. 觀測新化及梅山斷層的短間距測線可發現解析度非常優良，細部的地層變化都可以觀測出來，可見短間距的排列方式，可幫助進行細部構造的解析。

目錄

	頁數
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目標	1
1.2 文獻回顧	1
1.3 內容簡介	4
第二章 研究區域地質概述	6
2.1 車壟埔斷層	6
2.1.1 地理分布及發生時間	6
2.1.2 地質狀況與地表破裂概述	6
2.2 新化斷層	12
2.2.1 地理分布及發生時間	12
2.2.2 地質狀況與地表破裂概述	12
2.3 梅山斷層	22
2.3.1 地理分布及發生時間	22
2.3.2 地質狀況與地表破裂概述	22
2.4 研究區域主要地層	24
第三章 研究原理與方法	28

3.1 直流電阻法	28
3.2 直流電阻法施測方法	30
3.3 直流電阻法儀器系統	34
3.4 資料處理與解釋	34
第四章 結果與討論	37
4.1 竹山測線	37
4.1.1 竹山地區地電阻率測線	37
4.1.2 竹山地區槽溝剖面	42
4.1.3 竹山地區測線與槽溝之比較	43
4.2 霧峰測線	
4.2.1 霧峰地區地電阻率測線	46
4.2.2 霧峰地區槽溝剖面	46
4.2.3 霧峰地區測線與槽溝之比較	49
4.3 新化測線	
4.3.1 新化地區地電阻率測線	51
4.3.2 新化地區槽溝剖面	56
4.3.3 新化地區測線與槽溝之比較	56
4.4.1 梅山地區地電阻率測線	58
4.4.2 梅山地區槽溝剖面	58

4.4.3 梅山地區測線與槽溝之比較	61
第五章 結論	63
參考文獻	64

圖目

	頁數
圖 2.1 車籠埔斷層地表破裂位置圖	9
圖 2.2 竹山地區測線圖	10
圖 2.3 竹山地區視電阻率擬似剖面	11
圖 2.4 新化斷層位置及地質圖	13
圖 2.5 畜牧改良場槽溝位置圖	16
圖 2.6 槽溝 ALT-1 開挖地質紀錄圖	17
圖 2.7 槽溝 ALT-2 開挖地質紀錄圖	18
圖 2.8 槽溝 ALT-3 開挖地質紀錄圖	19
圖 2.9 畜牧改良場內之視電阻率擬似剖面	20
圖 2.10 畜牧改良場內之震測剖面	21
圖 2.11 梅山斷層位置及地質圖	23
圖 3.1 直流電阻法電極排列	28
圖 3.2 單電流極在均質等向半空間之電位示意圖	30
圖 3.3 雙極排列法施測示意圖	31
圖 3.4 野外施測儀器配置圖	32
圖 3.5 雙極排列法施測過程之電極更換示意圖	33
圖 3.6 Res2dinv 資料處理流程圖	36

圖 4.1 竹山 AA ' 及 BB ' 測線位置圖	39
圖 4.2 竹山剖面 AA ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	40
圖 4.3 竹山剖面 BB ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	41
圖 4.4 竹山地區測線與槽溝之比較	45
圖 4.5 霧峰測線及槽溝位置圖	47
圖 4.6 霧峰測線 CC ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	48
圖 4.7 霧峰地區測線與槽溝之比較	50
圖 4.8 新化那菝林測線及槽溝位置圖	53
圖 4.9 新化測線 DD ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	54
圖 4.10 新化測線 EE ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	55
圖 4.11 那菝林地區測線與槽溝之比較	57
圖 4.12 梅山測線及槽溝位置圖	59
圖 4.13 梅山測線 FF ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	60
圖 4.14 梅山地區測線與槽溝之比較	62

目錄

	頁數
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目標	1
1.2 文獻回顧	1
1.3 內容簡介	4
第二章 研究區域地質概述	6
2.1 車壟埔斷層	6
2.1.1 地理分布及發生時間	6
2.1.2 地質狀況與地表破裂概述	6
2.2 新化斷層	12
2.2.1 地理分布及發生時間	12
2.2.2 地質狀況與地表破裂概述	12
2.3 梅山斷層	22
2.3.1 地理分布及發生時間	22
2.3.2 地質狀況與地表破裂概述	22
2.4 研究區域主要地層	24
第三章 研究原理與方法	28

3.1 直流電阻法	28
3.2 直流電阻法施測方法	30
3.3 直流電阻法儀器系統	34
3.4 資料處理與解釋	34
第四章 結果與討論	37
4.1 竹山測線	37
4.1.1 竹山地區地電阻率測線	37
4.1.2 竹山地區槽溝剖面	42
4.1.3 竹山地區測線與槽溝之比較	43
4.2 霧峰測線	
4.2.1 霧峰地區地電阻率測線	46
4.2.2 霧峰地區槽溝剖面	46
4.2.3 霧峰地區測線與槽溝之比較	49
4.3 新化測線	
4.3.1 新化地區地電阻率測線	51
4.3.2 新化地區槽溝剖面	56
4.3.3 新化地區測線與槽溝之比較	56
4.4.1 梅山地區地電阻率測線	58
4.4.2 梅山地區槽溝剖面	58

4.4.3 梅山地區測線與槽溝之比較	61
第五章 結論	63
參考文獻	64

圖目

	頁數
圖 2.1 車籠埔斷層地表破裂位置圖	9
圖 2.2 竹山地區測線圖	10
圖 2.3 竹山地區視電阻率擬似剖面	11
圖 2.4 新化斷層位置及地質圖	13
圖 2.5 畜牧改良場槽溝位置圖	16
圖 2.6 槽溝 ALT-1 開挖地質紀錄圖	17
圖 2.7 槽溝 ALT-2 開挖地質紀錄圖	18
圖 2.8 槽溝 ALT-3 開挖地質紀錄圖	19
圖 2.9 畜牧改良場內之視電阻率擬似剖面	20
圖 2.10 畜牧改良場內之震測剖面	21
圖 2.11 梅山斷層位置及地質圖	23
圖 3.1 直流電阻法電極排列	28
圖 3.2 單電流極在均質等向半空間之電位示意圖	30
圖 3.3 雙極排列法施測示意圖	31
圖 3.4 野外施測儀器配置圖	32
圖 3.5 雙極排列法施測過程之電極更換示意圖	33
圖 3.6 Res2dinv 資料處理流程圖	36

圖 4.1 竹山 AA ' 及 BB ' 測線位置圖	39
圖 4.2 竹山剖面 AA ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	40
圖 4.3 竹山剖面 BB ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	41
圖 4.4 竹山地區測線與槽溝之比較	45
圖 4.5 霧峰測線及槽溝位置圖	47
圖 4.6 霧峰測線 CC ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	48
圖 4.7 霧峰地區測線與槽溝之比較	50
圖 4.8 新化那菝林測線及槽溝位置圖	53
圖 4.9 新化測線 DD ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	54
圖 4.10 新化測線 EE ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	55
圖 4.11 那菝林地區測線與槽溝之比較	57
圖 4.12 梅山測線及槽溝位置圖	59
圖 4.13 梅山測線 FF ' 之視電阻率擬似剖面與解釋結果 .	60
圖 4.14 梅山地區測線與槽溝之比較	62

第一章 緒論

1.1 研究動機及目標

地電阻法在淺部地層的探測效果非常優良，槽溝地層剖面可直接展示地質現象，將地電阻率構造剖面與地層剖面比對，可找出其相對應的關係。利用兩者之間的對應關係，可藉由地電阻構造剖面解釋無槽溝處之地體構造。本研究針對車籠埔斷層竹山、霧峰；新化斷層那菝林地區、梅山斷層的崎頂等各處的槽溝，進行地電阻法的施測，並將結果與該測線所在槽溝進行對比。運用地電阻方法探勘結果與槽溝對比結果，找出其對應關係，並利用所得到的對應關係去對深處不可見的區域進行地質解釋。

槽溝是地質資料中最直接有力的證據。然而，槽溝開挖的長度與深度都有其限度，無法隨心所欲的進行開挖以及觀察。因此本研究針對陳文山在竹山、霧峰、梅山；李錫堤在新化地區的槽溝進行研究，希望藉由地電阻構造與槽溝的比對；找出兩者之對應關係，並對深部地體構造的研判能有所幫助。

1.2 文獻回顧

陳平護(2003)提出斷層破裂面在地電阻形貌上具 1.) 有明顯的高

低分界。2.)等電阻率曲線扭曲。3.)均質層中之帶狀異常。4.)電性地層突然中斷或厚度改變等四種特徵,這些特徵可用來幫助研判斷層之所在。

李思霖(2002)於竹山收集得地電阻率資料,指出根據斷層所處地形及地層特性,可將九二一地震斷層在竹山鎮南部分段,北段為車籠埔斷層,南段則為大尖山斷層的起點。

張錫齡(1971)指出在台中盆地南端,上新世的錦水頁岩與更新世的頭嵛山層與車籠埔斷層接觸,並認為此斷層面向東傾斜40度。

董倫道等(1996)在民間至竹山之間進行地電阻影像剖面探測,結果指出濁水溪北側近地表之高電阻層應可對應礫石層,平均厚度約20餘公尺,具明顯電性地層側向不連續異常現象,與濁水溪南側測線所表現地層特徵相當接近,異常處視為同一斷層線。濁水溪南側河床地上之高電阻率(400 -m)特性顯示應屬於台地礫石層;礫石層電阻率側向不連續及基盤面起伏等異常現象,應與斷層作用有關。竹山台地東緣地帶近地表之低電阻層應可對應表土層,其下之高電阻層(200-400 -m)應可對應台地礫石層;高電阻區塊呈現局部不連續的特徵,顯示測線可能橫跨兩個不同台地面,竹山台地曾因車籠埔斷層活動而傾轉,故台地面接觸線可能反映可能的斷層線位置。

張宏武(2001)對新化的地電阻率及井資料進行比對,指出新化斷

層之背景地層之電阻率10~180 -m 之間，斷層面呈高角度傾斜，電阻率影像剖面解釋出兩斷層面，兩者大約為東西向，相隔約60 公尺，中間為斷層帶。而深度大於50 公尺的部分，因地層較為均質，電阻率差異不大，故可能是受斷層擾動之地層不深。井資料之分析比對之結果，此地為濱海相，海陸交替之環境，故電阻率深受地層鹽度之影響，於陸相環境時，電阻率分布為40~180 -m，而在濱海相時，電阻率則分布於10~30 -m 之間。

王乾盈等(1998)於新化斷層線上進行淺層震測；根據畜牧改良場內之震測剖面資料顯示，其地層變化局限在上盤（北側），寬度約70 公尺，扭曲的地層越近地表越明顯，尤其在深度不到100 公尺的部份；而深度超過200 公尺的地層則大致維持原來形態，代表此斷層未連至另一大的斷層構造上。

Wang, et al (1994) 利用淺層反射震測法來研究新化斷層，研究結果顯示新化斷層有兩個破裂帶，越向東分離越遠，而在西邊合而為一。

石及陳(2003) 研究梅山地區的地電與震測的調查結果顯示，梅山斷層於西側一帶，由中坑麻園農場一帶的實際位置可能在原先估計的北邊。

根據 Omori (1907)報導，地震時地面斷裂可分為兩段。主斷

裂長 11 公里，稱為梅山斷層；次斷裂長 4 公里，稱為陳厝寮斷層。梅山斷層除了全線均為右移，在最東段有北昇南降的垂直位移現象外，餘均為北側陷落之情形。最大水平位移發生在開元后附近，同處另有垂直位移達 120 公分，係北側陷落。在更西邊，斷層則通過三疊溪處，河床上也發現了 120 公分的垂直位移略呈 E-W 走向的陳厝寮斷層亦屬右移斷層，最大水平位移為 150 公分，最大垂直位移則在 30 公分以下，且整體位移現象有向西逐漸減小的情形，至民雄街上斷層位移已不明顯，但地表尚有一些擾動現象，暗示斷層在地下的部份續向西延伸至潭仔漈附近。查考清代地震史料(徐泓，1983)可知，1792 年 8 月 9 日梅山地區亦有一次大地震發生。

1.3 內容簡介

本報告共分五章其內容如下

第一章 緒論：敘述研究之動機、目的及文獻回顧。

第二章 研究區域概述：敘述測區地理環境、地質狀況及斷層破裂概述。

第三章 研究方法：簡述二維地電阻影像剖面法施測原理和方法、野外施測電極排列法及資料處理流程。

第四章 結果與討論：研究的解釋結果與討論。

第五章 結論

第二章 研究區域地質概述

2.1 車籠埔斷層

2.1.1 地理分佈及發生時間

車籠埔斷層(圖 2.1)分佈於台中縣市及南投縣，呈南北走向，斷層為台中盆地與豐原、南投兩丘陵的交界線，自台中縣豐原沿丘陵西緣向南延伸經潭子、大里、太平、南投縣草屯、南投至名間、竹山。

1999 年 9 月 21 日凌晨台灣中部發生芮氏規模 7.3 強烈地震，係由車籠埔斷層活動所引起，並造成超過一百公里的地表破裂。

2.1.2 地質狀況與地表破裂概述

孟昭彝 (Meng, 1963) 認為車籠埔斷層兩側為錦水頁岩層逆衝於較新的地層之上，且本斷層為三義斷層向南的延伸。

陳勉銘與何信昌(2000)，在竹子坑西南方約一公里處發現車籠埔斷層的露頭，錦水頁岩逆衝至河階礫石層之上，斷層面向東傾斜約 25 度；斷層東側的錦水頁岩呈現剪碎斷裂與褶皺現象，斷層西側的礫石層則未受明顯的傾動而維持近乎水平層態；在該處露頭附近進行

槽溝開挖時，並挖出岩塊為頁岩岩塊及礫石堆，推測為車籠埔斷層通過處。

而就斷層所造成的地表破裂與變形帶，地調所曾對各地區進行分述（經濟部中央地質調查所，1999b），本研究相關區域為霧峰及竹山地區：

霧峰地區：地表破裂帶北起北溝溪南岸，南到烏溪北岸，全長約 10.5 公里。地表破裂與變形帶自北溝溪南岸呈東北走向，造成東側地表抬升約 1.5 公尺；至畚箕湖，斷層略呈東西走向；經橋榮國小後循山勢轉為南北向，至成功路後變形漸小，至霧峰新開街一帶，已不見地表破裂與變形跡象。地表破裂帶經霧峰第二公墓一帶後進入山區，破裂較不明顯，惟大致仍呈南北走向，此段地表抬升量約 1.0 至 2.0 公尺；越過乾溪後，經萬豐國小至農林廳種子檢查室東側，此段破裂分岔呈數條斷裂；地表破裂帶穿過中正路與象鼻橋間，至烏溪北岸後轉呈西南方向而通過烏溪橋。

竹山地區：變形帶北段由名竹大橋附近延伸至抄封，大致呈南北走向，長約 13 公里。本段變形帶大多通過河階、沖積扇及平原區，少部分貼近山麓前緣。北段變形帶崖落差由濁水溪河床約為 3.5 公尺，向南逐漸變小，至中心崙林道附近僅約為 0.5 公尺，再往南僅見

破裂。斷層以竹山鎮南方的抄封為界，分為南北兩段，北段由濁水至抄封呈南北走向，此段地震斷層位於車籠埔斷層的上盤，南段由嶺腳至桶頭尾約呈北偏東 30 度，此段地震斷層與大尖山斷層跡大約一致；此外，由局部地區單斜崖與撓曲崖的不連續以及某些地點變形帶由數個崖所構成，斷層帶在地下由多組剪動帶所構成，這些剪動帶由主斷層向上分叉而出的多組次生分枝斷層以及鄰近斷層的再活動所構成。

李思霖(2002)在竹山地區所得到的地電阻資料(圖 2.2)(圖 2.3)顯示，表層礫石層厚度為 5-20 公尺不等，電阻率分布在 80-800 Ω -m 之間，表層下的錦水頁岩之電阻率則為 40-60 Ω -m，下盤之礫石層電阻率 100-2000 Ω -m，斷層傾角則為 60-80 度向東。

斷層在霧峰及竹山皆有轉向的現象，也因此霧峰及竹山地區在整個車籠埔斷層中都是值得研究的地點。

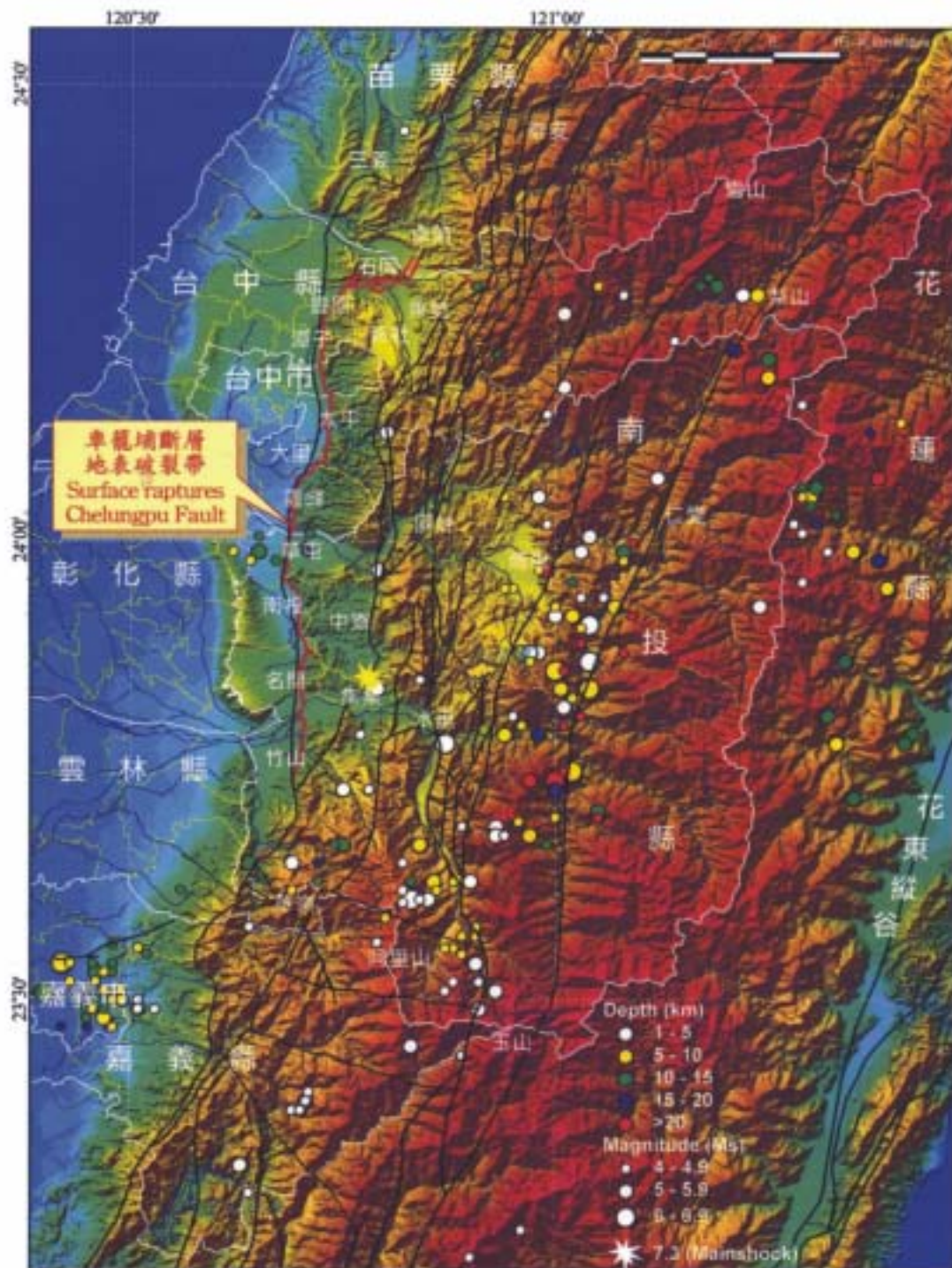


圖2.1車籠埔斷層地表破裂位置圖
(地調所 林朝宗)

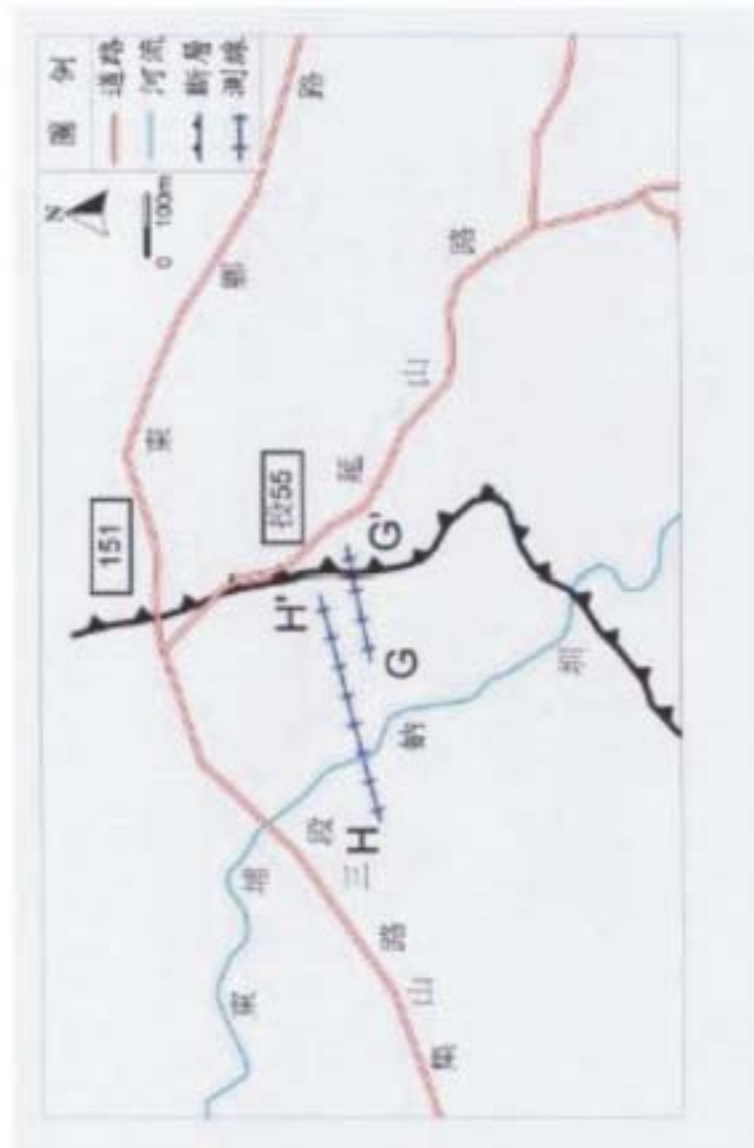


圖2.2-1竹山地區測線圖

地區	測線	表層電阻率 ($\Omega \cdot m$)	表層厚度 (m)	綠水頁岩電阻率 ($\Omega \cdot m$)	礫石層電阻率 ($\Omega \cdot m$)	(視)傾角 (向東)(度)
竹山	G-G'	100-800	10	40-60	100-600	60-80
	H-H'	100-300	5-20	20-60	100-2000	無

圖2.2-2竹山地區組成及位態一覽表

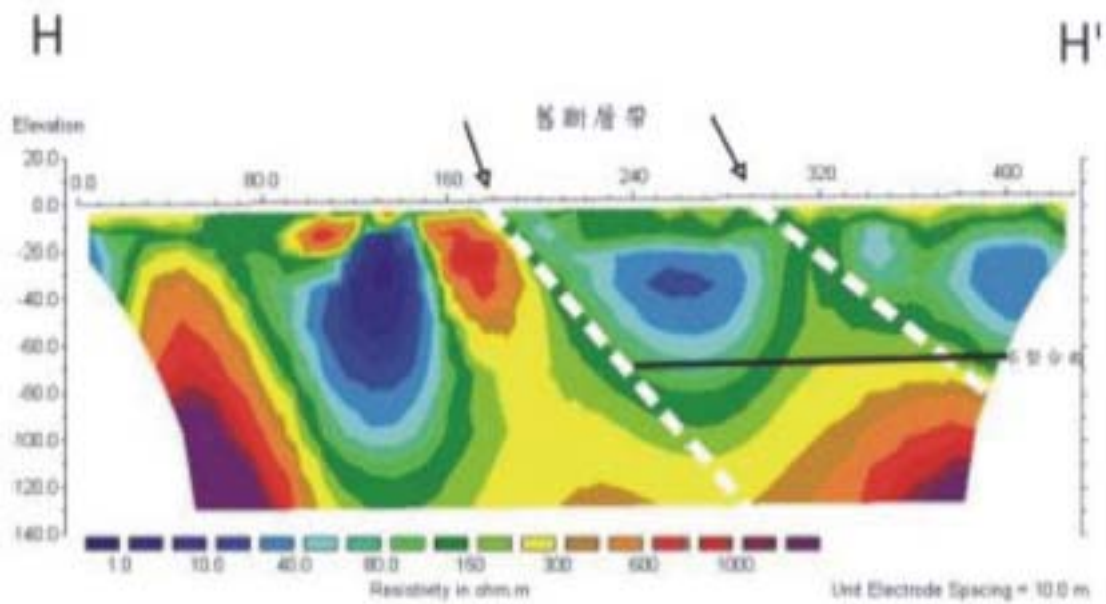
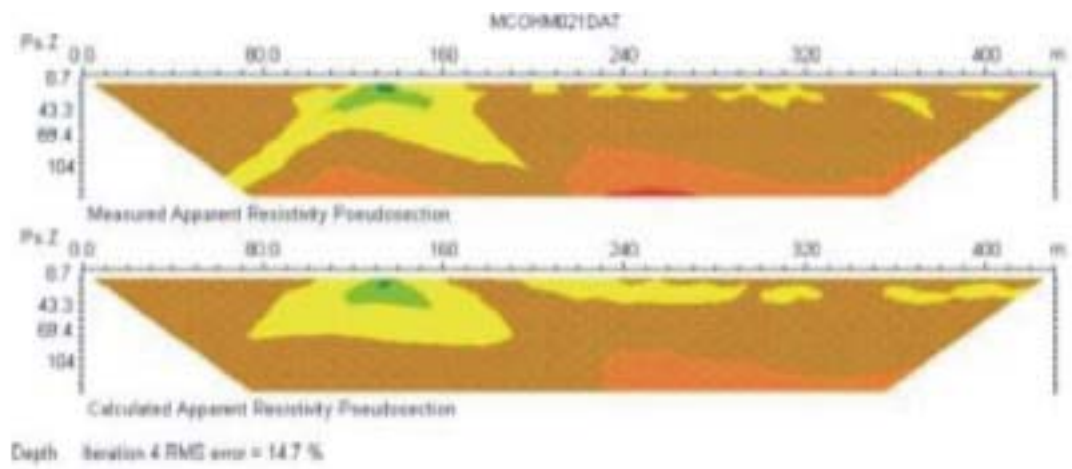


圖2.3竹山地區視電阻率擬似剖面(李思霖 2002)

2.2 新化斷層

2.2.1 地理分佈及發生時間

新化斷層(圖 2.4)大致分佈於台南縣，為一右移斷層。為 1946 年台南地震所造成的地震斷層，大致呈北北東走向。斷層由台南縣新化東北方約 5.5 公里之那菝林至新化西北方約 2 公里之北勢以東，長約 6 公里。

2.2.2 地質狀況與地表破裂概述

張麗旭等(1947)調查顯示在那菝林南方出現走向北偏西 60 至 80 度、呈羽狀排列的裂痕，至海拔 72 公尺之桌狀丘陵以南，轉為北偏東 80 度之斷層裂縫；斷層西北側向東移動，東南側向西移動，前者上升，後者下降；水平變位 20 公分，垂直變位 10 公分；於新化種馬牧場(場稱畜牧改良場)辦公室前，水平變位 182 公分，垂直變位 67 公分，裂口最寬 140 公分；在思橋北側公路上產生最大右移量 2 公尺，及最大垂直變位量 76 公分，斷層面擦痕向西傾斜 28 至 30

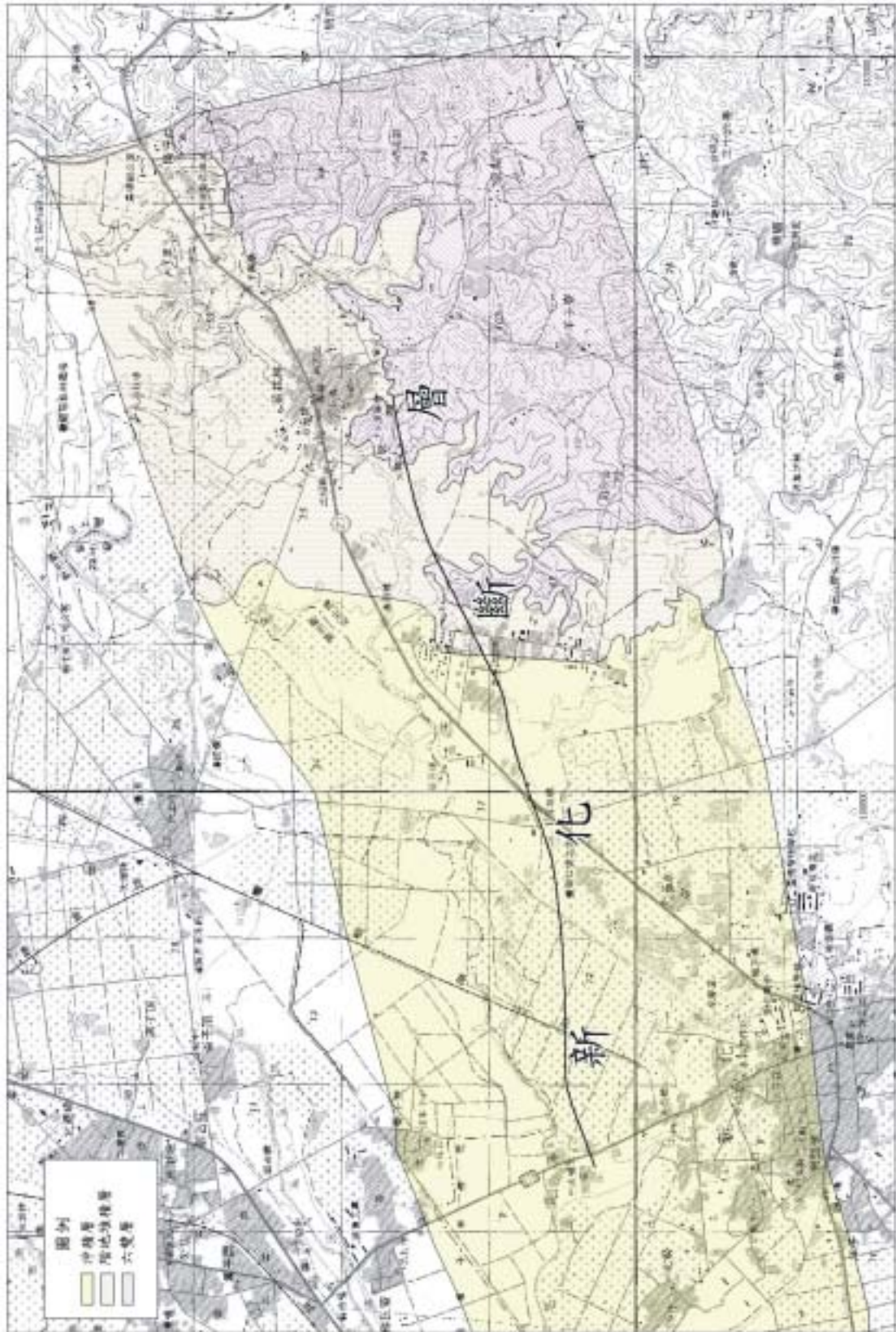


圖2.4 新化斷層位置及地質圖(地調所 2003)

度，屬於斜滑斷層；思橋以西，斷層走向為北偏東 80 度，水平及垂直變位漸減，其西約 500 公尺處之嘉南圳堤田圃，水平變位減至 25 公分，垂直變位 35 公分，13 條裂縫走向為北偏西 30 至 40 度；北勢以西至永康站西方約 5 公里間，在斷層延伸位置有地裂及撓曲發生，個別走向約為北偏西 30 至 60 度，其垂直變位則為北側下降。柏尼刺 (Bonilla, 1977) 認為地表破裂向西南延伸仍有約 6 公里的雁形破裂及撓曲，並有些微垂直變位，因此長度可能超過 12 公里。

李錫堤等(2000)在新化鎮畜產試驗所北測共開挖了三個槽溝(圖 2.5)，每個槽溝皆開挖 35 公尺長，6 公尺深，開挖結果新化斷層之斷裂面呈高角度向東南傾斜。出露在此的全新世台南層以泥岩為主，為現代沖積層，由碳十四定年認為是全新世中期的地層(陳于高，1993)，層厚在約十到一百公尺間。

此三槽溝探查成果如下：

(一) AIT-1 槽溝(圖2.6)

新化斷層之主要斷裂面出現在座標20公尺附近，呈高角度向東南傾斜；另一斷裂面出現在座標25 公尺附近，呈高角度向西北傾斜。此兩斷裂面為屬於走向橫移斷層帶的花狀構造的一部份。在南側壁主要斷裂面旁，並有錯動擦痕，其裂理面上的滑移顯示為走向橫移，但

在泥岩層則不太容易辨認。斷層東南側座標25公尺以後的地層，大致呈水平位態，但西北測的地層則已受撓曲傾斜。此槽溝地表有一層厚約10公分至1公尺，且尚未土壤化的最新堆積；在斷層帶上方較薄，兩側較厚。在西北側則有一厚約1~4 公尺之土層、砂層；而東南側則約1 公尺。在此土層、砂層之下為泥層。

(二) AIT-2 槽溝(圖2.7)

斷裂面出現在樁號19附近，呈高角度向東南傾斜。在斷層帶附近則有擠壓拱起構造(burges)，垂直位移不大。拱起帶有一些新堆積物埋沒及填充之張裂縫。

(三) AIT-3 槽溝(圖2.8)

斷裂面出現在槽溝中段，呈高角度向東南傾斜；另有一次要斷裂面出現，呈高角度向西北傾斜。主次要斷裂間呈一地塹型之外觀，應屬於走向橫移斷層的花狀構造。

張宏武(2001)於槽溝處進行地電阻率研究指出，新化斷層有兩不同之破裂面(圖 2.9)，此結果與王乾盈等(1988)在同一地點所進行之震測剖面成果進行比對(圖 2.10)，不論是地表距離或傾角的符合度都甚高。

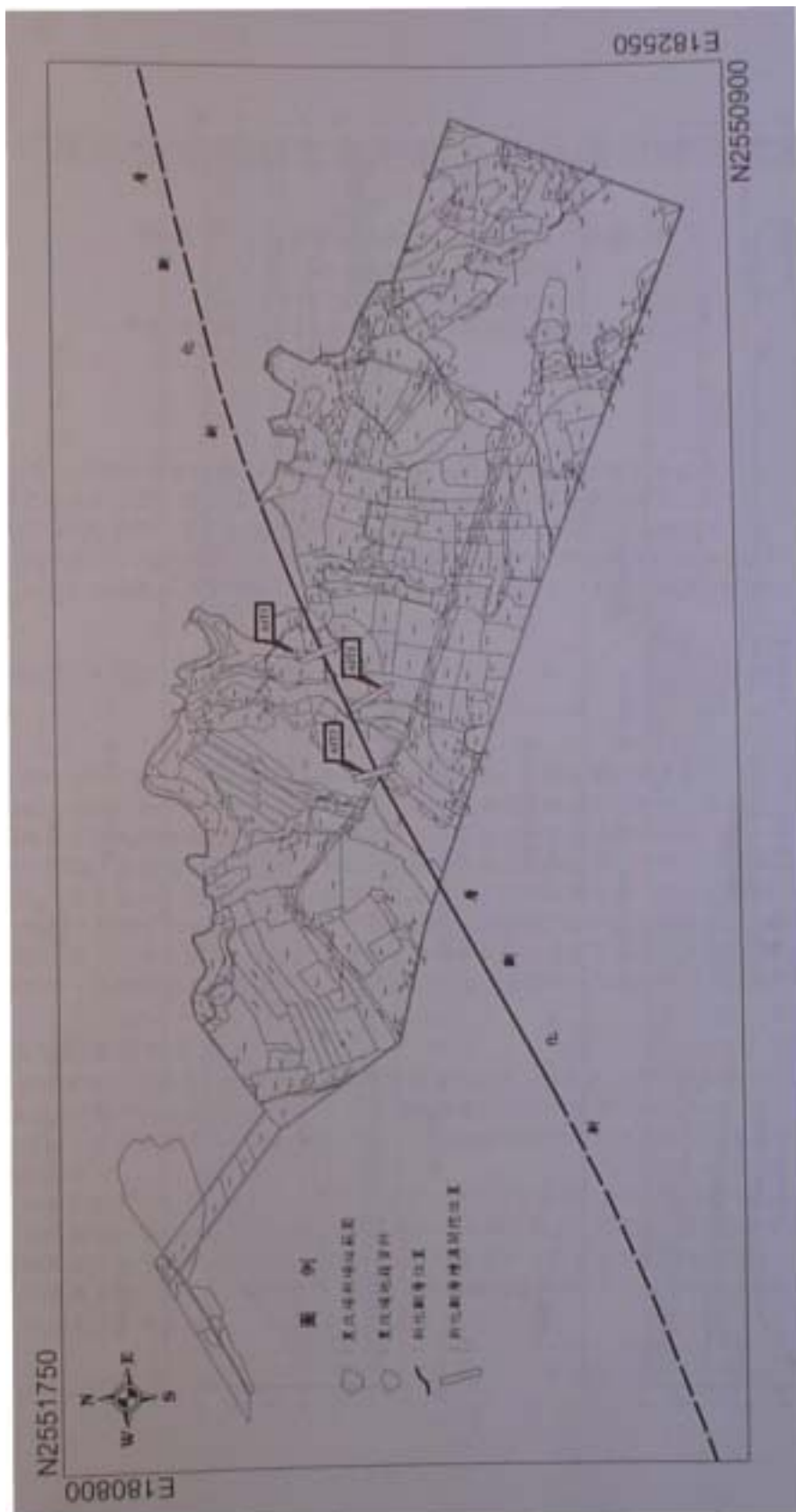


圖2.5畜牧改良場槽溝位置圖（李錫堤 2000）

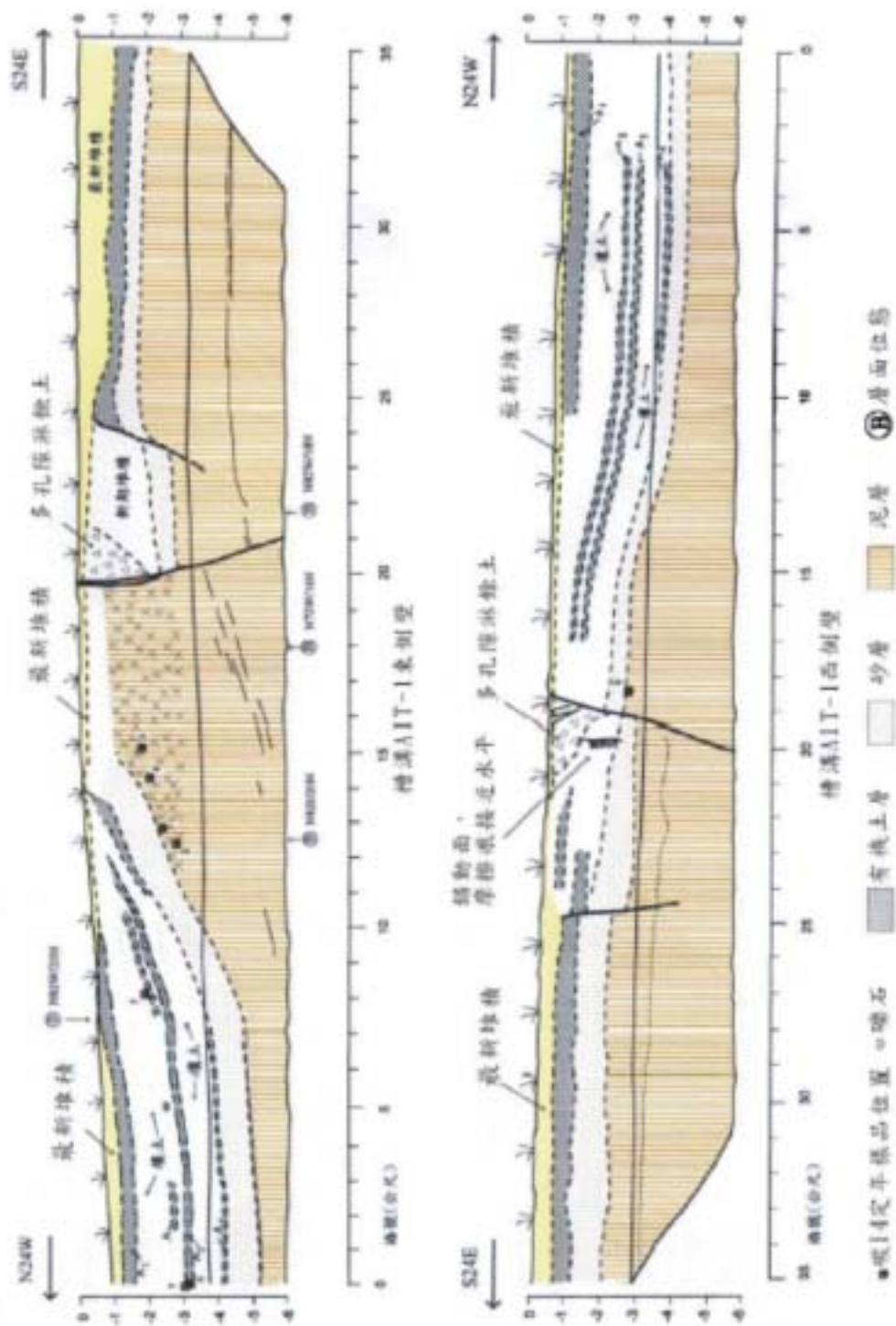


圖2.6槽溝ALT-1開挖地質紀錄圖 (李錫堤 2000)

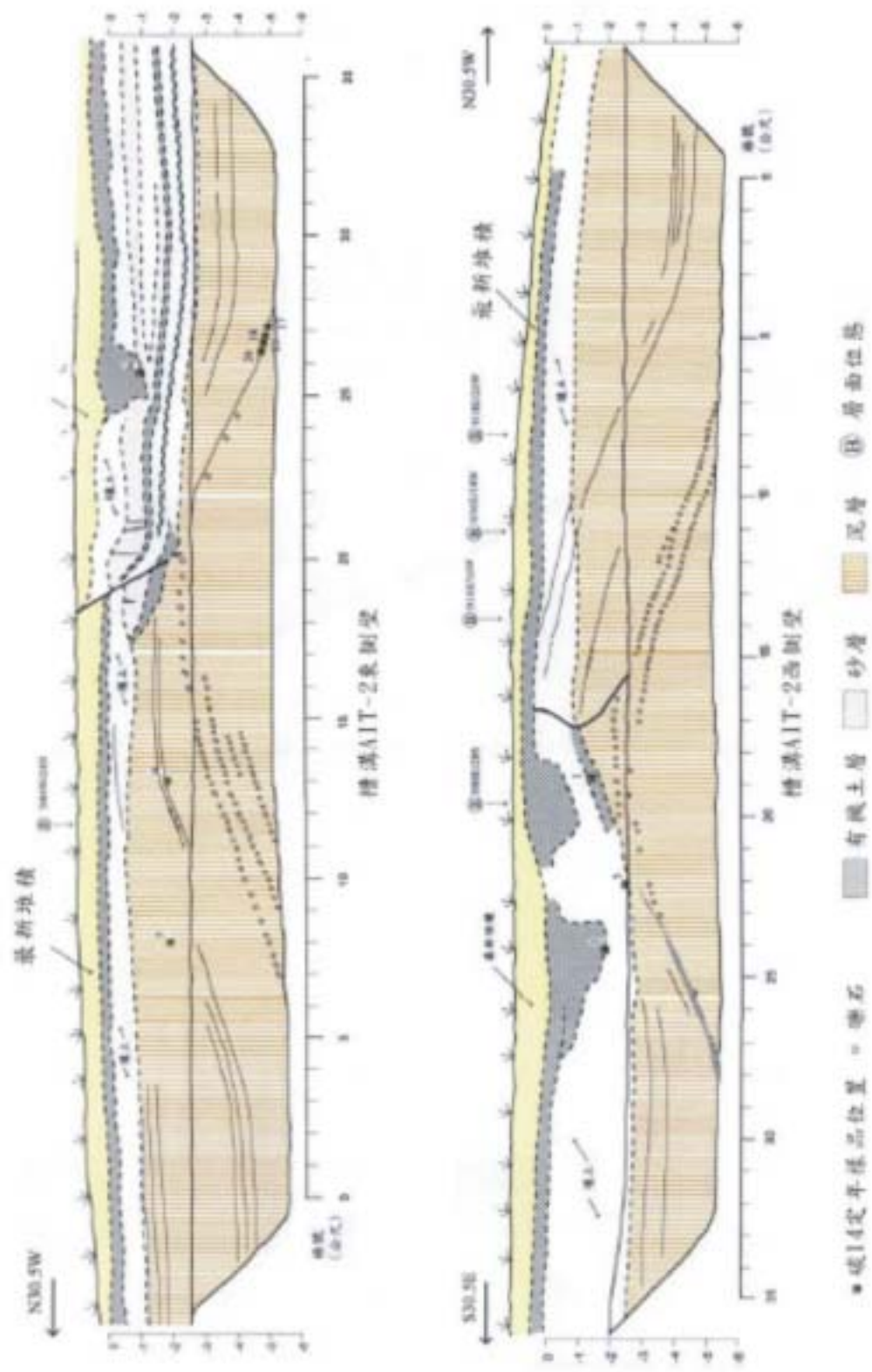


圖2.7槽溝ALT-2開挖地質紀錄圖(李錫堤 2000)

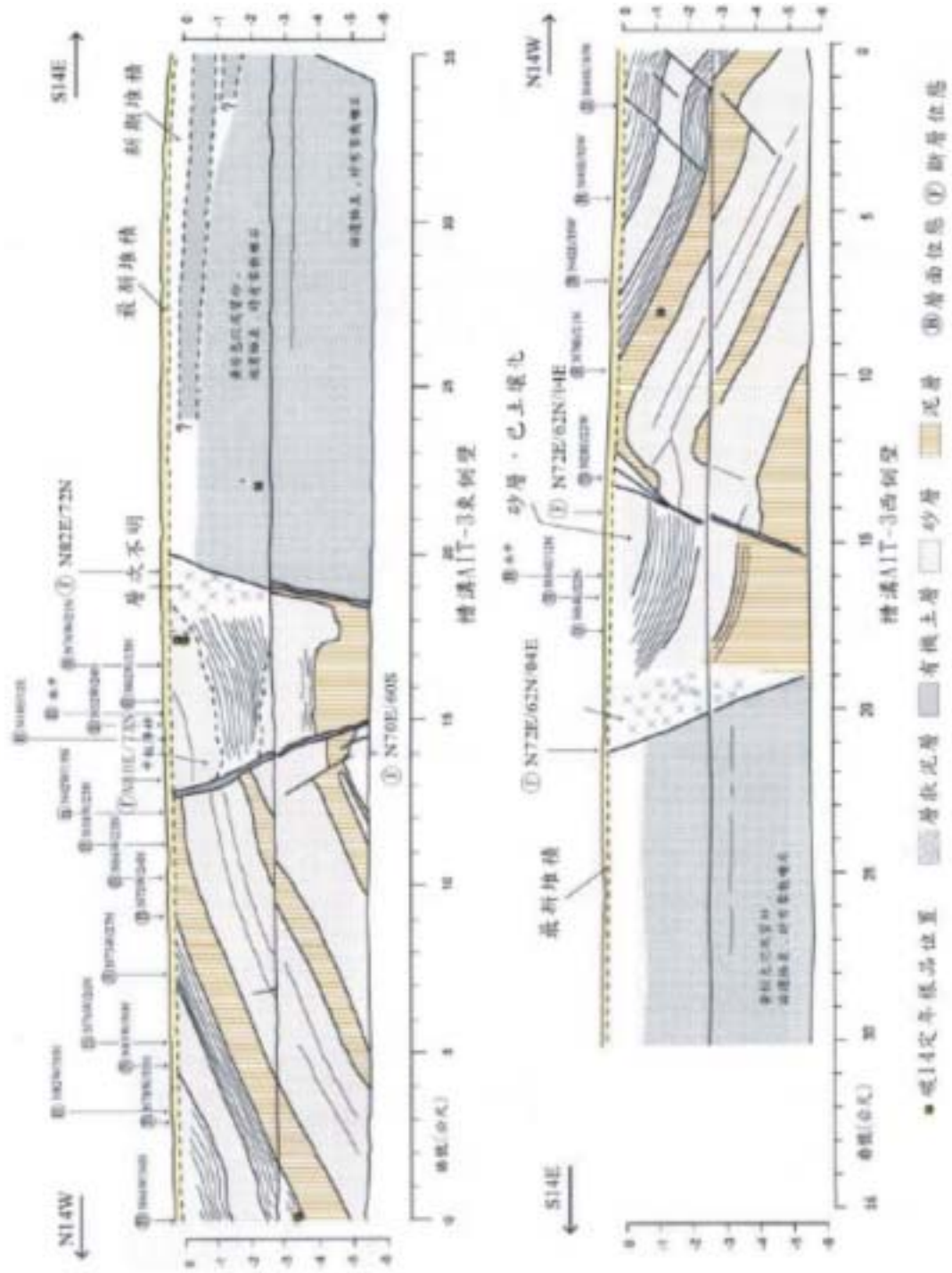


圖2.8槽溝ALT-3開挖地質紀錄圖 (李錫堤 2000)

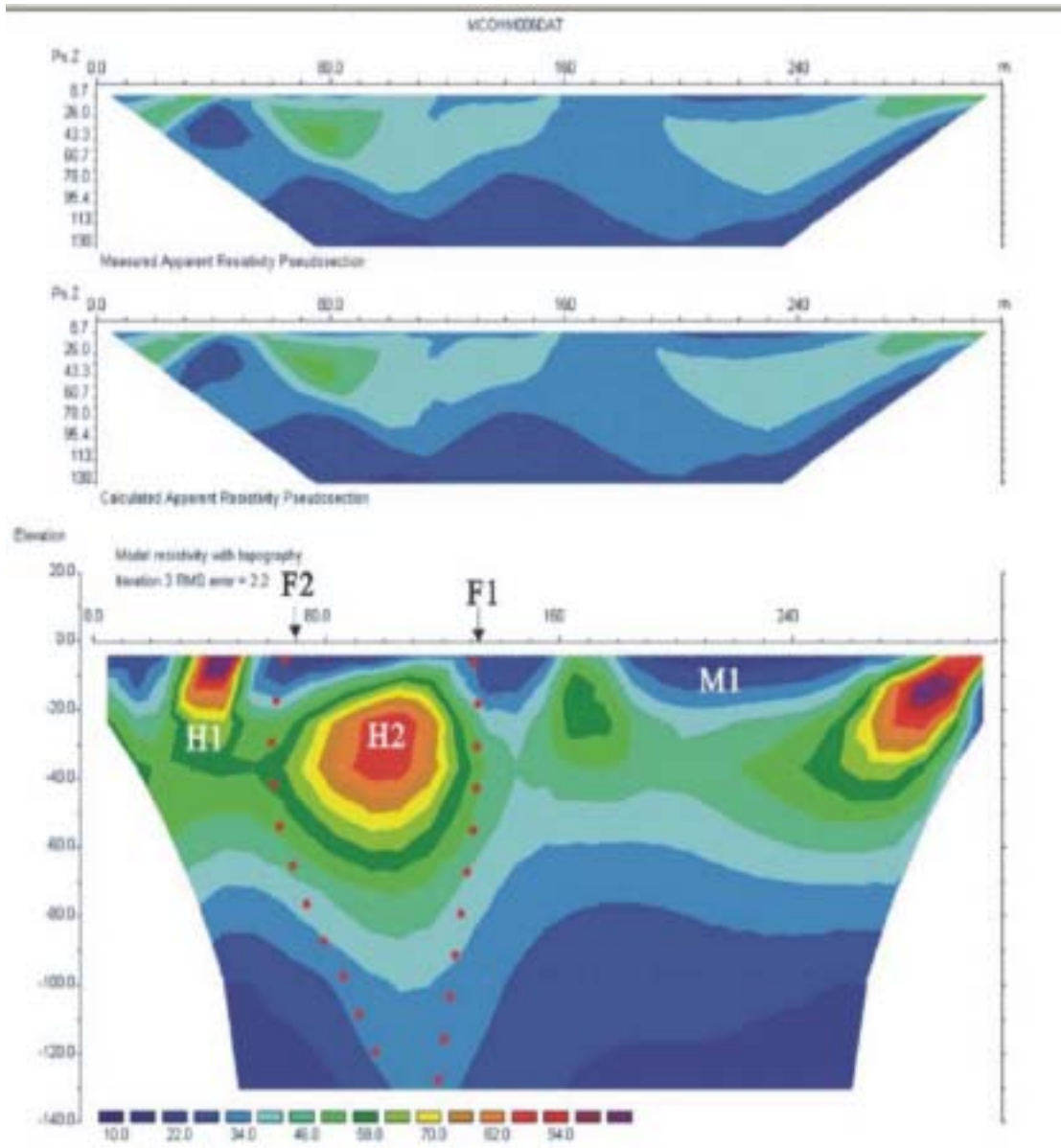
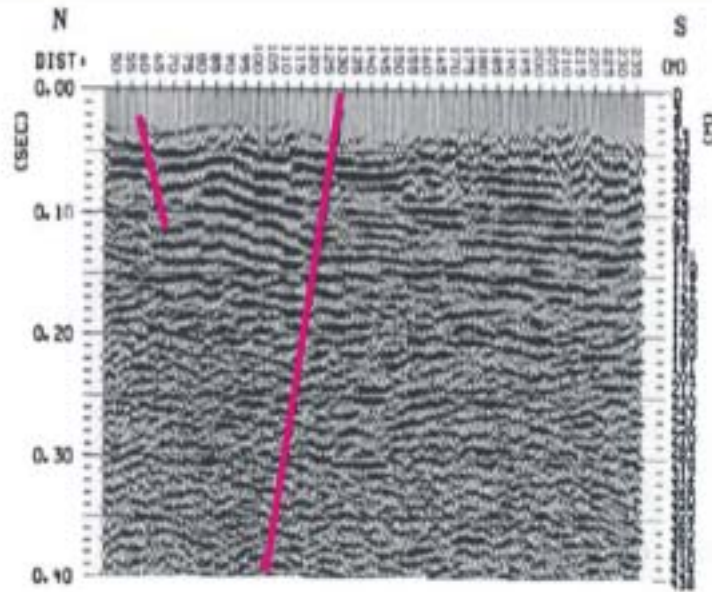


圖2.9畜牧改良場內之電阻率擬似剖面（張宏武 2001）

HHF1



HHF2

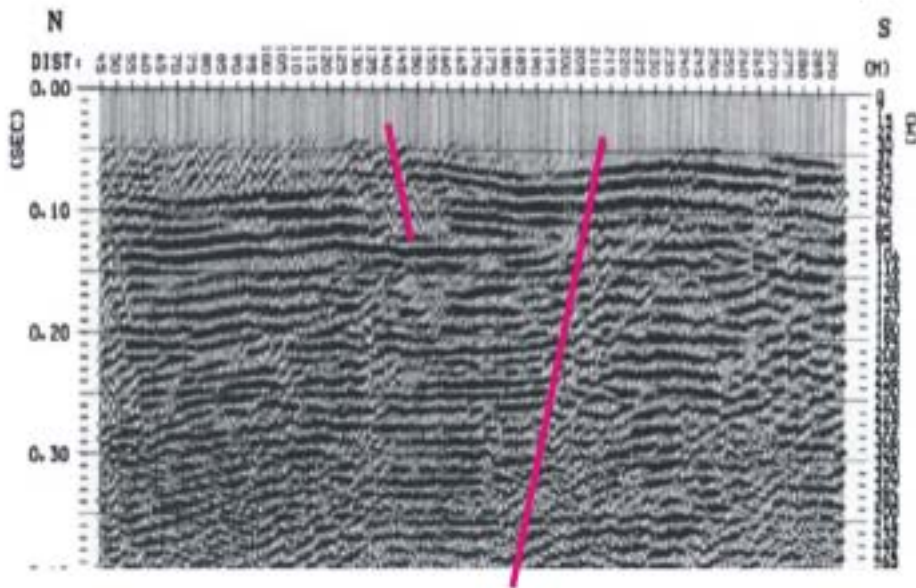


圖2.10畜牧改良場內之震測剖面(王乾盈等, 1998)

2.3 梅山斷層

2.3.1 地理分佈及發生時間

梅山斷層(圖 2.11)分部於嘉義縣內，是 1906 年嘉義大地震發生的地震斷層，為一右移斷層，呈東北東走向。斷層由嘉義縣梅山延伸至民雄，長約 13 公里。

2.3.2 地質狀況與地表破裂概述

斷層自民雄向西可能以盲斷層形式延伸至新港附近，並與梅山斷層切過頭斜山層及台地堆積而形成斷層崖。地質調查所調查陳厝寮沖積扇在坡度上有由緩變陡再變緩之明顯變化，在梅仔坑斷層(梅山斷層)通過之處，坡度為平均坡度之 3.5 倍。野外調查結果，「梅山階地」中之田埂錯移之現象可以辨識出來，且仍保存地震斷層抬升時所留下的崖。梅山斷層包括主斷層(梅子坑斷層)及支斷層(陳厝寮斷層)兩部份，這是伴隨 1906 年嘉義梅山大地震而發生的地震斷層；該次地震震央在三美莊(尾莊)與開元后之間，最大水平右移量為 2.4 公尺，最大垂直位移量為 1.8 公尺，開元后以東為北側上升，開元后以西為南側上升(Omori, 1907)。

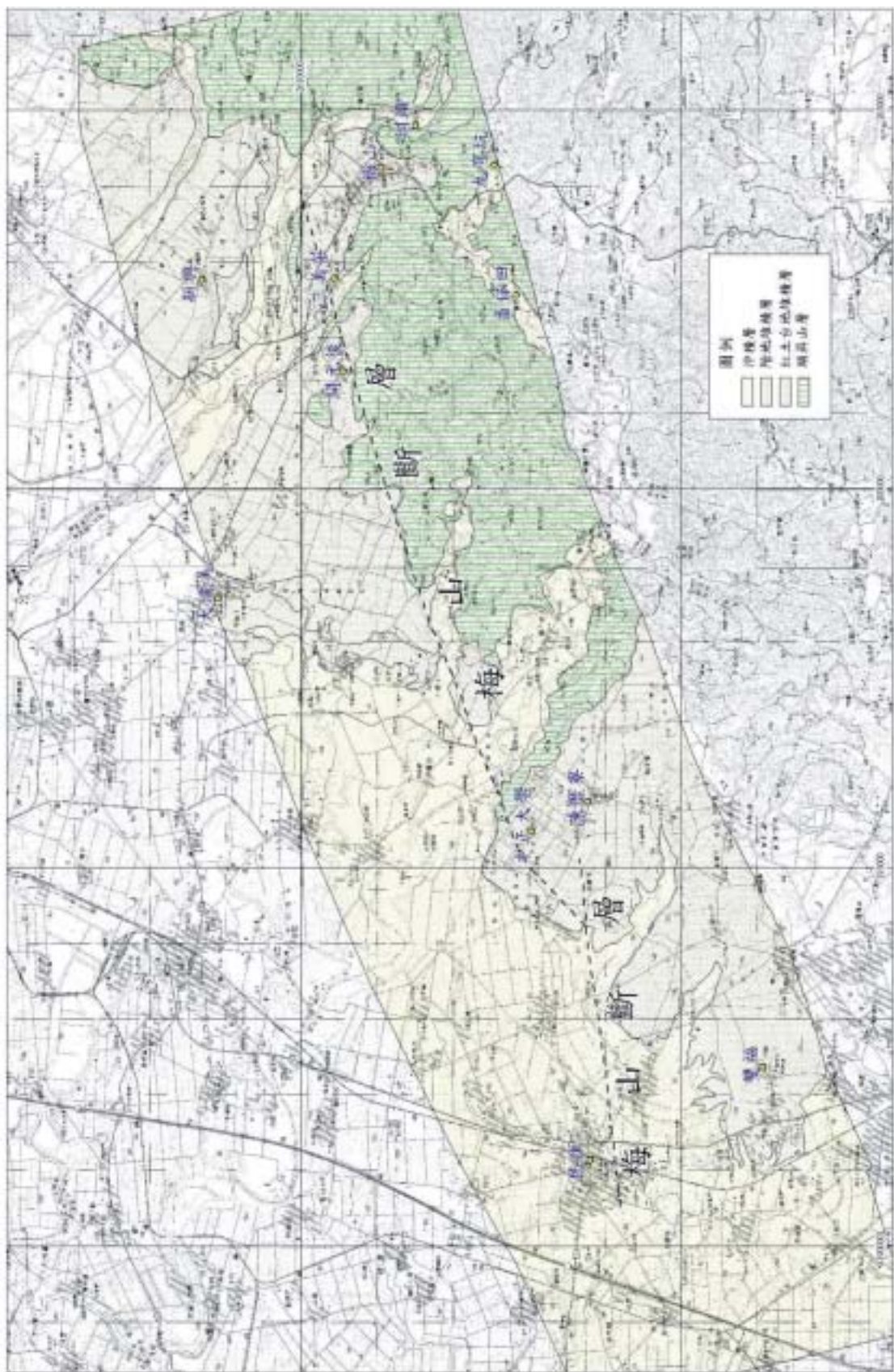


圖2.11梅山斷層位置及地質圖(地調所 2003)

徐鐵良與張憲卿 (Hsu and Chang, 1979) 認為斷層跡由新港至梅山、大湖，屬於右移斷層。柏尼刺 (Bonilla, 1977) 認為斷層的最大位移 2.7 公尺，走向變位 2.4 公尺，傾向變位達 1.2 公尺。黃明哲等 (1985) 在梅山斷層與 3 號公路交會處挖溝發現，斷層兩側的礫石層的垂直落差約 1.4 公尺；斷層之最大水平及垂直位移均發生於開元后與三美莊之間，此地區或為梅山斷層之中點，由此向東西兩方延伸，另在三美莊南方及東南方的更新統中發現三條正斷層的露頭，約與梅山斷層平行，推測可能是在梅山背斜軸部所形成之副斷層。林慶偉等 (1999a) 在三美莊附近量測梅山斷層的走向為北偏東 80 至 90 度向南傾斜 80 度；由斷面擦痕判斷為右移斷層，具少量逆移分量；而由粉砂岩所夾薄礫岩層比對所計算出水平斷距為 11.4 公尺，推論該露頭為斷層多次活動的結果。

2.4 研究區域主要地層

研究地區主要地層分述如下：

(一) 桂竹林層

標準地位於苗栗縣出磺坑油田附近桂竹林地區一帶，僅下部出露，以塊狀厚層灰色至黃棕色泥質砂岩為主要岩性，間夾灰色泥岩或

頁岩。底部之厚砂岩在地形上常造成懸崖峭壁。砂岩主要由黏土礦物膠結，淘選度差，分類上屬於混濁砂岩或次混濁砂岩，常遞變為泥岩或砂質頁岩，故有時層理面不易量測。出露於 菜窩等地層位較高者為由灰白色細粒泥質砂岩夾暗灰色頁岩組成，含若干炭質及煤質薄層，以及豐富之海相化石。(地調所 2000)

(二) 錦水頁岩

標準地位於苗栗縣造橋鄉錦水村為標準地，錦水天然氣田中央的小村莊。係由厚層深灰色的泥岩及砂頁岩薄互層為主的地層，富含生物化石及生痕化石。厚層泥岩中，通常夾有灰色凸鏡狀砂岩薄層，層厚約一公分左右，且其延伸性甚差。砂岩主要為單層厚度小於5公分的風暴層，常具平行紋理、波狀紋理或低角度交錯紋理。鄰近石岡的大甲溪河岸，曾被發現錦水頁岩下部含有大量的化石，殼體保存度尚佳，大部份呈壓扁外型，可能受車籠埔斷層逆衝的應力擠壓所致。(地調所 2000)

(三) 卓蘭層

標準地位於苗栗縣南部之卓蘭鎮，岩性以砂岩頁岩互層為主，且砂頁岩比例與砂岩單層厚度往上漸增，沈積物顆粒度也隨之變粗。砂

岩呈淡青灰色或淡灰色，由細至粗粒的混濁砂岩所組成。單層厚度約10-50公分，有時複合成數公尺的厚層砂岩，尤其在本層上部，可見數層厚約十幾公尺的複合砂層。由於砂岩和頁岩的抗蝕力不等，因此卓蘭層出露地區常出現單斜脊地形，或稱單面山的地形。砂岩的沉積構造主要以平行層理、低角度交錯層、圓丘狀交錯層理、波狀與壓扁狀構造為主，次生的沈積構造有崩移構造及荷重造成的球枕狀構造，頁岩呈青灰色或暗灰色，層厚一般自數公分至半公尺皆有。(地調所2000)

(四)頭崙山層

標準地位於臺中縣豐原市東南側之頭崙山，通常以砂岩、礫質砂岩與水平層狀或透鏡狀礫岩及厚層礫岩所組成，膠結甚為疏鬆。本層下部以厚層砂岩與砂頁互層為主，砂岩單層厚度平均在50公分左右，最厚可達2-3公尺，常富含漂木及炭質物，厚砂層間以數公分薄泥層或數十公分至數公尺的薄砂頁岩互層相隔。砂岩的沈積構造以平行層理與大型交錯層或槽狀交錯層 (trough cross-bed) 為主，砂層底部或交錯層理面上普遍有粒徑約數公分的礫石沈積。層序往上礫石薄層出現愈頻繁且厚度漸厚，礫徑大多在數公分至十數公分左右，呈圓形至次圓形。本層上部主要以厚層礫石及砂礫互層為主；出露於大肚山

丘陵的部份以厚層礫岩為主，內夾延續性不佳的透鏡狀砂層。(地調所 2000)

(五)階地堆積層

階地堆積層分布在區內各主要河流之沿岸，呈零星而側向不連續的分布，一般為河床下切或側向遷移所遺留之舊河道堆積，不整合覆於較老的地層之上。由未膠結之礫石為主，間夾透鏡狀薄砂層，層理面不明，偶可見到疊瓦狀的礫石排列，普遍淘選度不佳，未受紅土化作用影響，推測為更新世晚期以後的堆積物。有一地區出現紅土化現象，可能是侵蝕自紅土化地層之再積性紅土礫石階地，如大肚東側的階地。(地調所 2000)

(六)沖積層

分布在現生河流的河床、臺中盆地、大肚山-八卦山丘陵西側的沖積平原，主要為現代沖積層。根據數口鑽井資料顯示臺中盆地的沈積物以砂礫為主，偶爾夾有厚薄不一的泥層，地表有一層厚 1-3 公尺的表土，蓋在十公尺至數十公尺厚而普遍分布的砂質礫石層之上。(地調所 2000)

第三章 研究原理及方法

本研究使用直流電阻法進行地層的電阻率探測，測量電流在地層中建立的電位場來研判地層的電阻率。探測資料經逆推解釋得各深度地層的真實電阻率。

3.1 直流電阻法

直流電阻法的基本原理，為利用直流電或低頻交替直流電經由一對電流極 A、B 將電通入地下（圖 3.1），建立人為電場。藉由地層間介質不同，具有導電性之差異，可利用另一對電位極 M、N 測量電場在 M、N 之間的電位差（圖 3.1），此電位差與通入地層的電流強度、電極間相對位置及地層的導電性有關，並估算地下地層的導電性，進而推求地層視電阻率（Apparent Resistivity）。

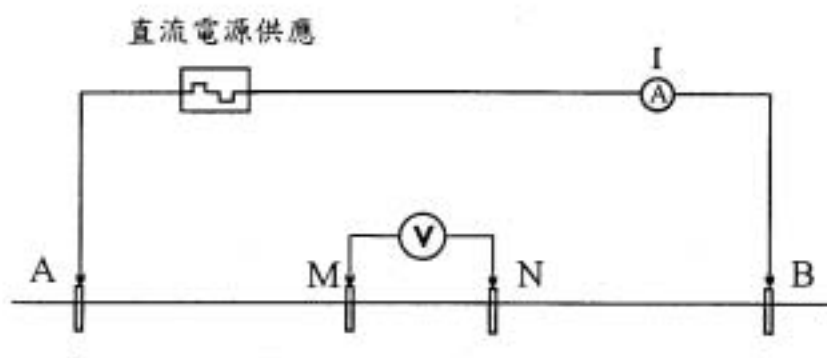


圖 3.1 直流電阻法電極排列

在一電性均勻的半空間介質中，由點電流源通以強度為 I 的電流，則在距離 R 之任一點的電位為(圖 3.2)

$$V = \rho I / 2\pi R \quad (3.1)$$

由通入地下的電流強度(I)、電位極間的電位差(ΔV)以及電流極與電位極間的相對位置，經數學推導，即可得到 ΔV 、 I 、電極間相對位置與地電參數(厚度與電阻率)之間的關係式。假設一任意四極排列，以 A、B 極通電流及 M、N 極度量電位差，其關係式為：

$$\begin{aligned} \Delta V &= V(\overline{AM}) - V(\overline{AN}) - V(\overline{BM}) + V(\overline{BN}) \\ &= \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{BM}} \right) - \left(\frac{1}{\overline{AN}} - \frac{1}{\overline{BN}} \right) \right\} \end{aligned} \quad (3.2)$$

式中 ΔV ：電位極間的電位差

ρ ：介質的電阻率

I ：通入地下的電流

\overline{AM} 、 \overline{BM} 、 \overline{AN} 、 \overline{BN} ：電流極至電位極間的距離

式(3-2)可縮寫為式(3-3)

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3-3)$$

$$\text{式中 } K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{BM}} \right) - \left(\frac{1}{\overline{AN}} - \frac{1}{\overline{BN}} \right) \right]^{-1} \quad (3-4)$$

稱為幾何排列因子 (Geometric Factor)，依電極間相對位置而定。

要算出此均質等向性半空間介質的電阻率，只要將 K 、 I 及各電極的相對位置測量出來即可；但於地層實際上並非均質半空間介質，真實的地層可能由多層組成，甚至是非均勻、非等向性，因此根據式(3-3)算得的電阻率稱為「視電阻率」(Apparent Resistivity, ρ_a)表示為：

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3-5)$$

通常視電阻率並不一定是地下各電性地層的真实電阻率，而是表示在對應之電極排列下，所有小於此深度之電性地層的綜合效應。地下各電性地層的電阻率及厚度需要經過資料處理才可求得 (Koefoed, 1979)。

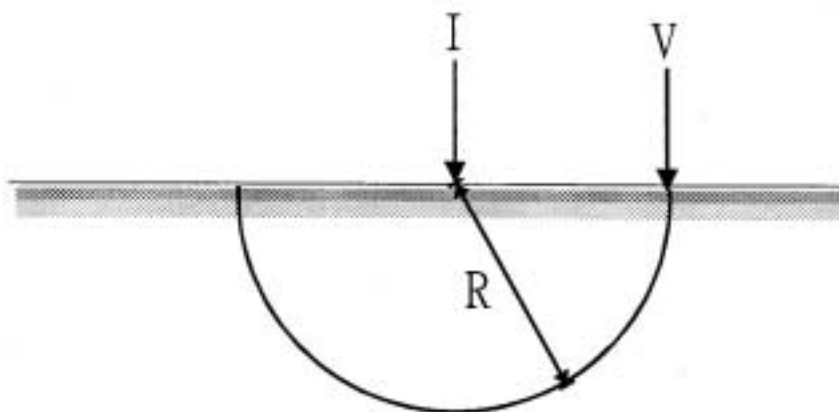


圖 3.2 單電流極在均質等向半空間之電位示意圖

3.2 直流電阻法施測方法

本研究採用雙極排列法，電極排列是四極架構。C1 與 C2 為電流

極， P_1 與 P_2 為電位極。其排列方式是將四個電極中之一個電流極 C_2 與一個電位極 P_2 分別置於遠處，且彼此相距甚遠，此二電極稱為遠電極（圖 3.3）。

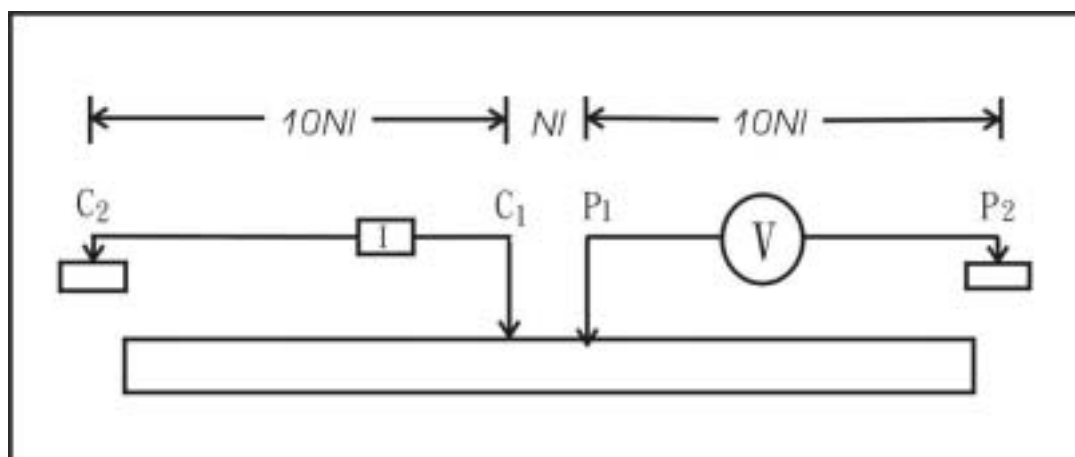


圖 3.3 雙極排列法施測示意圖

實地探測中之儀器配置如圖（圖 3.4）在欲探測位置的一條直線上以等間距列置多支電極（圖 3.5），依次作為 C_1 電流極與 P_1 電位極之用，其施測步驟如下：

步驟一：施測時先以第 1 支做 C_1 電流極，第 2 支、第 3 支……第 $N+1$ 支逐次做 P_1 電位極，就可以測得以第 1 支電極為 C_1 電流極之由淺而深的地層訊號

步驟二：接著改以第 2 支電極為 C_1 電流極，第 3 支、第 4 支……第 $N+2$ 支逐次做 P_1 電位極，如此就可以測得以第 2 支電極為 C_1 電流極之由淺而深的地層訊號

步驟三：以此方式逐次改變 C_1 與 P_1 極而測得整個剖面的訊號。 N 稱為

探測的層數， N 越大測得越深，通常以 Na 為探測深度， a 為相鄰電極之距離。

將測點以等間距排列在一直線上，測點間距小，分析得的電阻率分布如同照相一般，因此稱為影像剖面探測。雙極排列法所受到的地形限制較小，資料品質穩定可靠，並且在施測時可以減少更換電極的數目，以達到節省施測時間的效果(Griffith and Barker, 1993)。

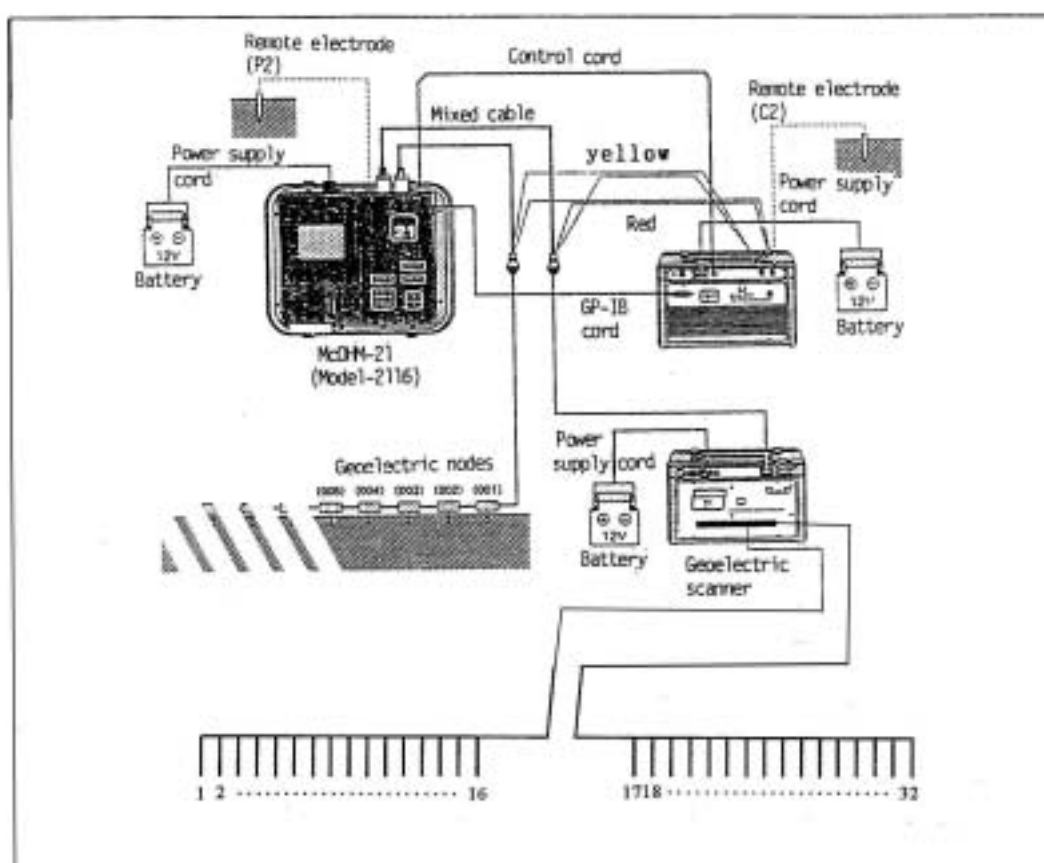


圖 3.4 野外施測儀器配置圖

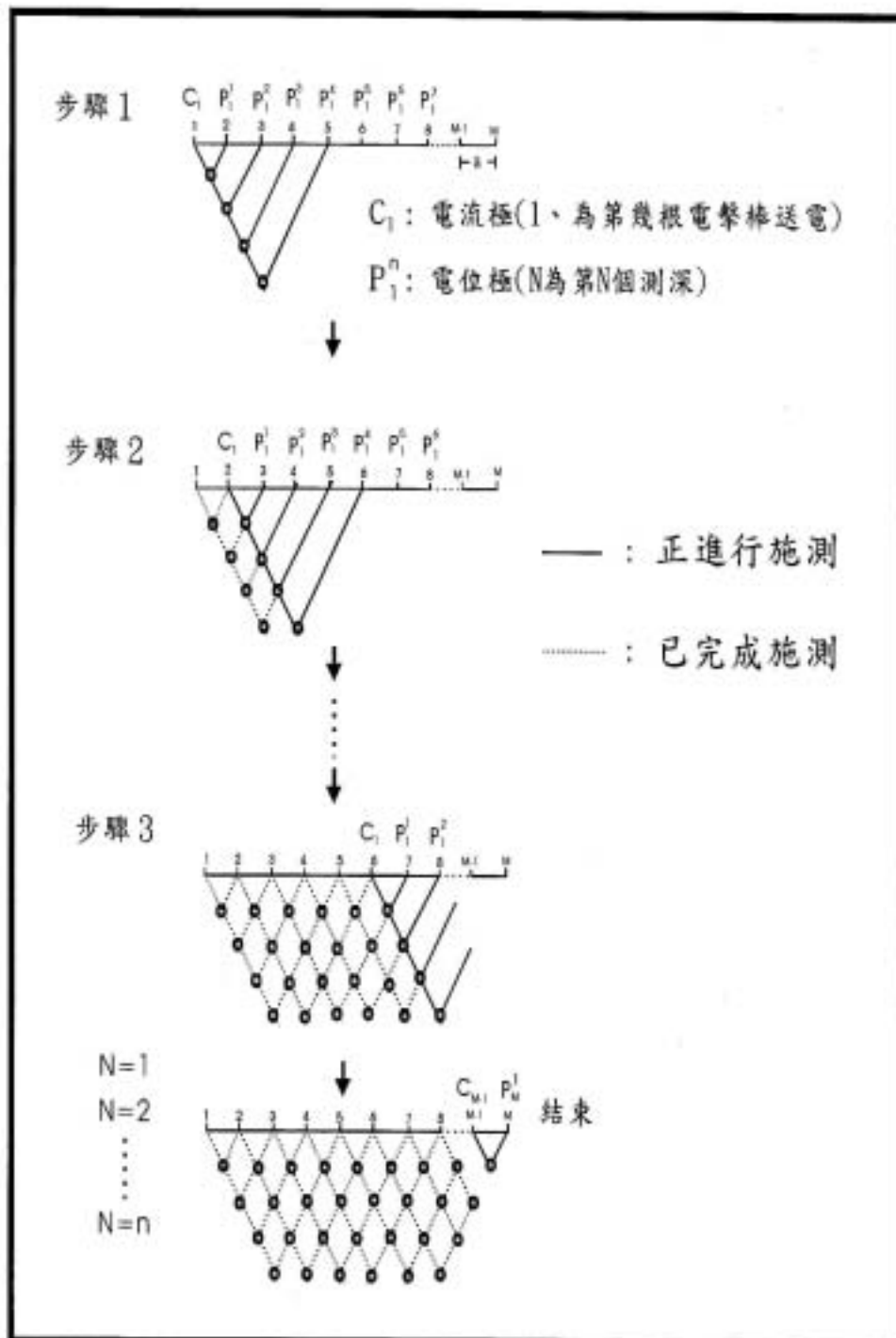


圖 3.5 雙極排列法施測過程之電極更換示意圖

3.3 直流電阻法儀器系統

本研究中之電阻率影像剖面探測使用日本 OYO 公司製造的 McOHM21, Model-2116 地電探測儀施測 (圖 3.4), 是針對二維地電阻測勘所設計。本儀器具有將輸入的直流電源改變成交替式直流電輸入地下以避免地層極化效應。該儀器輸出最大電壓為 200 V 交替式直流電, 電流具 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 mA (毫安培) 八等級, 另可外接功率增幅器 (power booster), 使電流提升至 400 mA, 訊號靈敏度達 6 μ V, 並具訊號疊加功能, 可將不良資料去除。本儀器有電腦功能, 可做程式化控制施測, 資料不良會重複施測, 斷訊會發生警示, 並在面板上出現錯訊標示。此儀器亦具有一螢光幕顯示目前的設定、輸出電流及量測電位等狀況斷。

3.4 資料處理與解釋

電阻率影像剖面探測之觀測資料點的位置分布就如同圖 3.5 一般, 計算出視各資料點之視電阻率並繪成擬似剖面 (pseudosection)。電阻率影像剖面探測之資料解釋使用二維逆推法。逆推解釋程式之順演使用有限元素法 (Finite element method) 做數值計算。逆演使用平滑限制最小平方法 (smoothness-constrained least-squares method) (Loke, 1998)。

資料解釋程式將地形一併納入元素區塊，消除水平地表模型需作地形效應修正的困擾。順演與逆演作多次疊代運算達到結果收斂至穩定。

野外所測得資料若為二維地電阻法，以 Res2dinv 程式處理，這個軟體為美國 Advanced Geosciences, Inc. 所研發，資料處理流程（圖 3.6）如下：

1. 將探勘資料匯入以 Res2dinv 程式，先檢查測勘資料點數目是否相符，再消除壞點。
2. 若地表非水平，要設地表高程參數。
3. 根據野外觀測值，程式自動設一初始模型以進行順推模擬，計算理論視電阻率，並和測量視電阻率做比較，計算剩餘值後，若收斂，則將此逆推地電阻影像存檔。
4. 若未達收斂，則必須修正模型參數，採用 Smoothness-Constrained 最小平方法（deGroot-hedlin and Constable, 1990；Sasaki, 1992）及傳統的 Gauss-Newton 法來作修正。逆推法則中也採用 Quasi-Newton 最佳化技巧（Loke and Barker, 1996）為基礎之最小平方法。修正模型參數後再順推模擬，重複上述步驟，直至收斂為止，即可存檔。

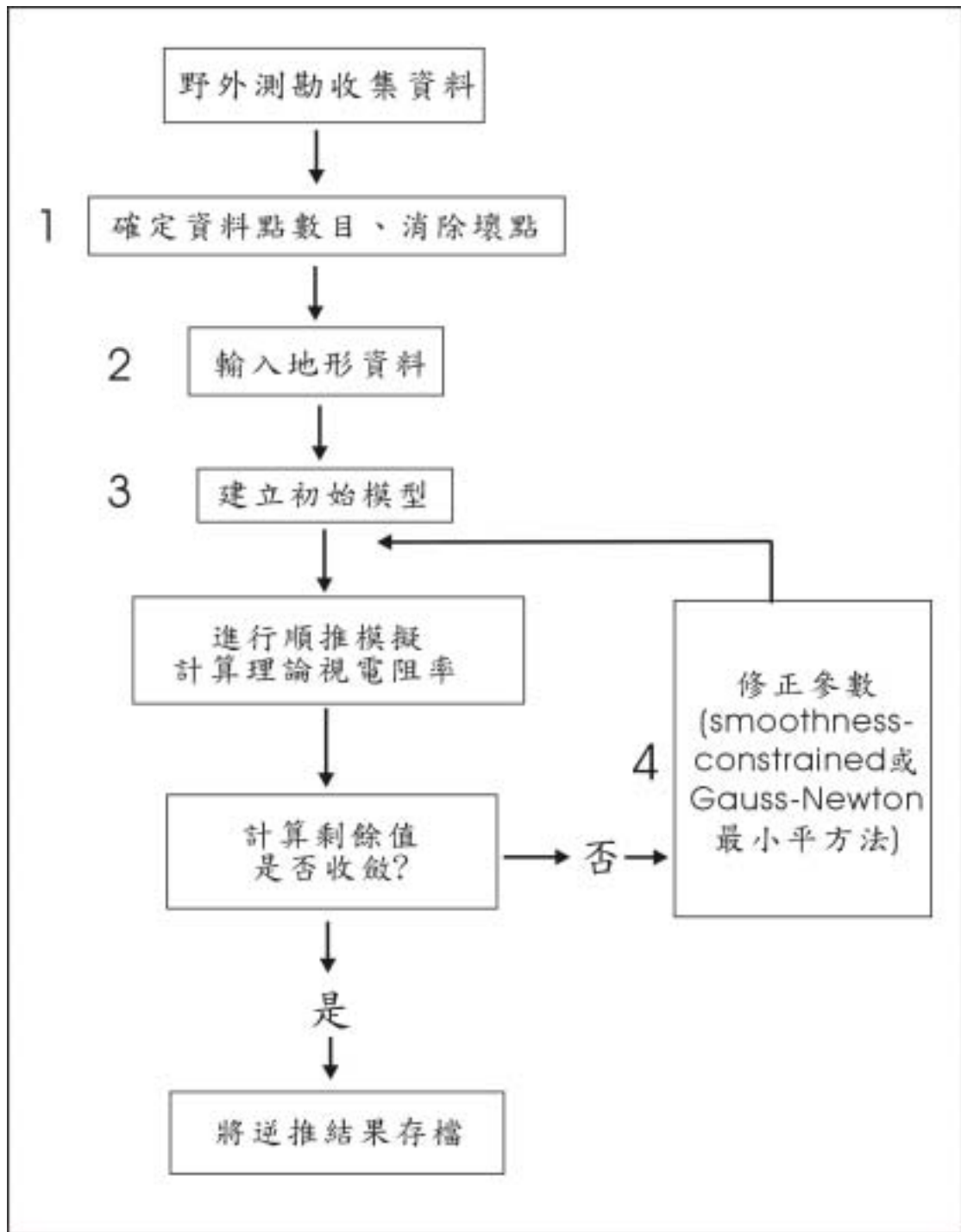


圖 3.6 Res2dinv 資料處理流程圖

第四章 結果與討論

本研究區域皆位於槽溝附近，在取適當距離之後，平行槽溝進行地電阻率的施測及資料彙集。共在竹山、霧峰、新化、梅山完成六條測線並對照四個槽溝資料，以 1)分析 2)對照 3)推論的順序，對地電阻率資料與槽溝所見實際狀況進行比對，並對槽溝所未見到區域的進行地體構造的判斷。

4.1 竹山測線

4.1.1 竹山地區地電阻率測線

竹山測線位於竹山鎮山崇里竹山秀傳醫院南方(圖 4.1)，此處在 921 之後地表起伏比之前更加明顯，北側為麓山帶，並種植有檳榔；走向大致呈東北西南的方向。在此分別進行長短展距各一的測線；短展距測線 AA' 電極間距為一公尺，共有 64 電極，長度總計為 63 公尺。長展距測線 BB' 電極間距為五公尺，共有 44 電極棒，長度總計為 215 公尺。

本測點以兩不同展距的測線，利用對不同深淺、不同解析的資料；分別做出細部及整體的分析。

圖 4.2 之解釋結果含實測擬似剖面(上)、計算理論的擬似剖面

(中)和逆推得的電阻率影像剖面(下)，逆推結果之均方根誤差為 2.4%。

電阻率影像剖面結果顯示：地表下方有地電阻率達 230~400 $\Omega\cdot m$ 的高電阻區，而北方的高電阻區較南方的高電阻區接近地表。在距 A 端 12~20 公尺處以及 30~45 公尺處有低電阻區 45~80 $\Omega\cdot m$ ，此二低電阻區情況類似，但方向不同；而在地表距 A 端 20~35 公尺 45~50 公尺處也都有局部達到 100 $\Omega\cdot m$ 以上的高電阻。

探測結果顯示：地表下有高電阻率的礫石層，而在距 A 端 12~20 公尺處以及 30~45 公尺處有電阻率不連續面，此二不連續面切斷高電阻率的礫石層，並與地表高度落差一致，研判可能與斷層有關。然而此測線較短，故可見範圍有限。該二區域亦可能是局部的低電阻率構造，故將配合長展距測線 BB' 進行分析。

圖 4.3 之解釋結果含實測擬似剖面(上)、計算理論的擬似剖面(中)和逆推得的電阻率影像剖面(下)，逆推結果之均方根誤差為 2.4%。

電阻率影剖面結果顯示：測線 B 端地表下約十公尺處有一厚約 30 公尺的高電阻率層，電阻率 200~800 $\Omega\cdot m$ 。此高電阻率層朝北漸接近地表，厚度也減少。在距 B 端 100 公尺左右開始出露到地表，並且在超過 120 公尺處，厚度減到 15 公尺左右，此高電阻層在距離 B 端

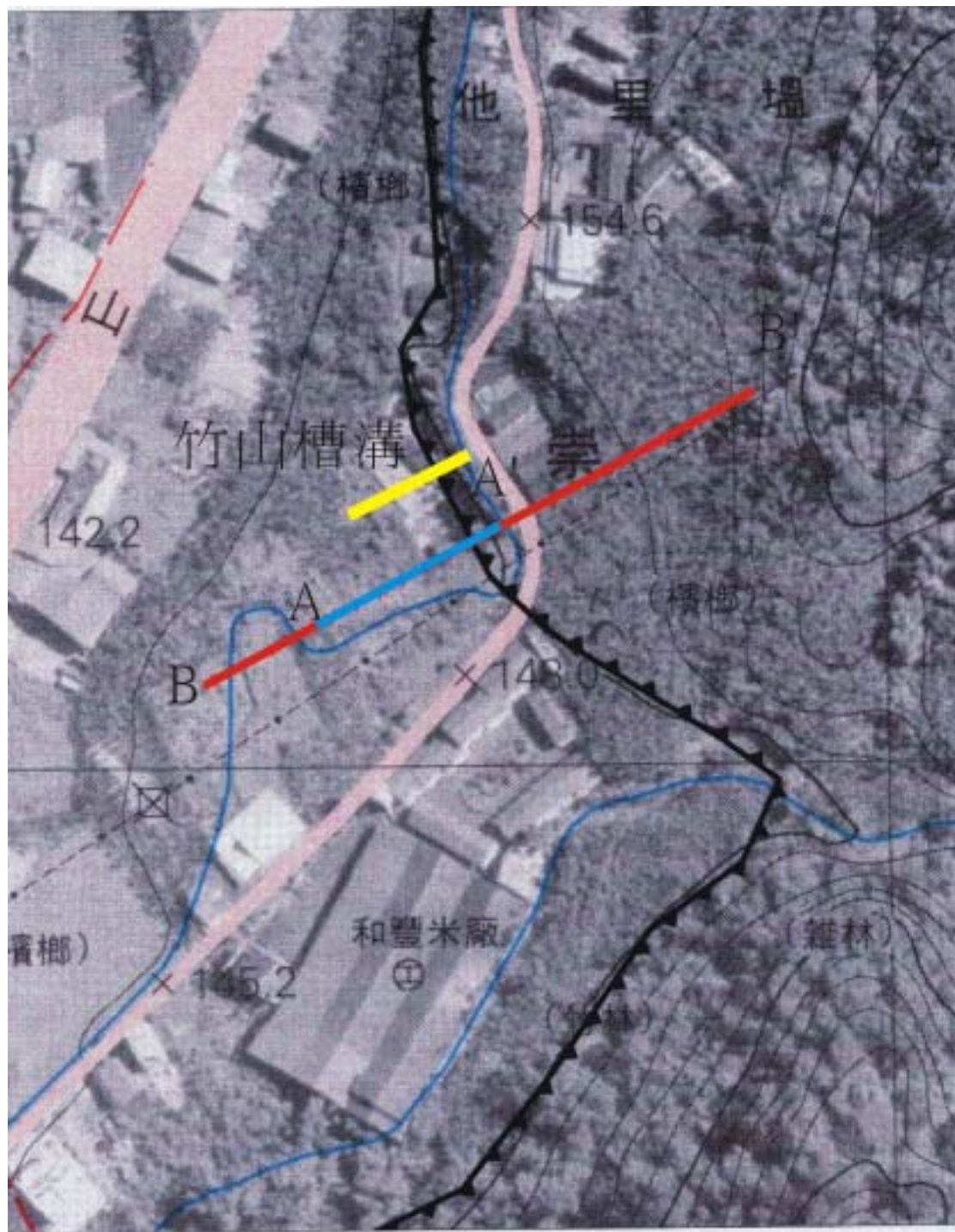


圖4.1竹山AA'及BB'測線位置圖

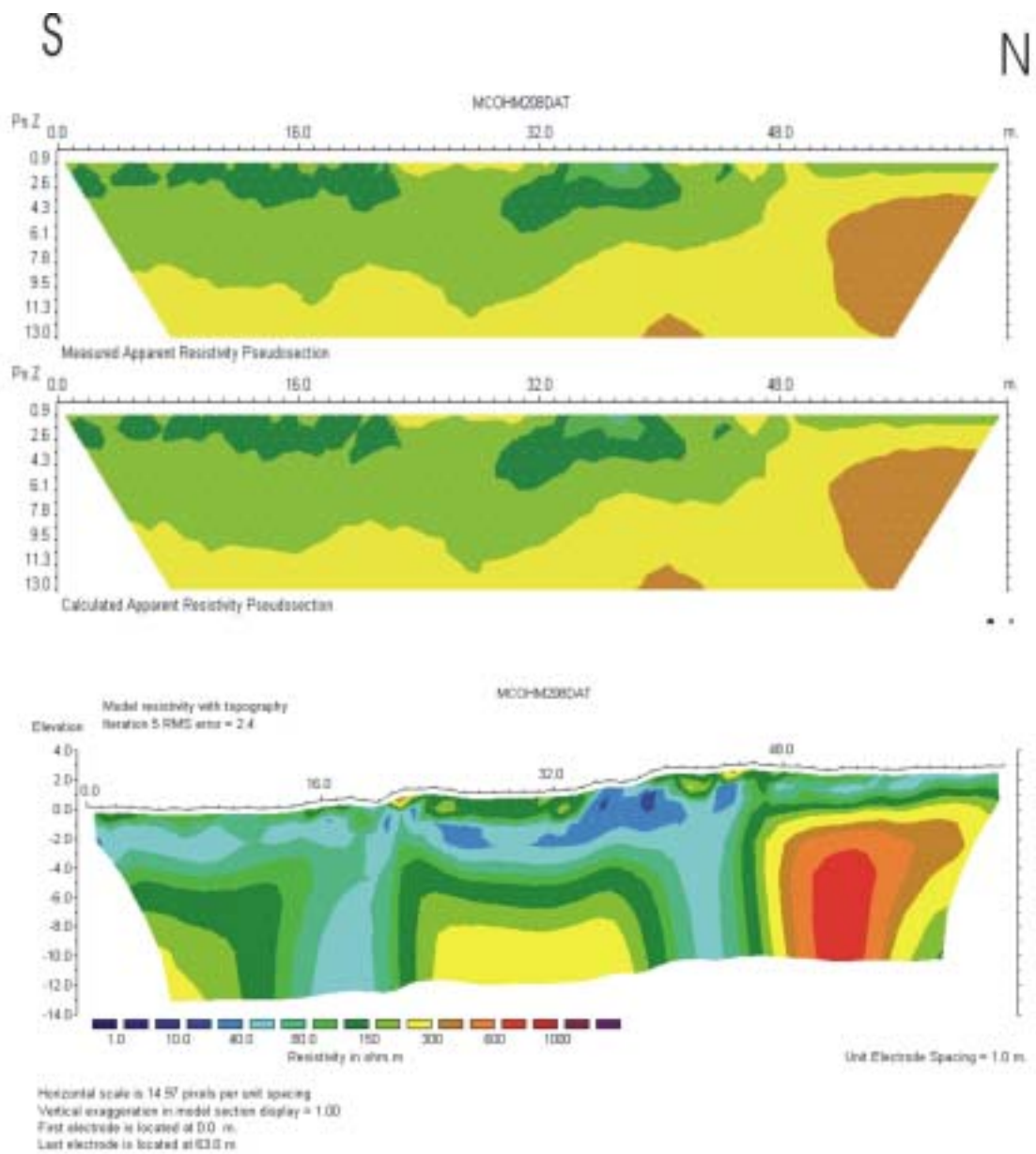


圖4. 2竹山剖面之視電阻率擬似剖面與解釋結果

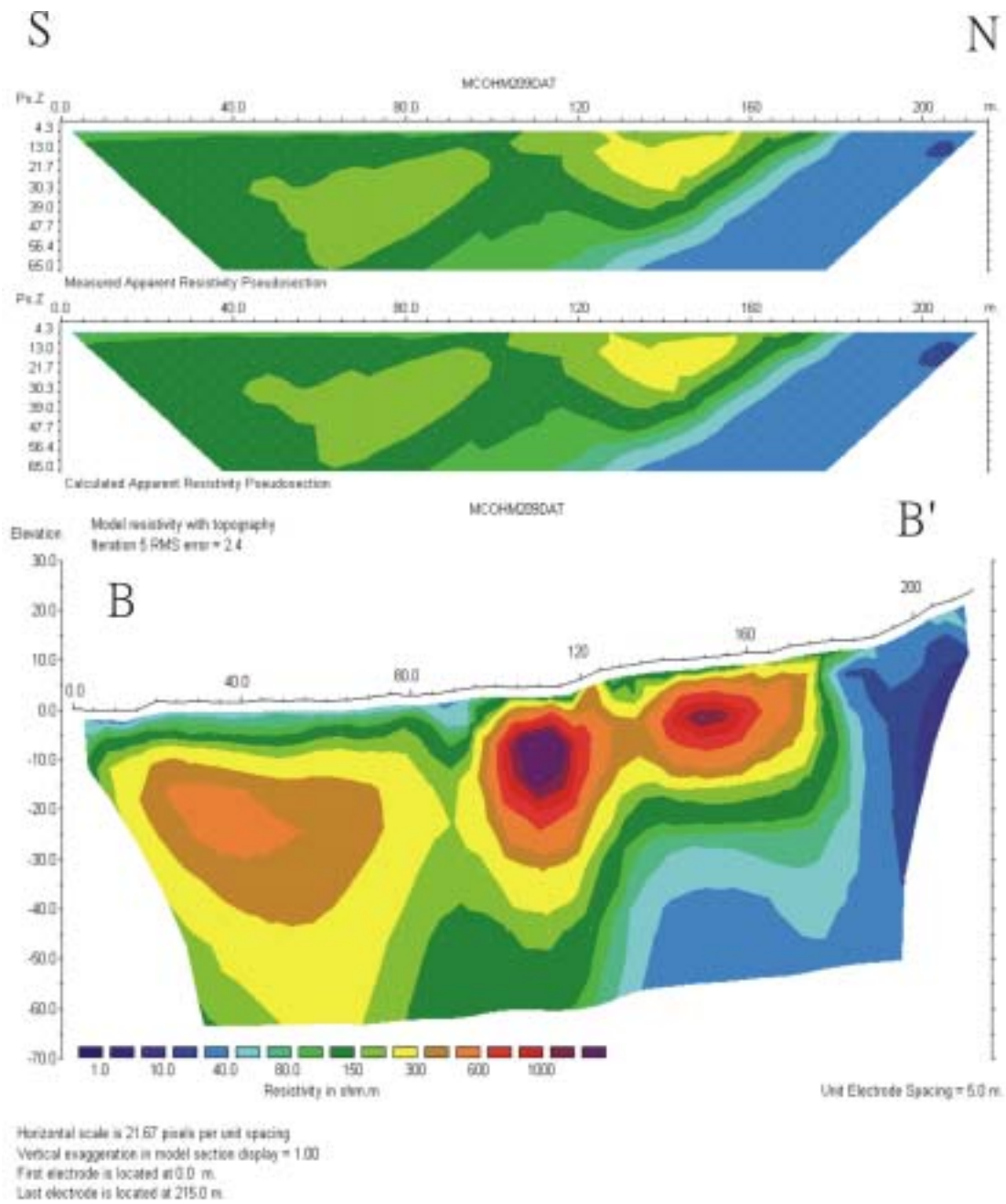


圖4. 3竹山剖面BB'之視電阻率擬似剖面與解釋結果

85~95 公尺處被一 30~200 Ω -m 的低電阻所截斷；此高電阻層也在距離 B 端 175 公尺處結束。距離 B 端 185 公尺以上的部份，則皆為電阻率在 60 Ω -m 以下的低電阻區。此一低電阻區朝南深度漸增，與朝北漸淺的高電阻區銜接。

探測結果顯示：測線 B 端地表下方為礫石層，此礫石層朝北漸漸接近地表，並在距離 B 端 100 公尺處開始出露。在距 B 端 85~90 公尺處則有地電阻不連續的現象，此不連續又與地表的起伏點相符合；判斷即為斷層帶。而在距 B 端 175~185 公尺處地電阻率陡降，判斷地層已由頭嵛山層進入錦水頁岩，另外在距 B 端 115~125 公尺處以及 175~185 處，除了地電阻的變化外，地表的起伏也有一定程度的變化，研判應該為較早期的斷層活動。而在測線 AA' 上，距 A 端 12~20 公尺的地電阻不連續面在長展距測線 BB' 上並無對應出不連續狀況，研判應該為一淺部的局部構造。

4.1.2 竹山地區槽溝剖面

槽溝工址位於南投縣竹山鎮的竹山汽車旅館前方，槽溝長度約五十公尺，寬度約二十公尺，深度約八公尺共分為五階段開挖。上下盤地層層序皆對比良好，上盤出露最老的部份為礫石層，基盤尚未露出；礫石層之上為黃棕色的砂土層及灰白色的泥質地層，淺部有四層

棕黑色的有機土層，各層理非常清楚。槽溝的觀察結果顯示，斷層上盤岩層因為撓曲變形而呈現背斜構造；並有滑移現象，斷層下盤岩層則因撓曲變形呈向斜構造；斷層則切過兩者間之褶皺。接近斷層中心的部份，地層扭曲嚴重，受拉張及壓縮之後的結果，也使層面顯得較薄；相對較遠離斷層帶之地層則大致維持水平的狀態，斷層兩側層序並可得到良好的對比。

斷層上盤表層為經倒轉後的礫石層，其下為砂土及泥岩的互層，再最下面則是礫石層。下盤淺部則為純度較高的砂岩，顏色呈灰白色，其下則為深色的有機土層，漸往深部則為砂土及泥岩的互層，而此互層也與在上盤的互層呈現清楚的對照。

4.1.3 竹山地區測線與槽溝之比較

竹山地區槽溝狀況優良，所開挖地點跟角度也非常理想。得到了完整的摺皺與斷層的資料。將槽溝與地電阻剖面相對照，對於斷層位置、走向都能夠清楚的比對出來（圖 4.4）。

測線 AA'，距 A 端 30—45 公尺處的低電阻不連續面，與斷層所在位置十分吻合，然而斷層實際的角度比地電阻率圖像略大，應為該斷層面附近正好為礫石與泥岩接觸面所致，電阻率高低差異大的成份，影響了原本斷層在視電阻率圖上的圖像；在測線中段淺部的高電

阻區塊，則為地表的高純度砂岩。不連續面在地表的出露處，電阻率則更達到 20 Ω -m 以下，此處以斷層泥為主，並富含水分，故電阻率較低。

測線 BB' 與實際開挖結果比對，除可推斷出斷層所在的位置，測線上盤出露的礫石層也清晰可見。在距 B 端 120 ~ 130 處所出現的低電阻區及地表高程差，可能為古斷層活動區塊。根據兩者比較結果，在地表觀測到的礫石層與地電阻的剖面相似度高，故此斷層兩側的礫石層在地電圖上所顯現出來的可信度頗佳。對照整體地表下的高電阻區塊，被兩個低電阻率區塊截斷成為兩階，共三層的圖像，並規則遞減，推測此高電阻率區塊應為同一層的礫石層，因受斷層活動而有不同層度的抬升，並受不同程度的侵蝕。該測線隨後也如同預測在南側開挖到礫石，證實地電率剖面結果的可靠度非常高。

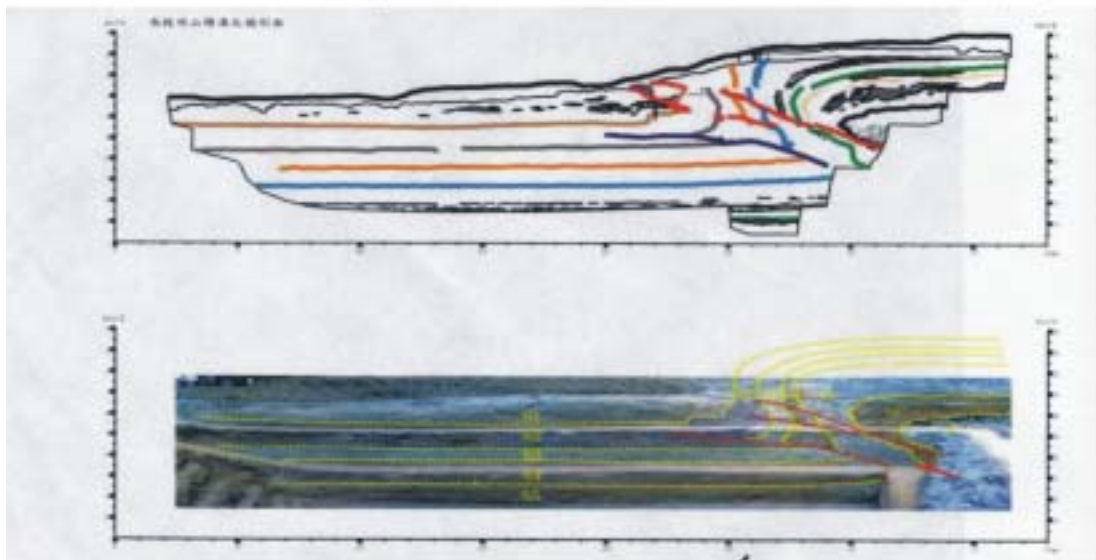
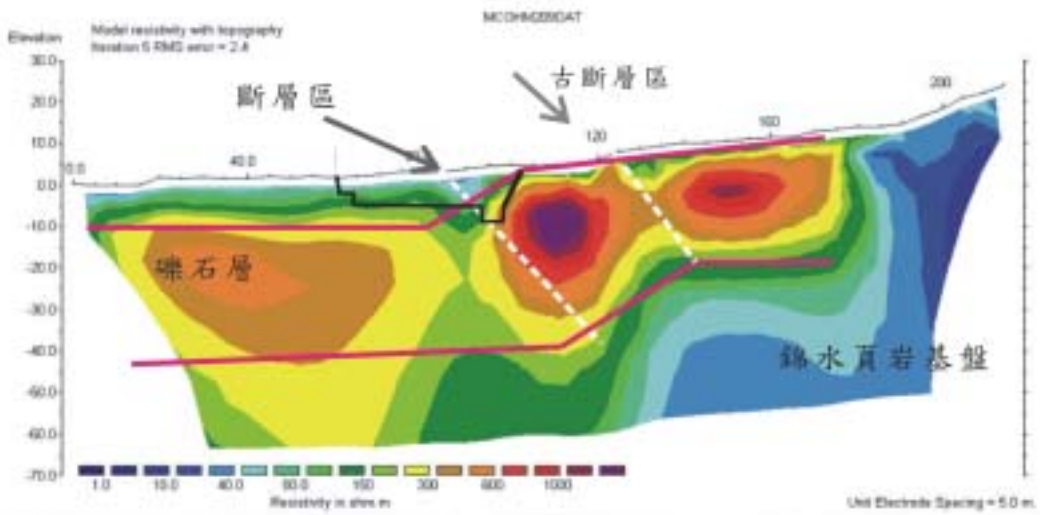
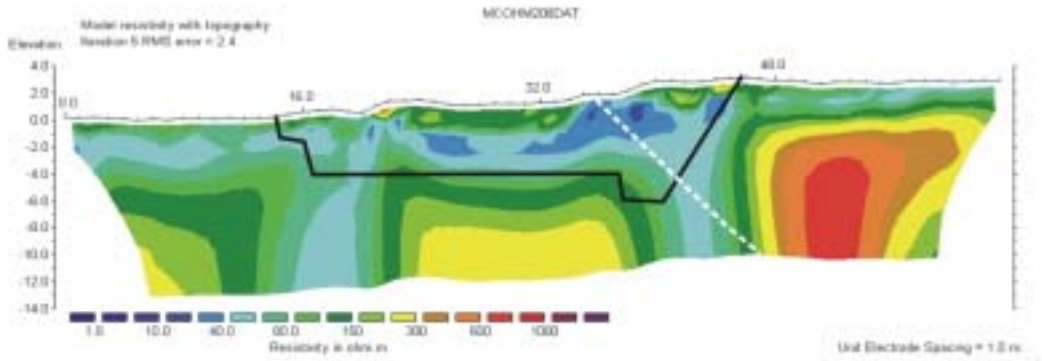


圖4.4竹山地區測線與槽溝的比較

4.2 霧峰測線

4.2.1 霧峰地區地電阻率測線

圖 4.5 為霧峰測線 CC'，本測線位於霧峰第一變電所東方 300 公尺處的畚箕湖。測線之電極間距為三公尺，共有 32 電極，長度總計為 93 公尺，呈北-南走向。

圖 4.6 解釋結果含實測擬似剖面(上)、計算理論值的擬似剖面(中)和逆推得的電阻率影像剖面(下)，逆推結果之均方根誤差為 8.5%。

電阻率影像剖面結果顯示：距剖面北端 C 點 40 公尺處，有一電阻率不連續面。此不連續面向南傾斜，傾角約為 45 度。不連續面北側地層電阻率為 100-150 $\Omega\cdot m$ 漸變帶南側之地層電阻率為 25-50 $\Omega\cdot m$ 。

探測結果顯示：剖面距剖面北端 C 點約 39-48 公尺處的地表有明顯抬升及地表破裂，此地表起伏處與地電阻率不連續面一致，研判為集集地震斷層帶。不連續面北側地層電阻率為 100~150 $\Omega\cdot m$ ，屬於粗顆粒的地層，研判為頭嵙山層。南側之地層電阻率為 25~50 $\Omega\cdot m$ ，屬於細顆粒地層，研判為錦水頁岩或卓蘭層。

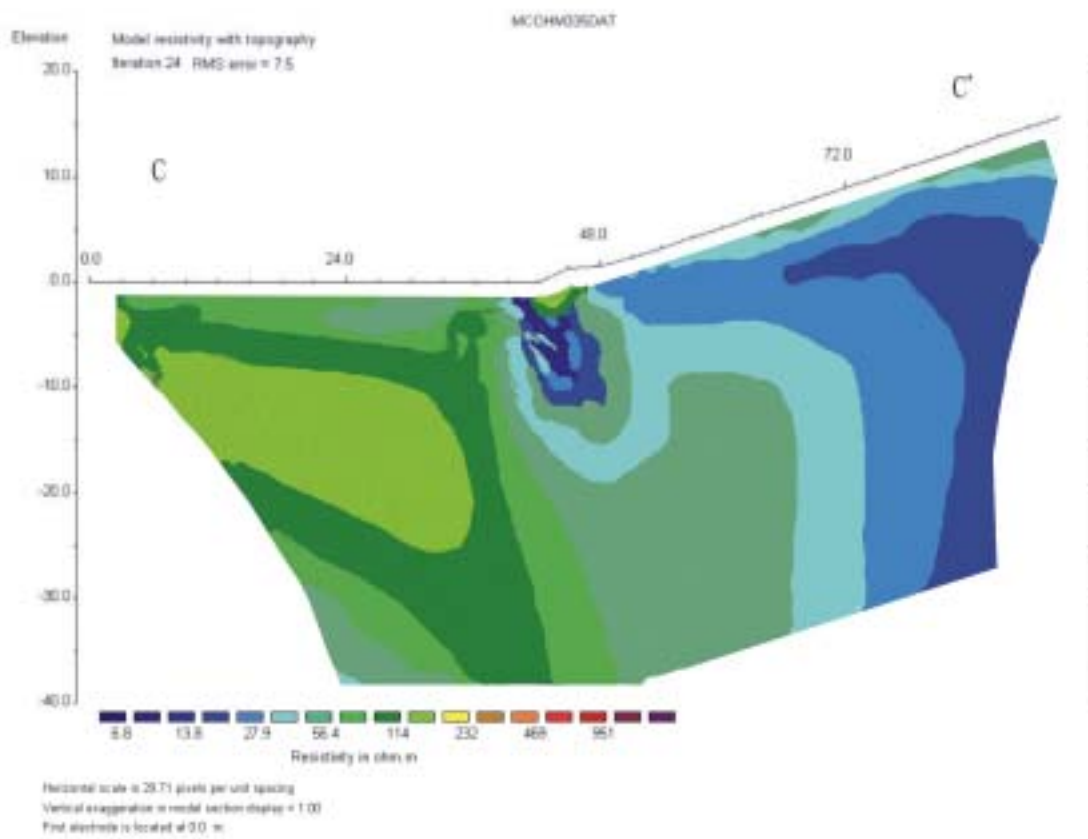
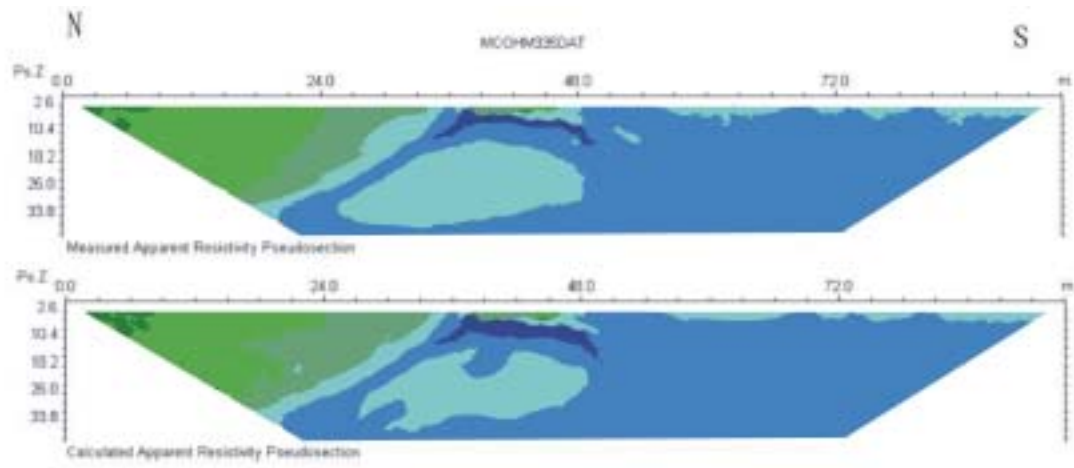


圖 4.6CC' 測線擬似剖面與解釋結果

4.2.2 霧峰地區槽溝剖面

槽溝工址位於霧峰第一變電所東方約 350 公尺處的畚箕湖，槽溝長度約 35 公尺，總深約 8 公尺。上下盤層序對比清楚，斷層面約為 45 度角，帶有大量斷層泥，層面呈破碎狀態。

上盤表面則為夾帶礫石的土壤層，覆蓋在有機泥層之上，最深處則為細緻的頁岩，已進入錦水頁岩。下盤的組成則大致與上盤淺部相同，但並無錦水頁岩的出露。

4.2.3 霧峰地區測線與槽溝之比較

根據霧峰測線的結果判斷，斷層面位置約 45 度向南(圖 4.7)，與實際狀況相符。上盤電阻率皆最高約為 50 Ω -m，並漸降低到 10 Ω -m，成份則多為細顆粒的砂岩等，與上盤開挖相符，研判為錦水頁岩或卓蘭層；下盤的電阻率則約 50-200 Ω -m，成份為大顆粒的礫石層，也與下盤出露吻合，研判為頭嵙山層。隨著遠離斷層面的過渡帶，兩者的差別也越趨明顯；在斷層面出露的地表，則因斷層磨碎作用而產生局部的低電阻區塊。

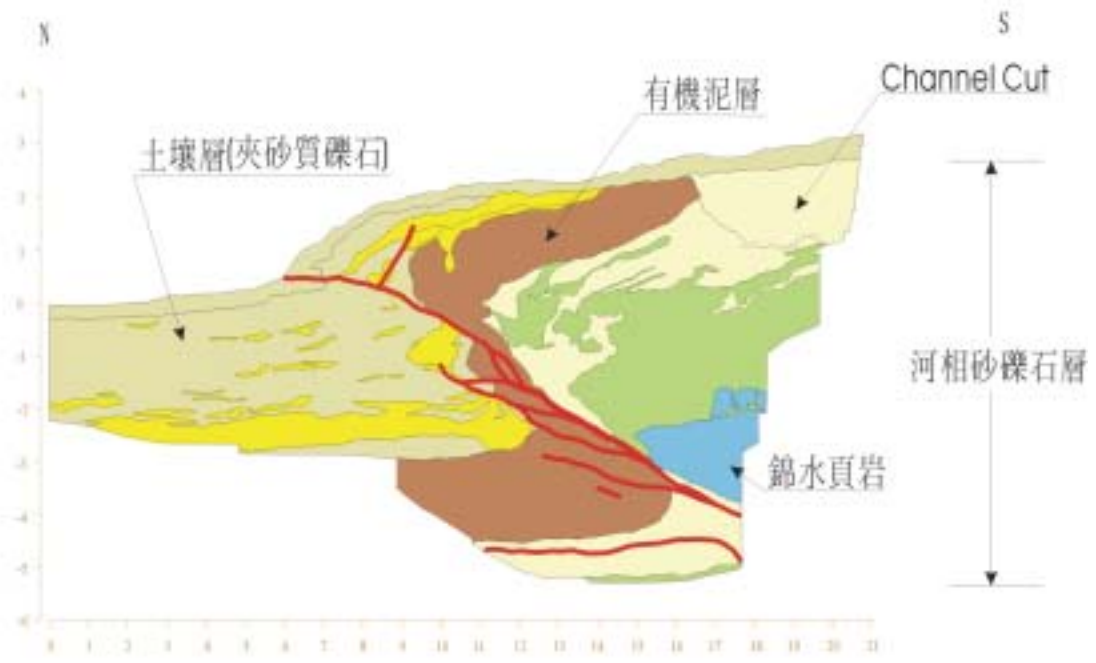
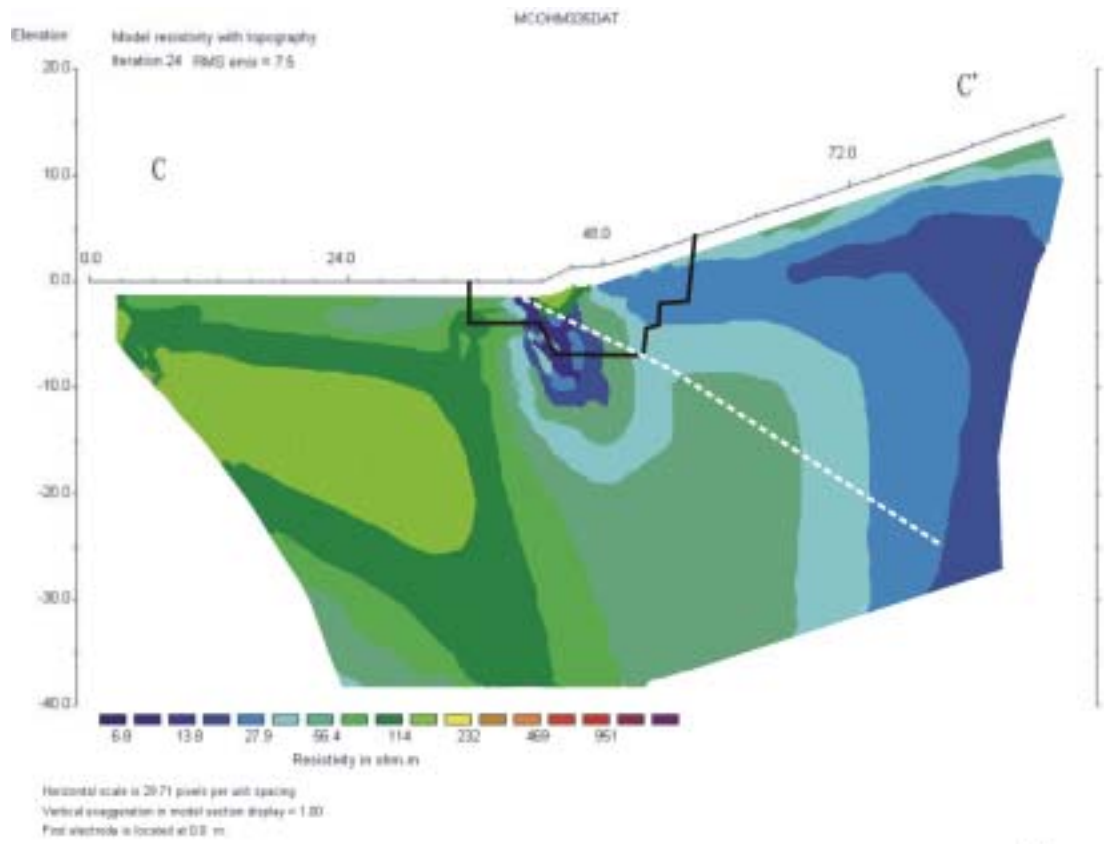


圖4.7霧峰剖面與槽溝對照圖

4.3 新化測線

4.3.1 新化地區地電阻率測線

本研究在新化那菝林地區(圖4.8)對槽溝進行了兩條地電阻率的測線。

測線 DD' 電極間距為一公尺，共有 64 電極，長度總計為 63 公尺。圖 4.9 之解釋結果含實測擬似剖面(上)、計算理論的擬似剖面

(中)和逆推得的電阻率影像剖面(下)，逆推結果之均方根誤差為 2.2%。

解釋得的電阻率影像剖面顯示：測線表面有局部的高電阻區域 50~90 $\Omega\cdot m$ ，距離測線 D 端 2.5~10 公尺處為一低電阻區電阻率 20~30 $\Omega\cdot m$ 。此一低電阻區朝南漸漸接近地表，並漸變薄，同時有許多電阻率降到 10 $\Omega\cdot m$ 以下的局部區塊。而在深度超過十公尺的地層，電阻率則漸高到達 10~70 $\Omega\cdot m$ ，此高電阻率區塊並在距 D 側 10~14 公尺處被一低電阻的不連續面所截斷。

探測結果顯示：深度 2.5~10 公尺的低電阻率層根據井資料判斷為濱海相沉積(黃郁婷, 2000)(張宏武, 2001)。該區域可能為古河道，河道內的沉積物受有機成分或鹽分的影響很大，故有極低的電阻率區

塊出現。在距 D 端 12~16 公尺處有明顯的低電阻區塊，判斷可能為斷層位置。然而此區域低電阻沉積物甚多，仍要與長展距測線相比較分析。

測線 EE' 電極間距為三公尺，共有 44 電極，長度總計為 129 公尺。圖 4.10 之解釋結果含實測擬似剖面(上)、計算理論的擬似剖面(中)和逆推得的電阻率影像剖面(下)，逆推結果之均方根誤差為 2.4%。

解釋得的電阻率影像剖面顯示：測線之 E 端深度 0~15 公尺為一低電阻層，電阻率為 20~40 $\Omega\cdot m$ 。此低電阻率層底部朝 E' 端漸朝地表傾斜，過中段之後上半部已漸漸消失，而在 120 公尺處此低電阻率層完全消失。在北端深度 15~40 公尺處為高電阻率的區塊，電阻率為 45~100 $\Omega\cdot m$ 。而此深度地層的地電阻率在距北端 66~72 公尺處發生不連續，電阻率由 90 $\Omega\cdot m$ 陡降到 45 $\Omega\cdot m$ 以下。

探測結果顯示：地表低電阻率區塊為古河道區，其結果與測線 DD' 相符合，在距 E 端 72 公尺處出現的低電阻率區塊與該地點深部的地電阻率不連續面相符合判斷即為斷層所在。



圖4.8新化那菝林測線圖

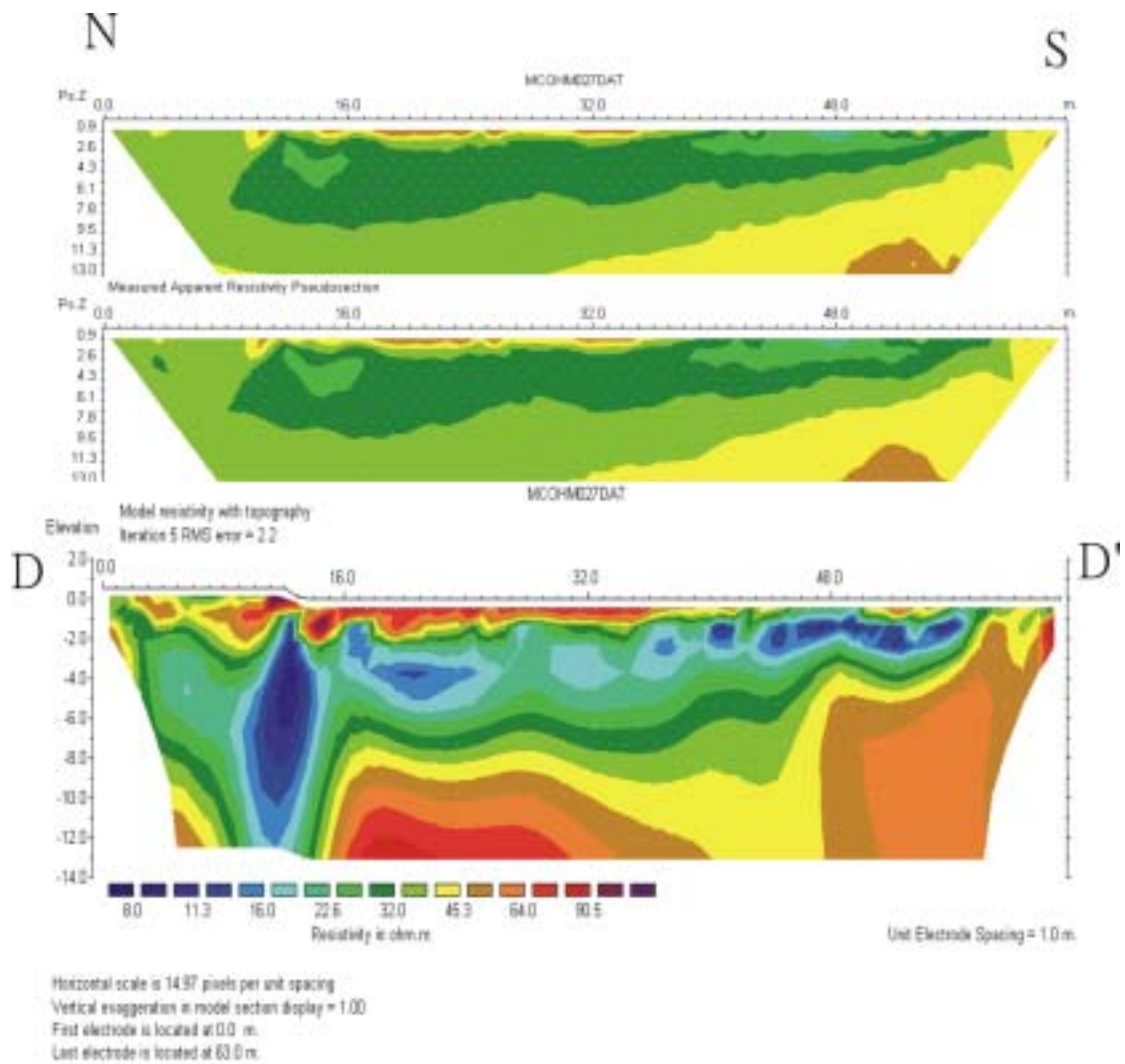


圖4.9新化剖面DD'之視電阻率擬似剖面與解釋結果

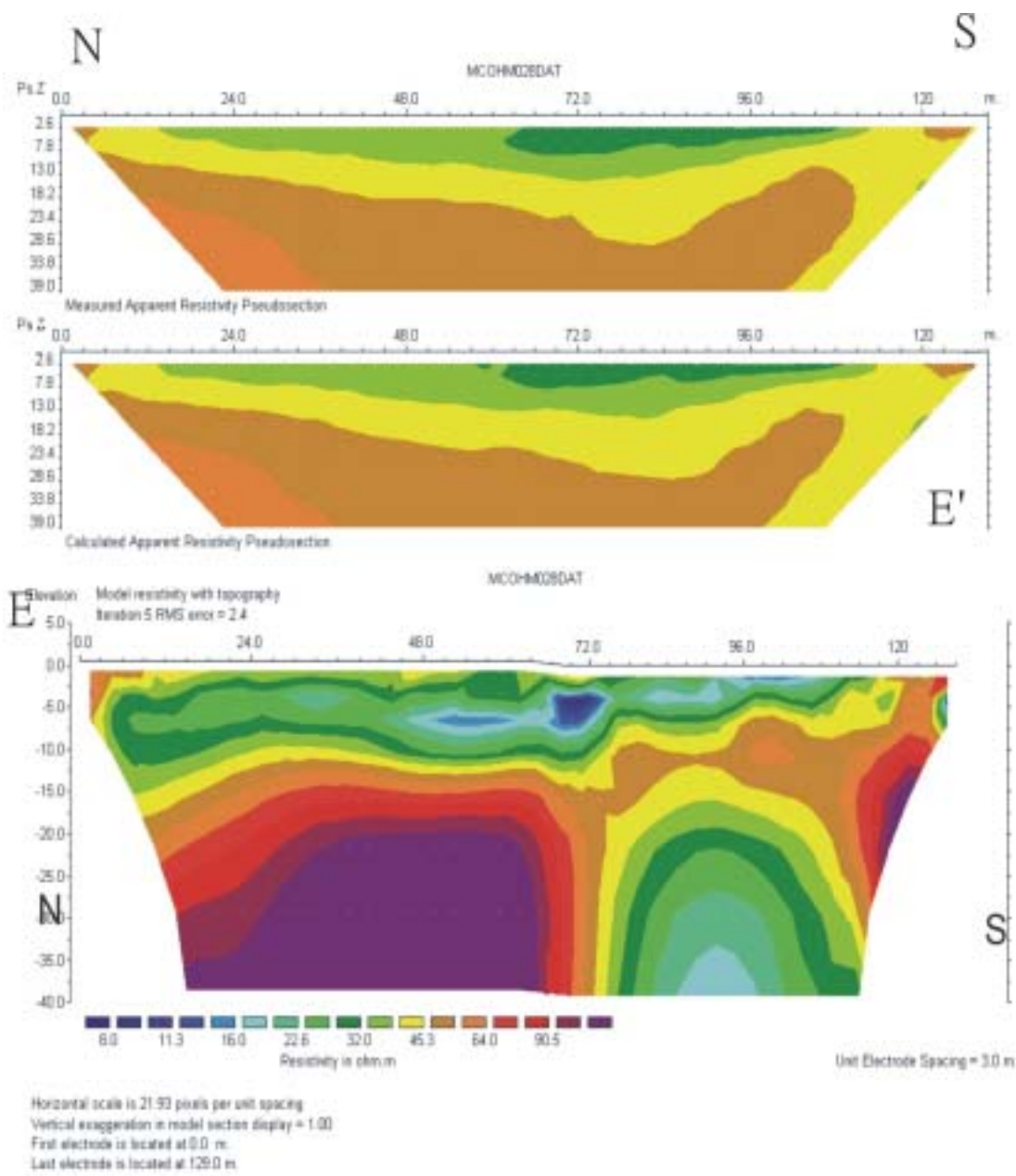


圖4.10新化剖面EE'之視電阻率擬似剖面與解釋結果

4.3.2 新化地區槽溝剖面

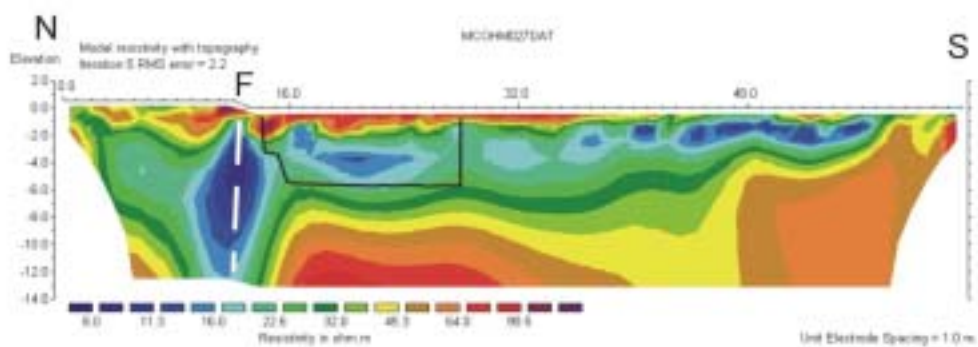
槽溝工址位約略與測線 DD' 相當，長約 20 公尺，深約 5 公尺。由於表面為耕地，故淺部有將近一公尺的耕作回填土；在開挖結果中，泥岩、砂岩、頁岩等層面的層理非常清楚，而由於其為河海沈積相的區域，故也有許多有機物的沈澱，在淺部也有河道狀深色堆積，研判就是古河道。

4.3.3 新化地區測線與槽溝之比較

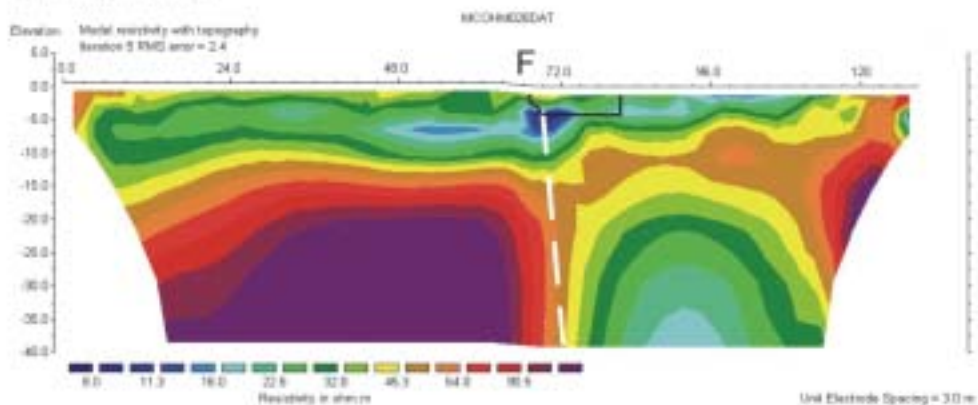
新化那菝林槽溝開挖的初步結果(圖 4.11)，並無直接開挖到斷層出露，然而槽溝仍然顯示出許多包括古河道、各種沈積物相可供研究的資料。

就測線 DD' 的資料可見，在表面地層有著相對較高的電阻率，即為表層的回填土，接著進入河相沈積，電阻率則漸漸下降，各層面在地電阻剖面圖像上，顯現得非常清楚。而在而在測線中段，地表下 3-4 公尺處，則出現了地電阻率達到 10^{-m} 以下的區塊，其圖像也與開挖結果的黑色有機沈澱非常吻合。

就測線 EE' 可見，斷層的位置大致約在槽溝北側，但由於展聚集解析度的設定，仍須對照短展距 DD' 來研判，根據兩者綜合判斷，則斷層應出露在槽溝之北側，距離槽溝北端約 2 公尺處，而本區隨後也在該處開挖到斷層出露。



Horizontal scale is 18.07 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00
 First electrode is located at 0.0 m
 Last electrode is located at 82.0 m



Horizontal scale is 21.00 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00
 First electrode is located at 0.0 m
 Last electrode is located at 120.0 m

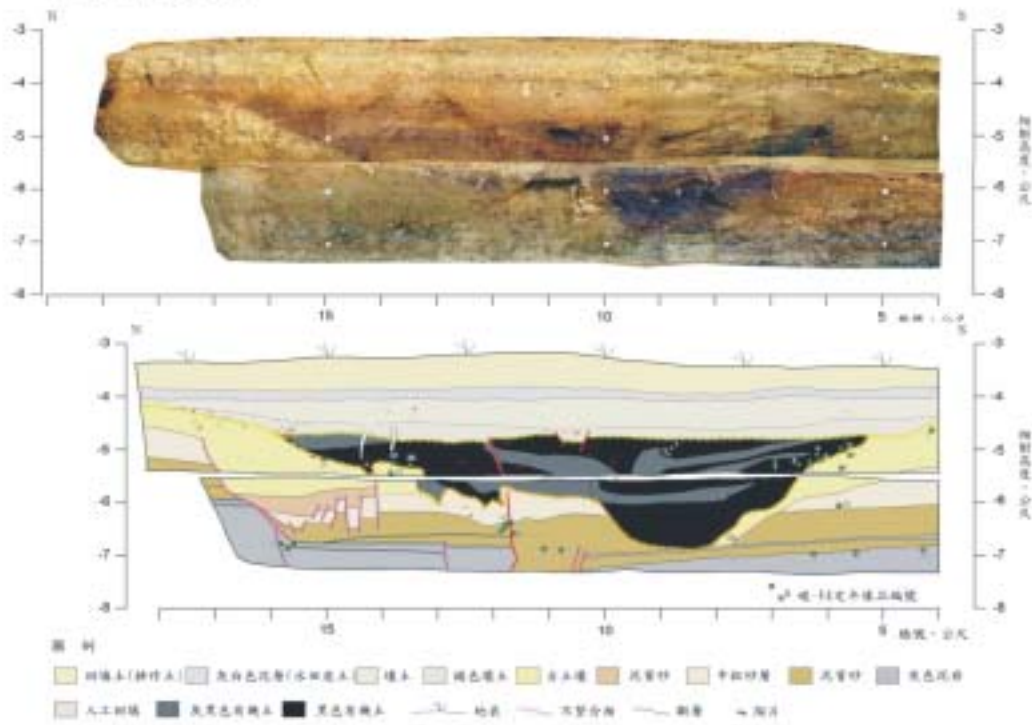


圖4.11那拔林剖面與槽溝對照圖

整體而言，長展距測線可在大範圍區域內，抓到斷層大致所在的位置與方向；短展距則可更進一步更精確的將斷層定位，甚至將細部構造精確的表現出來，兩者各有不同的功能性。

4.4 梅山測線

4.4.1 梅山地區地電阻率測線

梅山測線 FF' (圖 4.12) 為於開元后-崎頂，測線之電極間距為一公尺，共 64 電極棒，長度總計 63 公尺。圖 4.13 之解釋結果含實測擬似剖面(上)、計算的擬似剖面(中)和解釋得的電阻率影像剖面(下)，逆推結果之均方根誤差為 4.5%。

此測線結果所見，自中段到南端，幾乎皆為電阻率在 300 Ω -m 以上的礫石層。而在 16~21 公尺處，則在淺部出現 200 Ω -m 相對較低的電阻率區域，而此區下方的礫石層也由地表以約 30 度的角度朝地底傾斜。並在測線北側被截斷。

4.4.2 山地區槽溝剖面

槽溝工址位約在與測線 FF' 相距約 20 公尺，長約 20 公尺，深約 4 公尺，。由於表面為耕地，故淺部有耕作回填土；在開挖結果中，南段所見大部份為礫石層，北段則漸有土壤層、紅色砂土層等出露，



圖4.12梅山測線及槽溝位置圖

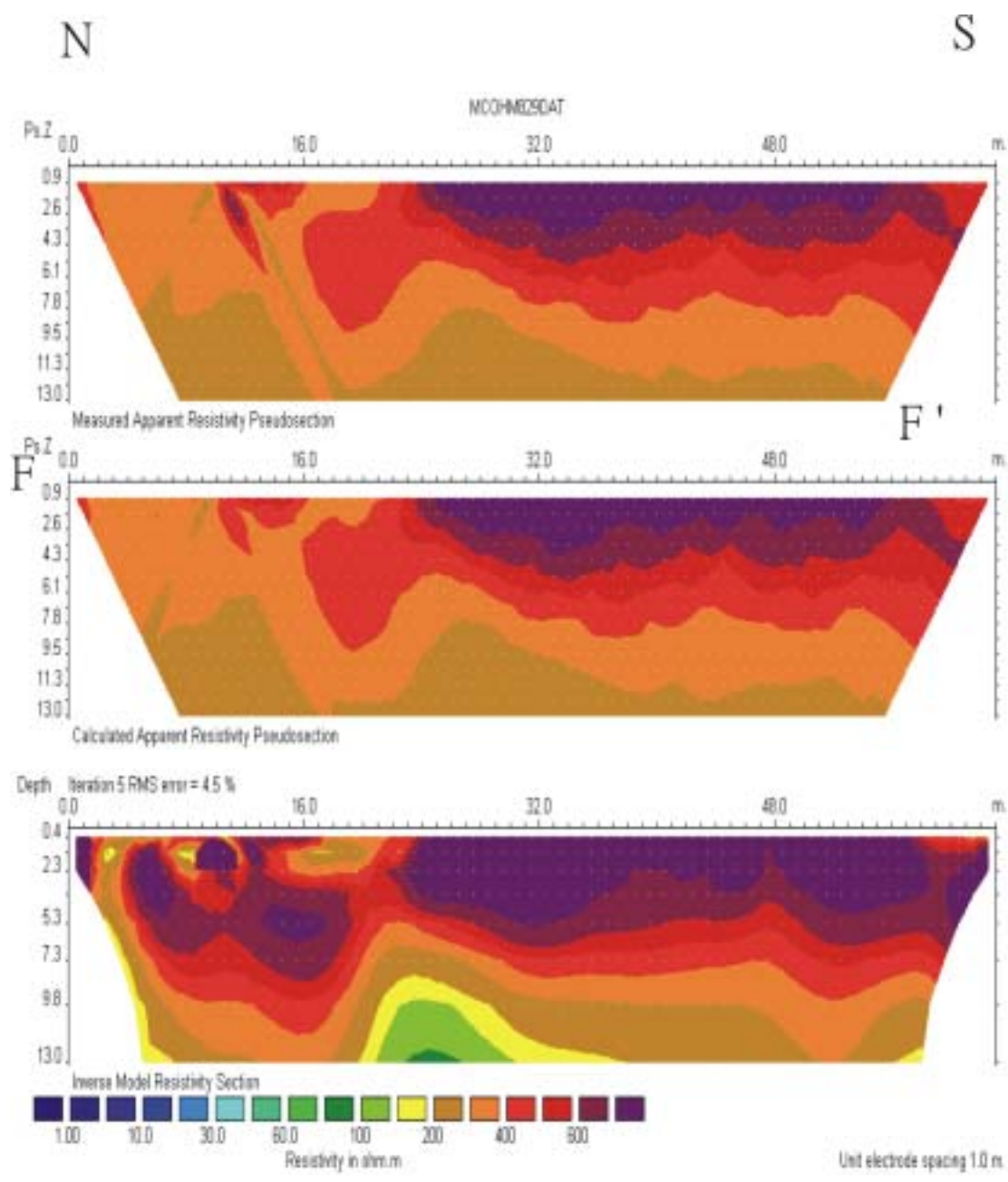


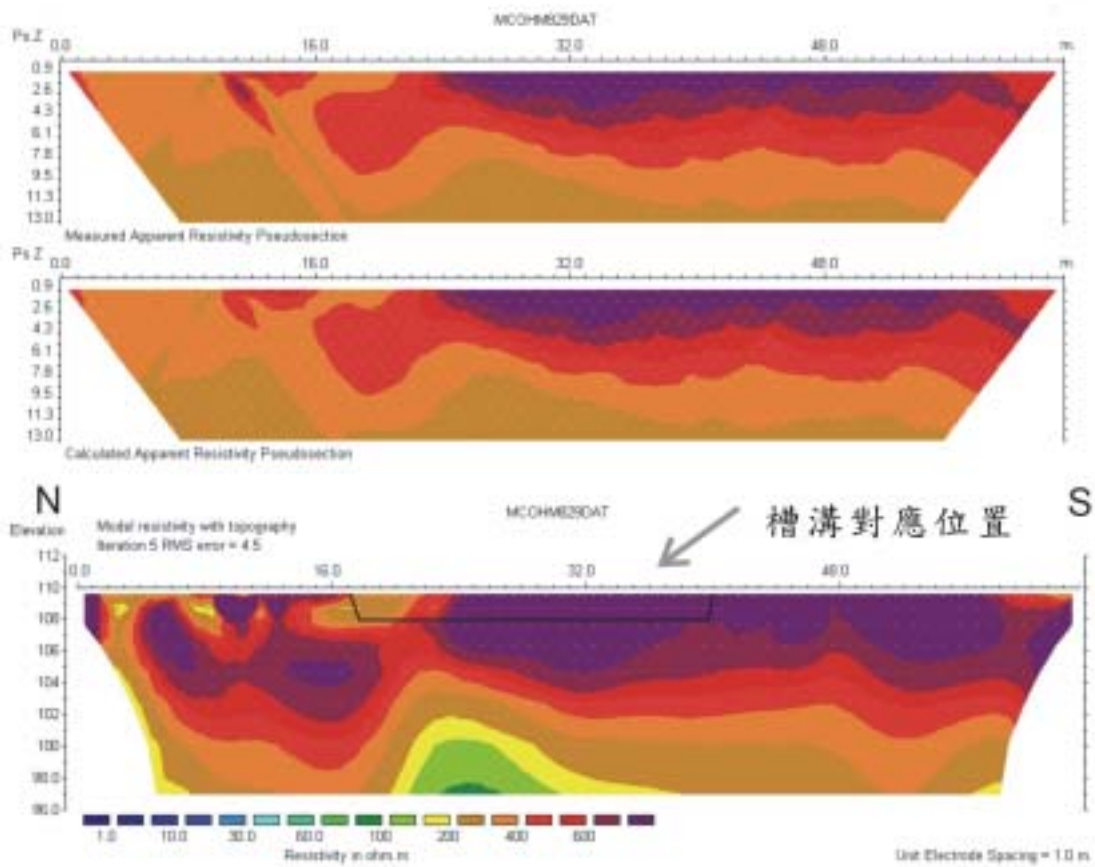
圖4.13梅山剖面FF'之視電阻率擬似剖面與解釋結果

惟此地點乾旱，電阻率仍高。

4.4.3 梅山地區測線與槽溝之比較

梅山槽溝由於深度較淺，故所見的資訊也比較有限(圖 4.14)。

主要為一礫石層朝北以低緩角度漸漸深入地底，而此一構造在短展距的測線中，也可以明顯的以所表現的高電阻率所觀察出來。而在槽溝所發現的斷層面，也在距側線北端 16 20 處，以地電阻不連續面表現出來。整體而言，短展距高解析的地電阻率剖面，的確能提供極高的參考價值，惟範圍及深度可見範圍較小，若與長展距測線配合，則可收事半功倍之效。



Horizontal scale is 14.95 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.00
First electrode is located at 0.0 m
Last electrode is located at 63.0 m



圖4.14崎頂剖面與槽溝對照圖

第五章 結論

本研究於竹山、霧峰、新化及梅山四處槽溝施行六條長短解析不同的測線，並將結果與槽溝相片及剖面繪圖對比，得到以下結論。

竹山地區

1. 明顯的觀測到礫石層與錦水頁岩的分布。礫石層之電阻率從 300 Ω -m 一直可到 1000 Ω -m 以上，錦水頁岩則多在 40 Ω -m 以下，兩者大致以斷層面為界，且視電阻率相差甚遠，易於分辨。

2. 藉由地電阻率的不連續面與地表的高低落差相配合，並可以判斷出斷層帶的分佈以及走向。

3. 電阻率觀測可發現此區高電阻的礫石層被兩個低電阻不連續面截成三段，此三段礫石層之中，最南段仍在地表底下，深度達到八公尺以上；中段及北段則已經出露在地表。三段厚度各有不同，表示受侵蝕的程度有所不同。此結果表示，礫石層上的兩個地電阻率不連續面的形成時間不相同，亦即說明此斷層區層經多次斷層運動，非一次活動造成。

4. 礫石層的解釋與斷層的推測皆與槽溝所開挖結果符合度甚高，並在測線南側開挖到礫石層，得到證實。

霧峰地區

1. 上盤電阻率在 25-50 $\Omega\cdot\text{m}$ 之間，為錦水頁岩；下盤則在 50 $\Omega\cdot\text{m}$ 以上，為含礫石層的頭嵙山層。
2. 斷層面出露地表處因斷層磨碎作用產生局部的低電阻區塊，以低電阻率的型態明顯的表現出來。

那菝林地區

1. 新化位於濱海相區域，電阻率受鹽度及有機沉機的影響甚大，接近海相的部分電阻率較低多在 20 $\Omega\cdot\text{m}$ 以下，陸相則相對較高，約在 40 $\Omega\cdot\text{m}$ 以上。
2. 地電阻率分析之後推斷出斷層位置在槽溝北側，且角度甚大，此推測也在後續開挖中得到證實。
3. 觀測新化及梅山斷層的短間距測線可發現解析度非常優良，細部的地層變化都可以觀測出來，可見短間距的排列方式，可幫助進行細部構造的解析。

崎頂地區

1. 梅山地區測線多為礫石，電阻率多為 300 $\Omega\cdot\text{m}$ 以上，即使是土壤層也多在 200 $\Omega\cdot\text{m}$ 左右。

2. 雖未見明顯斷層，但仍可清楚看出礫石層的走向與傾角。

參考文獻

- 王乾盈、林祖慰、張漢忠，1998，再訪新化斷層，第七屆臺灣地區地球物理研討會論文集387-398頁。
- 王衍評，2002，車籠埔斷層北段之地電研究，國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共89頁。
- 石瑞銓、陳平護，2003，地震地質調查及活動斷層資料庫建置：淺層地球物理探勘（1/5）中央地質調查所研究報告。
- 何春蓀，1975，台灣地質概論，台灣地質圖說明書，經濟部。
- 李思霖，2002，車籠埔斷層南段之地電研究，國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共72頁。
- 李錫堤、鄭錦桐、廖啟雯、廖卿妃，2000，新化斷層開挖的初步結果。第八屆台灣地區地球物理研討會論文集，659-664 頁。
- 李元希、盧詩丁、石同生，2001，車籠埔斷層特性，經濟部中央地質調查所九十年度成果發表及業務檢討會手冊，12-13 頁。
- 李建成、陳于高、謝凱瑞、朱倣祖、詹瑜璋、陳文山，2001，車籠埔斷層構造與古地震研究：霧峰車平營附近槽溝開挖分析研究，中國地質學會九十年年會暨學術研討會，6-8 頁。
- 孟昭彝，1967，台灣西部南半之構造發展，中國地質學會會刊第10號。
- 林慶偉、吳炫宗、蕭崇利，1999，嘉義地區活斷層研究：梅山斷層與九芎坑斷層之初步研究，中國地質學會八十八年年會論文宣讀摘

- 要，p279-282。
- 徐鐵良、張憲卿，1979，台灣第四紀斷層，中國地質學會專刊，第三號，第155-165頁。
- 徐泓，1983，清代臺灣天然災害史料彙編 國科會防災科技研究報告 72-04號。
- 陳文山、黃能偉、李昆杰、陳于高、宋國城、張徽正、李元希、石瑞詮、楊志成、宋時驊、林清正、李龍昇，2001，集集地震斷層與鄰近地區斷層的特性，中國地質學會九十年年會暨學術研討會，39-41 頁。
- 陳于高，1993，晚更新世以來南台灣地區海水面變化與新構造運動研究，國立台灣大學地質研究所博士論文，共158頁。
- 陳勉銘、何信昌，2000，台中區地質-兼論九二一地震斷層。經濟部中央地質調查所特刊，第十二號，113-138 頁。
- 陳平護，2003，”地震及活斷層研究”-孕震帶構造-車籠埔斷層之地電研究。
- 陳平護、葛岳淵、王衍評，2000，應用電阻法描繪台灣中部車籠埔斷層之地下構造，第八屆台灣地區地球物理研討會論文集，528-533 頁。
- 張宏武，2001，台灣西南泥岩之電阻率構造，國立中央大學地球物理

- 研究所碩士論文，共111頁。
- 張錫齡，1962．六雙層之命名，中國石油地質學會專刊，第一號。
- 張麗旭、周敏、陳培源，1947．民國35年12月5日台南之地震。台灣省地質調查所彙刊，第1號，11-18頁。
- 黃郁婷，2001．嘉南平原曾文溪流域晚第四系之沈積環境暨層序初探，國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，共187頁。
- 黃明哲、王文能、潘國樑、顏滄波，1985，活動斷層之航照地質研究(二)：嘉義梅山地震斷層研究，國科會防災科技研究報告73-29號。
- 董倫道，1988．地電阻法與電磁法之綜合解釋，國立中央大學地球物理研究所博士論文。
- 董倫道、楊潔豪、陳平護，1996，濁水溪沖積扇地球物理探測與地層對比，經濟部中央地質調查所，110-128頁。
- 經濟部中央地質調查所，2000，九二一地震地質調查報告，經濟部中央地質調查所出版，共315頁。
- 經濟部地調所，2000，台灣活動斷層概論第二版 五十萬分之一。台灣活動斷層分布圖說明書。
- 經濟部地調所，2000，經濟部中央地質調查所五萬分之一臺灣地質圖說明書。
- Bonilla, M. G., 1977, Summary of Quaternary faulting and

- elevation changes in Taiwan, Mem. Geol. Soc. China, 2, 43-55.
- Cheng, P. H., 2000. Imaging the subsurface structure of the northern tip of the 1999 Chi-Chi earthquake fault in central Taiwan using the electric resistivity method. TAO, 11, 721-734.
- Griffiths, D. H., and Barker, R. D., 1993, Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology: Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.
- Koefoed, O., 1979, Geosounding Principles 1: resistivity sounding measurements. Elsevier Scientific Publ. Co. 278 .
- Degroot-Hedlin, C., and Constable, S., 1990, Occam ' s inversion to generate smooth, two-dimensional model from magnetotelluric data: Geophysics, 55, 1613-1624.
- Loke, M. H., 1998, Rapid 2D resistivity and IP inversion, using the least-squares method. Advanced Geoscience, Inc. U.S.A.
- Omori, F.(1907) Preliminary note on the Formosa earthquake of March 17, 1906, Imp. Earthquake Inves. Comm. Bull. No.2, p53-69.
- Pan, Y. S., 1967, Interpretation and seismic coordination of

the Bouguer gravity anomalies over west-central

Taiwan. *Pertol. Geol. Taiwan*, no.5, 99-115.

Sasaki, Y., 1992, Resolution of resistivity tomography

inferred from numerical simulation: *Geophysical Prospecting*,

40, 453-464.

A comparison study between RIP and trenching results

Victor Chen

Abstract

The resistivity image profiling (RIP) method is used to investigate the feature of the electric resistivity structures in this study. On the other hand, the digging of a trench can show the structures clearly, but the depth and the width of the trench is always confined in a narrow site.

We can find out the relationship of a layer or structure between the RIP and trench by making comparison RIP results with trench results. According to the comparison results, we can define the resistivity and thickness of the layers.

The results of this study show that:

1. The thickness of Gravel bed is about 15-20 meters and the resistivity is more than 300 Ω -m. The Resistivity of Chinshi Shale ranges from 5 to 40 Ω -m, the dip of the fault is around 40 degrees eastward in Zhushan area.
2. In Nabalien area, according to two different array setting, two different resolution results is available. Shorter electrode distance array produces higher resolution result, but the sight is incapacious. Longer electrode distance array makes sight pantoscopic, but the resolution may be not that good as a shorter one.
3. In Meishan area, because of Gravel formation and dryfarm, the resistivity value is very high. The resistivity value of dryfarm is more than 100 Ω -m, the value of Gravel formation is more than 300 Ω -m.