

大屯火山群地底岩漿庫之調查與監測：
大地電磁法之觀測調查

陽明山國家公園管理處委託調查報告

中華民國九十七年十二月

大屯火山群地底岩漿庫之調查與監測： 大地電磁法之觀測調查

受委託者：中國地球物理學會

研究主持人：陳洲生

研究助理：魏多堂

陽明山國家公園管理處委託調查報告

中華民國九十七年十二月

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 研究背景與目的	1
第二章 儀器設備	3
第三章 大地電磁法野外施測	5
第一節 儀器簡介	6
第二節 施測地點選擇與注意事項	7
第三節 儀器擺設方式	8
第四節 設站步驟與注意事項	9
第五節 測站配置	10
第四章 資料處理	13
第一節 視電阻率曲線分析	14
第二節 測區週期切片圖	18
第五章 分析討論	21
第一節 岩石導電率影響因素	22
第二節 二維電性剖面分析	24
第三節 解釋與討論	28
第六章 結論	33
第七章 建議	35
參考書目	37
附錄一 期末簡報會議記錄	39

表 次

表 2-1 不同頻率測深表·····	4
表 3-1 大屯山地區大地電磁測站 ·····	10
表 5-1 二維模型逆推參數·····	24

圖 次

圖 1-1	七星山附近之火山地震活動分佈情形	2
圖 2-1	大地電磁法原理及電磁波之穿深效應	4
圖 3-1	(a)大地電磁測深儀 (b)埋設電場 (c)埋設磁場	8
圖 3-2	測站及剖線位置圖	11
圖 4-1	資料處理流程圖	13
圖 4-2	各測站之視電阻率與相位圖	15
圖 4-3	硫磺谷附近測點之一維反演	17
圖 4-4	七星山-大油坑附近各頻率之電阻率切片圖	19
圖 5-1	TM 模式電阻率觀測值與其二維逆推後之比較	26
圖 5-2	TE 模式電阻率觀測值與其二維逆推後之比較	27
圖 5-3	(a)東西向二維電性構造剖面 (b)套上微震分佈	30
圖 5-4	(a)南北向二維電性構造剖面 (b)套上微震分佈	31

摘 要

關鍵詞：大屯火山群、大地電磁法、電阻率、岩漿庫

一、研究緣起

依據陽明山公園管理處近 10 年來相關委託研究計劃，初步的氬同位素研究結果顯示，大屯山地區的噴氣與溫泉氣仍有大於 60 %源於深部地函源的氣體組成(Yang et al., 1999)，暗示台灣北部地底下仍有非常大可能性有岩漿庫的存在，其最可能之岩漿庫位置可能在有最高氬同位素比值火山氣體成份的大油坑底下. Lin et al. (2006)的地震監測資料分析結果顯示，在七星山底下確有異常的地震活動，可能與岩漿熱液活動所引發的微震有關，非常值得對當地的可能岩漿活動進一步探測。

二、研究方法與過程

本計劃在陽明山國家公園內設置 8 個大地電磁法觀測站，來探測七星山附近之電性構造，經由觀測資料，仔細地分析並濾除每一測站之雜訊電磁場後，逆推出二維電性構造剖面，解釋七星山及大油坑附近之最上部地殼中所觀測到電阻異常，其可能與岩層中之流體及岩漿庫有關。

三、重要發現

從七星山到大油坑之地表下10公里，大至呈現背斜之構造，電性地層呈層狀分佈。此構造之表層係良導體，厚約500 m，主要原因可

能是火山之熱水對流所致，此岩層之孔隙率相當高。在表層下2至5 Km處是微震活動密集帶，該處屬於緻密岩層結構，微震之來源，主要是氣體壓力造成之震動。在地下約6 Km深處，發現一近似球狀構造，可能是岩漿庫，再從其偏高之電阻值研判，岩漿庫可能在冷卻中。另外，西南方之硫磺谷的電性資料顯示，其熱水儲集層之主要位置約在地下300~1000 m。

四、主要建議事項

本計畫之初步發現：從七星山到大油坑之地下約6 Km深處存在疑似岩漿庫，確有繼續精查探究之必要，茲建議如下：

1. 立即可行建議：大屯火山地區能進一步仔細探查，確認岩漿庫存在之真實性；主辦機關為陽明山國家公園管理處，協辦機關為國內地球科學學校相關系所或研究單位。

2. 中長期建議：大屯火山群之岩漿庫是否復活，關係大台北附近民眾的生命財產安全，持續目前已進行之各項長期火山變化監測之相關研究，跨學門綜合研判岩漿庫復活之預警，始臻周全。建議主辦機關為陽明山國家公園管理處，協辦機關為國內地球科學學校相關系所或研究單位。

ABSTRACT

Keywords: Tatun volcanoes, magnetotellurics, resistivity, magma chamber

According to the study of the recent 10 years by the Administration of the Yangminshan National Park, more than 60% gases of host springs sourced from deep mantle in the Tatun volcano area, implying that some magma chambers might exist beneath there, and the most possible location at Da-You-Kan, where the highest ratio of the helium isotope was collected (Yang et al., 1999). Lin et al. (2006) analyzed earthquakes and indicated that there exist seismicity anomaly beneath Tatun volcano, possibly caused by the activity of the fluid of volcano. Thus, it is a must to explore the possible magma chamber in the Tatun volcano area.

This project deployed eight magnetotelluric (MT) soundings in Yangminshan National Park so as to deduce the geoelectric structures beneath the Da-You-Kan and Chih-Shin-Shan area. After MT data collection, data reduction and 2D inversion, interpretation of the possible magma chamber located between the area of Chih-Shin-Shan and Da-You-Kan were obtained:

1. Features of an anticline extend to depth of more than 10 km was detected beneath the Chih-Shin-Shan and Da-You-Kan areas.
2. A surface low resistivity layer, 500m of thickness and high in porosity, mainly due to the circulation of the hot water was detected.
3. At depth between 2 to 6 km, a high resistivity layer was detected, which could be correlated to the zone of high micro-earthquakes (Lin et al., 2006), very similar to the signatures produced by either the magma chamber or other geothermal activity at the

active volcanic areas in the world.

4. Below the depth of more than 8 km, a dome structure of medium resistivity was detected, possibly the magma chamber, or even the cooling magma as judged from its not too low resistivity,
5. Besides, the MT soundings around the Lon-fon-gu detected a hot water reservoir at the depth about 300-1000m.

Although the exact magma chamber is still not precisely detected from the limited MT soundings so far, the feature was very similar to the signatures produced by either the magma chamber or other geothermal activity at the active volcanic areas in the world. Some detail investigations have to be done to improve the images and the characteristics of the suspected magma chamber in the Tatun volcanic area.

第一章 研究背景與目的

大屯火山群是台灣北部火山活動的中心位置，涵蓋面積約 250 平方公里，台北盆地緊鄰於正南方。大屯火山最近的一次噴發大約是一、二十萬年前 (Song et al., 1996)，目前地表地熱活動還是很明顯，根據噴氣所含氦同位素之分析顯示，部分噴氣來自岩漿源(楊等, 1999)，說明台灣北部地下有岩漿庫存在之可能。

中研院地球所過去二年也在大屯山地區，設立一個長期性地震觀測網系統，以精密的儀器，測量微小地震的時空分佈，及地震震源特性研究(林正洪, 2006)。透過地震分佈與震源特性之研究顯示，陽明山國家公園內之七星山及大油坑附近，有明顯的微震活動存在，大多數之微震震源深度均集中於二至五公里附近，七星山地區之微震震源深度小於大油坑附近震源深度(圖一)。初步推斷可能與岩層裂縫中液態或氣態物質之振動所造成，這些現象與國外其他火山地區，所觀測之岩漿相關活動類似。

根據日本、美國、紐西蘭和菲律賓等國家，監測火山活動的經驗得知，除了地表的地質調查、溫泉水成份分析、氣體採集分析、岩石礦物定年研究外，利用地球物理的方法（微震觀測、震波測勘、重力、磁力測量、電磁波測勘、大地電磁法等），推估地下構造也是近年來

常被採用的方式。因為火山如果復活，其岩漿流動必然會產生火山性的地震，也可能會改變地形、重力、地磁力、及地熱氣和溫泉水中化學物質的濃度。其中為了瞭解地下岩層的物理性質，利用火山地區之地震活動資料，所獲得震源時空分佈與速度構造特性，並配合對岩層流體極為靈敏之地電阻資料，可以幫助我們了解大屯火區淺部地殼的地熱分佈、地下火成岩體的範圍、甚至岩漿庫之存在與否等。

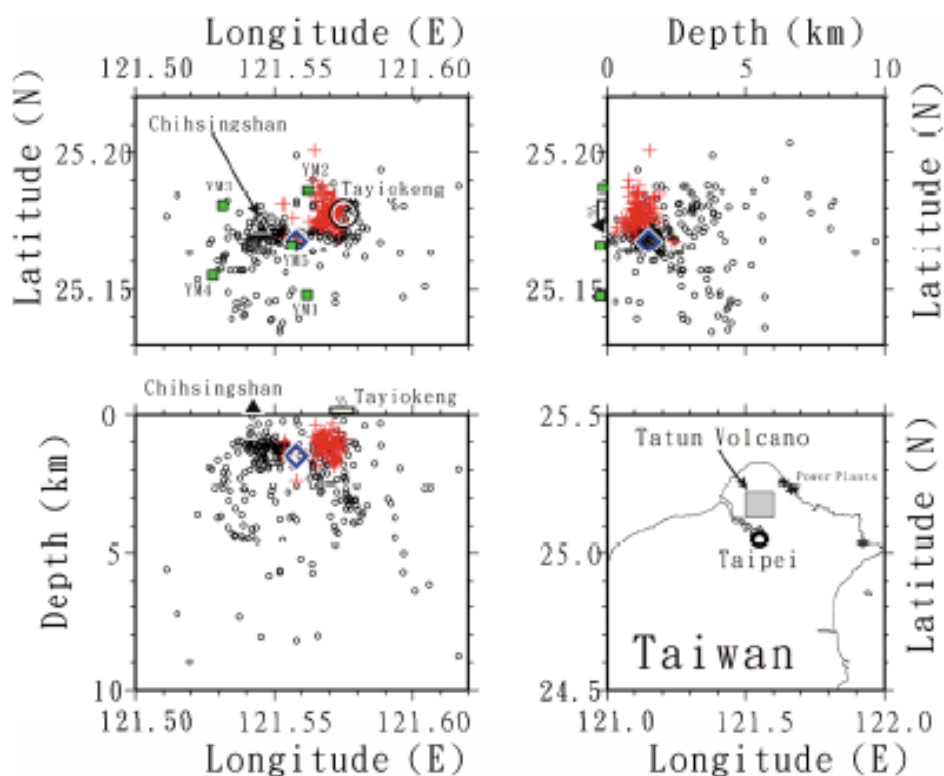


圖1-1 七星山附近之火山地震活動分佈情形包括微震(小圓圈)、連續性爆炸型地震(十字形)及多頻螺絲釘狀訊號(菱形)(林正洪, 2006)。

第二章 大地電磁測深基本原理

電磁場是以光速在空間行進，其電場和磁場互相依賴而同時存在。大地電磁法是以天然交變電磁場為場源，量測此電磁場進入地層後之感應訊號，在地面上一點或多點同時觀測此互為垂直的電磁場水平分量，可以測獲地球內部的電性構造(圖 2-1a)。來自高空的電磁波是垂直向地球入射的諧變的均勻平面波，地球是電性均勻介質，根據電磁感應定律，電場 E_x 以及與其正交的磁場 H_y 比值 $Z_{xy} = E_x / H_y$ 為地球的特徵阻抗。

地球實際上不是電性均勻介質，最簡單的情況是地球由水平均勻層狀介質所組成，此時電磁場由於不同地層具有不同的電阻率 ρ ，因而所求得的 ρ 不能代表某一確定地層的電阻率值，而是各電阻層的綜合反映，叫作視電阻率值 ρ_a 。這是法國學者 Louis Cagniard 於 1953 年，創造出『magnetotelluric』大地電磁測深法這個專有名詞，成為一種研究地球深部電性構造的新方法。

天然交變電磁場，頻寬大不受高阻層屏蔽、能量強、場源豐富等特性，作為大地電磁法場源。高頻段(>1 Hz) 主要由大氣層中雷電效應所引起，低頻段(< 1 Hz) 則是與太陽帶電粒子擾動地球磁層有密切的關係。不同頻率的電磁場訊號，具有不同的穿透深度(表 2-1)，頻率越低穿入地層越深，研究不同的頻率響應(圖 2-1b)，即可獲得不同深度的地下電阻率分佈情形。

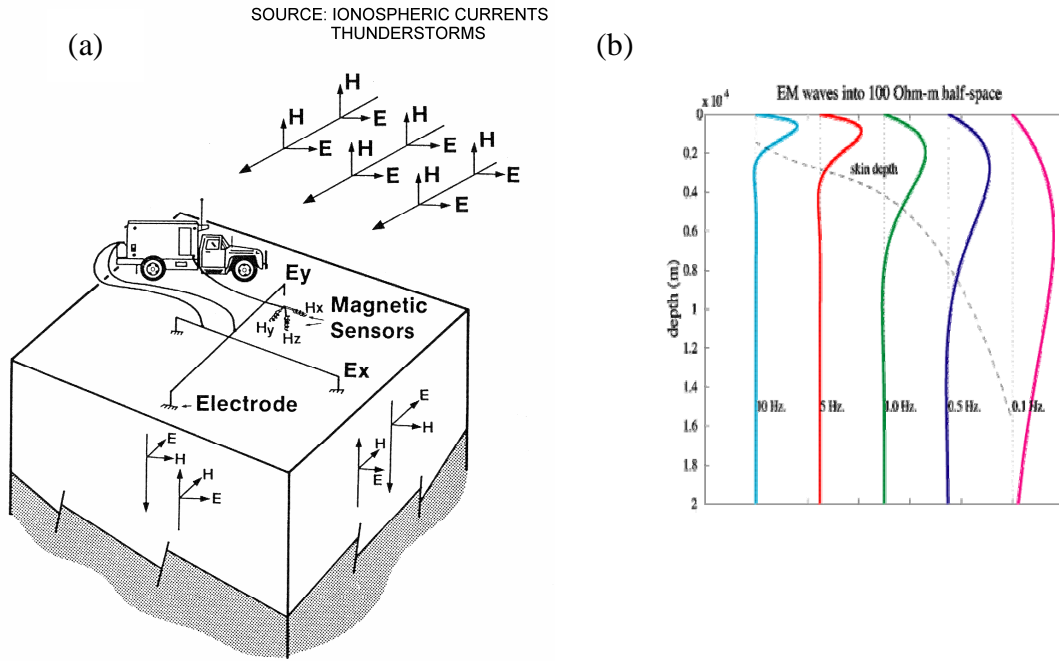


圖 2-1 (a)大地電磁法原理圖 (b) 電磁波之穿深效應。

表 2-1 不同頻率測深表

測深(m)	ρ (Ω m)						
		0.1	1	10	100	1000	10000
f (Hz)							
1000		5.03	15.9	50.3	159	503	1,591
100		15.9	50.3	159	503	1,591	5,030
10		50.3	159	503	1,591	5,030	15,910
1		159	503	1,591	5,030	15,910	50,300
0.1		503	1,591	5,030	15,910	50,300	159,100
0.01		1,591	5,030	15,910	50,300	159,100	503,300
0.001		5,030	15,910	50,300	159,100	503,300	1,591,000

第三章 大地電磁法野外施測

大地電磁測深法屬於頻率測深的一種技術，利用天然交變電磁場為場源，但天然電磁場的不穩定性，且在某些頻段上先天不足、訊號微弱，容易受人為活動干擾，在幾十 Hz 到 10^4 Hz 範圍內，人文活動的電磁場干擾特別嚴重，故大地電磁法野外作業時，必須針對測點位置作詳細篩選，避免設站於人為干擾區域，如：道路、變電所，高壓電線、人文活動頻繁地區等等，以提高 MT 資料品質，但先前儀器的校正及野外施測規劃、測站佈置及儀器設定等注意事項，也是攸關資料品質好壞的重要因素。

有關大地電磁測深法之實務及其資料處理 加拿大鳳凰公司 (Phoenix Geophysics Ltd. 網站提供有豐富參考資料，其網址：<http://www.phoenix-geophysics.com>

第一節 儀器簡介

本實驗主要採用的儀器設備，是由加拿大鳳凰公司(Phoenix Geophysics Ltd., Canada)所製造之 MTU-5 2000 系列大地電磁測深儀(圖 3-1a)，作為本次研究收集資料的儀器。儀器接收訊號頻寬範圍約 1/1800 Hz ~384 Hz，MTU-5 2000 儀器系統主要分成三大部份:(1)MTU-5 主機，(2)電場感測器 (grounding electrode, E_x , E_y)，(3)磁場感測器 (coils, H_x 、 H_y 、 H_z)。MTU-5 2000 儀器設備主要功能分述如下：

- 1) 主機(MTU-5):主要功能為接收來自五組頻道訊號，其中包含 H_x 、 H_y 、 H_z 及 E_x 、 E_y ，再將所收集到的類比訊號經濾波(filter)、增益放大(gain)後，轉換成數位信號(A/D Convert)，並利用全球定位系統(GPS)，紀錄訊號時間，經、緯度及高程等資料，儲存於主機內部快閃記憶體(flash memory)。
- 2) 電場感測器 (電極，grounding electrode) :由五個非極化電極 (Pb/PbCl)及不等長的屏蔽電線(約 50~100 公尺)數條，配置於測點，量測水平電場訊號 E_x 、 E_y 。
- 3) 磁場感測器 (coil) :共計三組，量測水平與垂直磁場訊號(H_x 、 H_y 、 H_z)。此外，假若受到嚴重的訊號干擾，可利用另一組儀器之 RH_x 、 RH_y ，作為遠端參考點(remote reference)，提昇資料處理的品質(Gamble et al., 1979)。

第二節 施測地點選擇與注意事項

先選定研究區域，進而找尋位置恰當、雜訊干擾少的優良施測地點。以陽明山國家公園內而言，山高地狹人稠，尋找完全無受干擾的測點非常困難，故選擇測點時，以盡量避開人文活動區為主要考量，如無可避免，也應選擇遠離干擾源之處所。以下為測點選擇主要注意事項說明：

- 1) 測點要避開高壓電、變電所、雷達、地下纜線、無線基地台等電氣設施，因大地電磁場訊號很微弱，訊號容易受電氣設備干擾嚴重影響資料品質與可信度。
- 2) 測點避免靠近公路、住宅區、商業區等人文活動頻繁地區。
- 3) 施測地點應選擇地形平坦、地貌簡單、廣闊空曠等地區，以利施工及擺設儀器，若有地形起伏，兩電極的落差須小於電極展距的10%。
- 4) 須盡量遠離湖泊、水流、沼澤、避開森林、深根植物等地區，避免因震動而影響資料品質。
- 5) 雨天氣候影響電纜絕緣，資料品質亦受影響。

第三節 儀器擺設方式

在每個測點施測時，電磁場水平分量 E_x 、 E_y 與 H_x 、 H_y 必須互相正交，一般 x 代表正北， y 代表正東。儀器佈置方式原則上為十字型(圖 2-1a)，將四個電場感測器(電極)分別置放於東、西、南、北向(南北向 N-S 稱為 E_x ，東西向 E-W 稱為 E_y)(圖 3-1b)，再將接地電極分別連接於 MTU-5 主機上；分別將磁場感測器(coils)置於三個不同象限並與主機連接，其中， H_x 、 H_y 為水平放置(圖 3-1c)， H_z 為垂直埋設地表下。

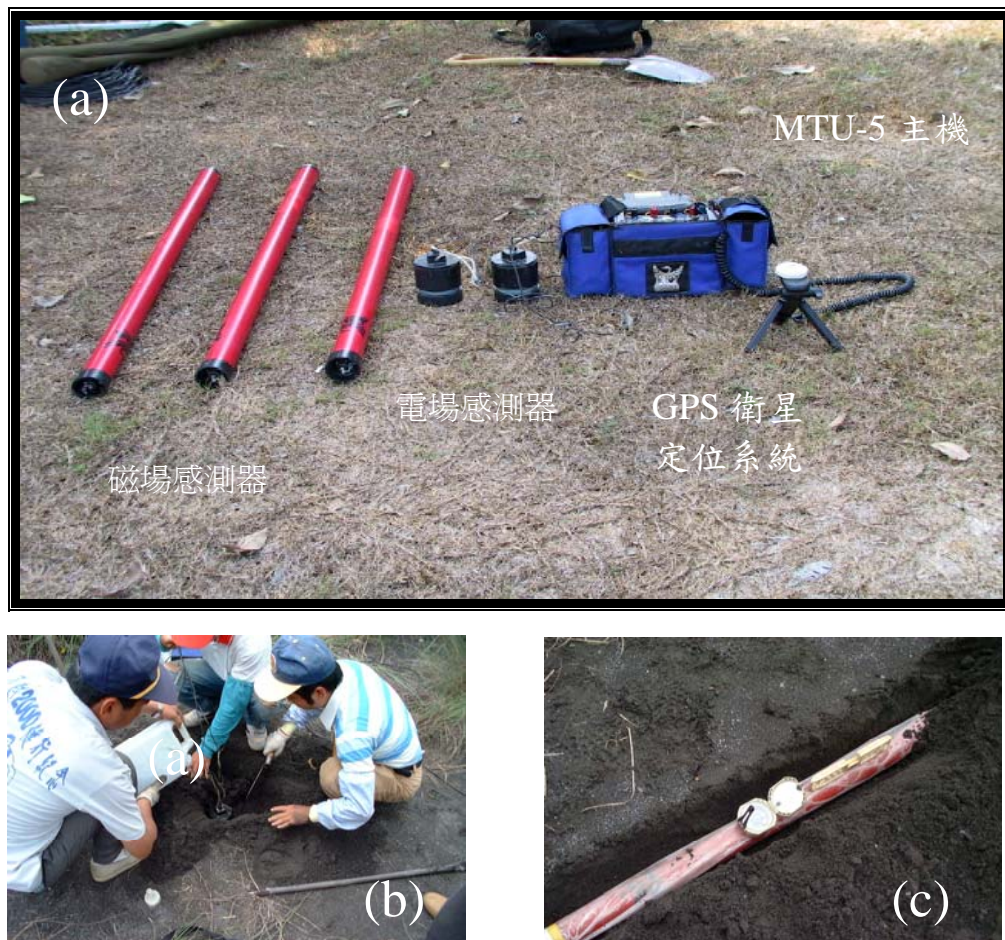


圖 3-1 (a)大地電磁測深儀系統(MTU-5 2K)，接收訊號頻寬範圍約 1/1800~384 Hz (b) 埋設電場(c) 埋設磁場及設定方向與水平。

第四節 設站步驟與注意事項

本研究區域屬高山及狹窄河谷區，可選擇擺設站地點不多，施測步驟如下：

- 1) 先尋找適當的中心點位置，訂定中心點放置主機並接地，再架設指北儀器量測方位。
- 2) 指北儀必須於水平置放並調整磁偏角後，方可量測 E_x 、 E_y 相對位置與埋設、連接電場感測器於四個方位(N-S、E-W)於 MTU-5 主機上，測量展距並紀錄。電極埋設時，如圖 3.1a 所示，感測器頂部須距地表約 25 公分，並加入導電溶液(NaCl)混合泥土埋入。
- 3) 將磁場感測器，分別於不同象限埋設 H_x (N-S)、 H_y (E-W)與 H_z 並連接於 MTU-5 主機上。埋設 H_x 、 H_y 時務必注意水平完整埋入於地表下約 40 公分處， H_z 則垂直埋設於地表下(圖 3-1c)。
- 4) 以三用電表紀錄背景電阻值、交流電壓與直流電壓(E_x 、 E_y)。
- 5) 將 MTU-5 主機連接電源後開啟後，輸入相關數據(展距、偏角等)。利用 GPS 功能，紀錄與檢查經、緯度與高程等相關訊息。
- 6) 設定取樣率(sampling rate)、濾波方式(filter)、增益控制(gain)及收集時段等。
- 7) 檢查各連接線是否交錯(cross)與重複檢查上述動作是否確實完成，離開前將所有訊號連接線埋設於地下以避免干擾。
- 8) 過夜記錄後，將資料傳輸至手提電腦中(note book)，進行初步資料處理與分析，判別資料品質。

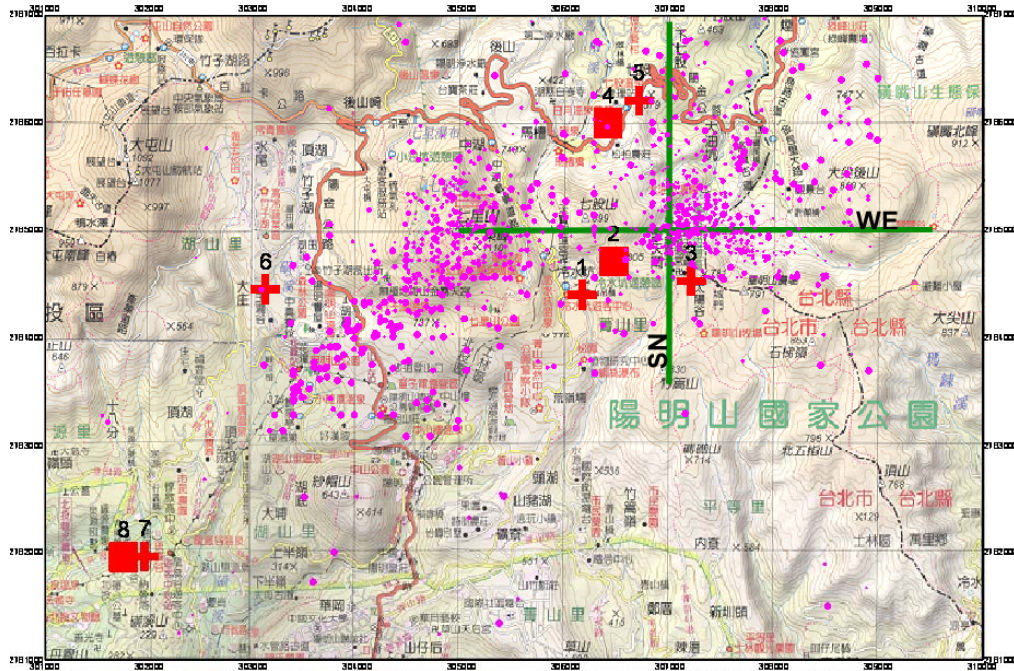
第五節 測站配置

本計畫之地電測勘以探測大屯山地區是否有岩漿庫存在之可能為主要目的。測站之選定是最重要且耗時之工作，又因為測站是以觀測來自地下深部之電磁訊號為主，因此測站要儘量避免人為與自然界的干擾，以提高儀器放大倍率。在測站均勻分佈的原則下，我們先在地圖上，標示出可能設置測站的位置，然後攜帶儀器前往測試。經過分析比較後，依交通、電力配線狀況，及雜訊的高低排列設站地點的順序，在本計畫中，測站分佈情形，基本上是以七星山為中心，測點編號依序從 1 排至 8 共 8 個測點，測點分佈區域的二度分帶座標於表 3-1，並附上各測點相關地理資訊如圖 3-2 所示。各測站紀錄時間上的控制，經由測試分析發現，測量天數至少控制在一天以上資料品質才能保障，但越長越好，因此為了時間效益與資料品質，本研究資料收集時間，控制在 1~2 天左右。

表 3-1 大屯山地區大地電磁測站

測站	二度分帶座標			經緯度座標 (E, N)						備註
	X (Km)	Y (Km)	Z (m)	度	分	秒	度	分	秒	
1	306.152	2784.400	730.0	121	33	25.2483	25	10	0.2705	擎天崗
2	306.456	2784.711	770.0	121	33	36.1444	25	10	10.3392	冷水坑
3	307.201	2784.528	744.0	121	34	2.7353	25	10	4.2983	冷水坑
4	306.400	2786.00	530.0	121	33	34.3511	25	10	52.2359	七股
5	306.700	2786.206	549.0	121	33	45.096	25	10	58.8739	七股
6	303.112	2784.453	558.0	121	31	36.7174	25	10	2.3895	竹子湖
7	302.00	2781.962	143.0	121	30	56.6564	25	8	41.5721	硫磺谷
8	301.867	2781.956	151.0	121	30	51.9145	25	8	41.4096	硫磺谷

(a)



(b)

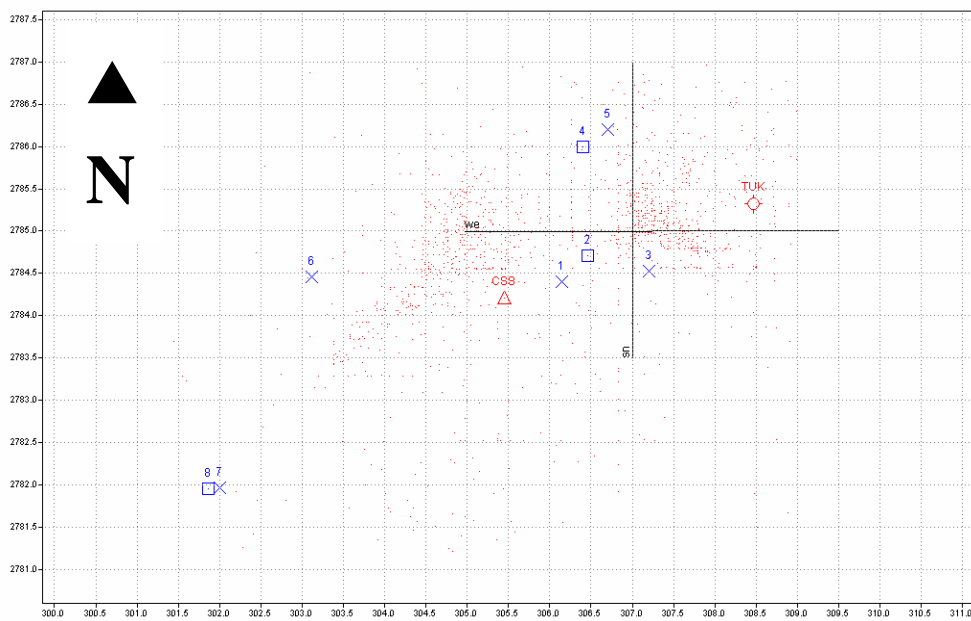


圖 3-2 MT(■)、AMT(+)測站及剖線(WE、SN)位置圖。微震分佈取材自林正洪 (2006)；CSS:七星山；TUK:大油坑；座標系統為二度分帶。(a)地形圖 (b)簡圖。

第四章 資料處理

原始觀測資料，為一類比、連續的時間域訊號，不易進行分析，須轉換為頻率域(frequency domain)，才容易處理。利用 Robust 統計方法與二維非線性共軛梯度演算法(2D-NLCG Rodi and Mackie., 2001)，逆推得到地下電性構造。大地電磁資料處理流程如圖 4-1 所示，原始資料依序先將資料由機器碼轉換為電腦可處理格式、快速傅立葉轉換與『穩健 (Robust)』統計估算 (Jones, et al. 1989) 等三個基本計算轉換，其處理結果可得到*.MT 檔案。接著由此檔案做資料好壞的挑取，經此人工編輯後，捨去不合理的資料點，後存為*.edi 檔。此外，若資料受人為電磁雜訊干擾，應使用遠端參考點修正，若無法修正則拋棄該點資料。

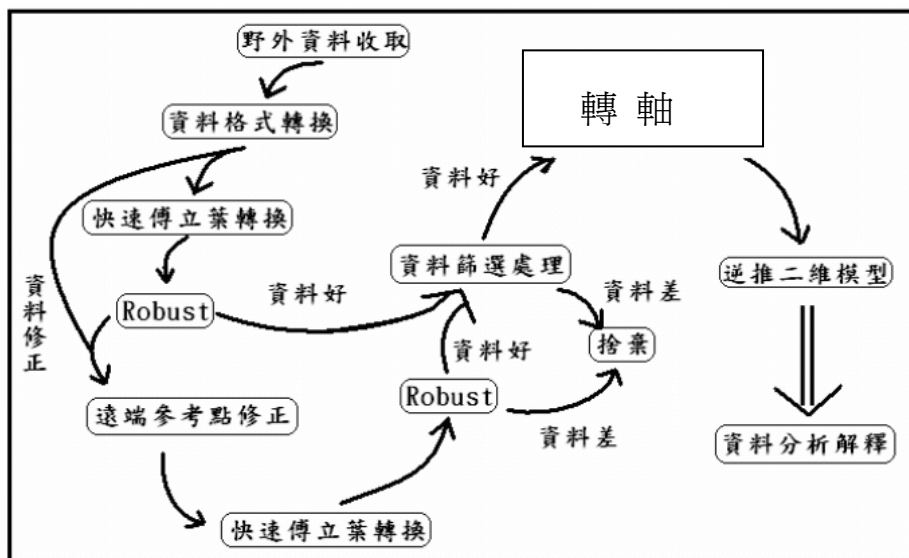


圖 4-1 資料處理流程圖

第一節 視電阻率曲線分析

測區之視電阻率曲線示於圖4-2，紅色的是TE模式（TE mode），而藍色的是TM型態（TM mode）；在電阻率與地層的關係上，TE型態表示電流走向與地層走向平行，而TM型態是表示電流走向與地層走向垂直的模式所反應的電阻率，由於TM模式是穿越地層而算出的視電阻率，TM型態通常會反應了測區的二維效應的側向變化，而TE型態則屬於一維上的層面變化。

一般而言，視電阻率曲線應表現平順，如受雜訊影響將呈現雜亂。大致而言，測區視電阻率隨週期增大，反應電阻率隨深度增大。為進一步瞭解電阻率及深度之關係，將TE與TM之視電阻率均方根值進行一維Occam反演(Constable et al, 1987)。採用Occam反演的主要優點在於解釋唯一，且並不需要起始模型。從測點8(硫磺谷)的Occam逆推結果(圖4-3)可知，大地電磁探勘深度可達10 km，遠遠超過傳統的地電方法，如直流電阻法，又測點8在1 Km 處呈現低電阻，可斷定為熱水儲集層之位置所在。

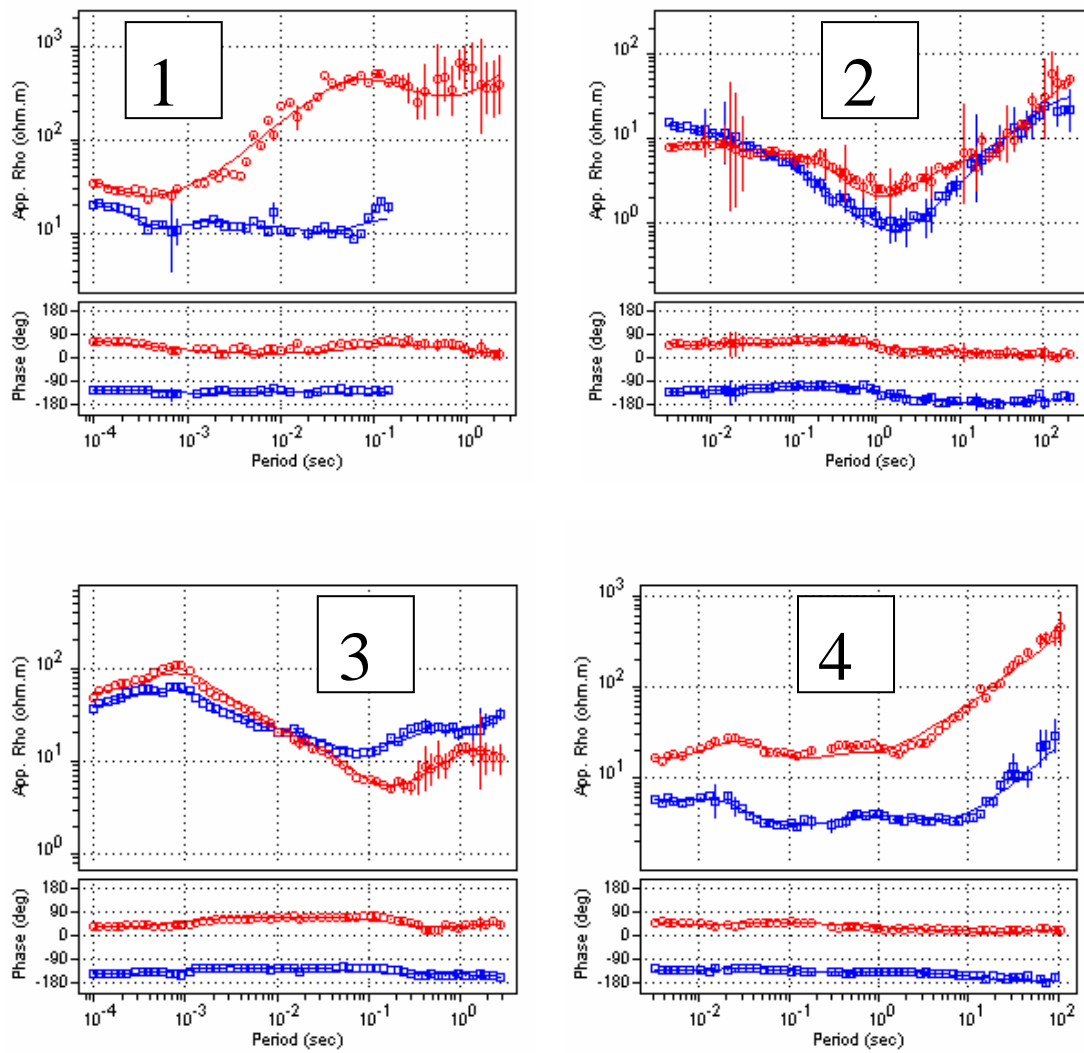


圖 4-2 各測站(編號 1 至 8)之視電阻率與相位圖。藍色:TE;紅色:TM。

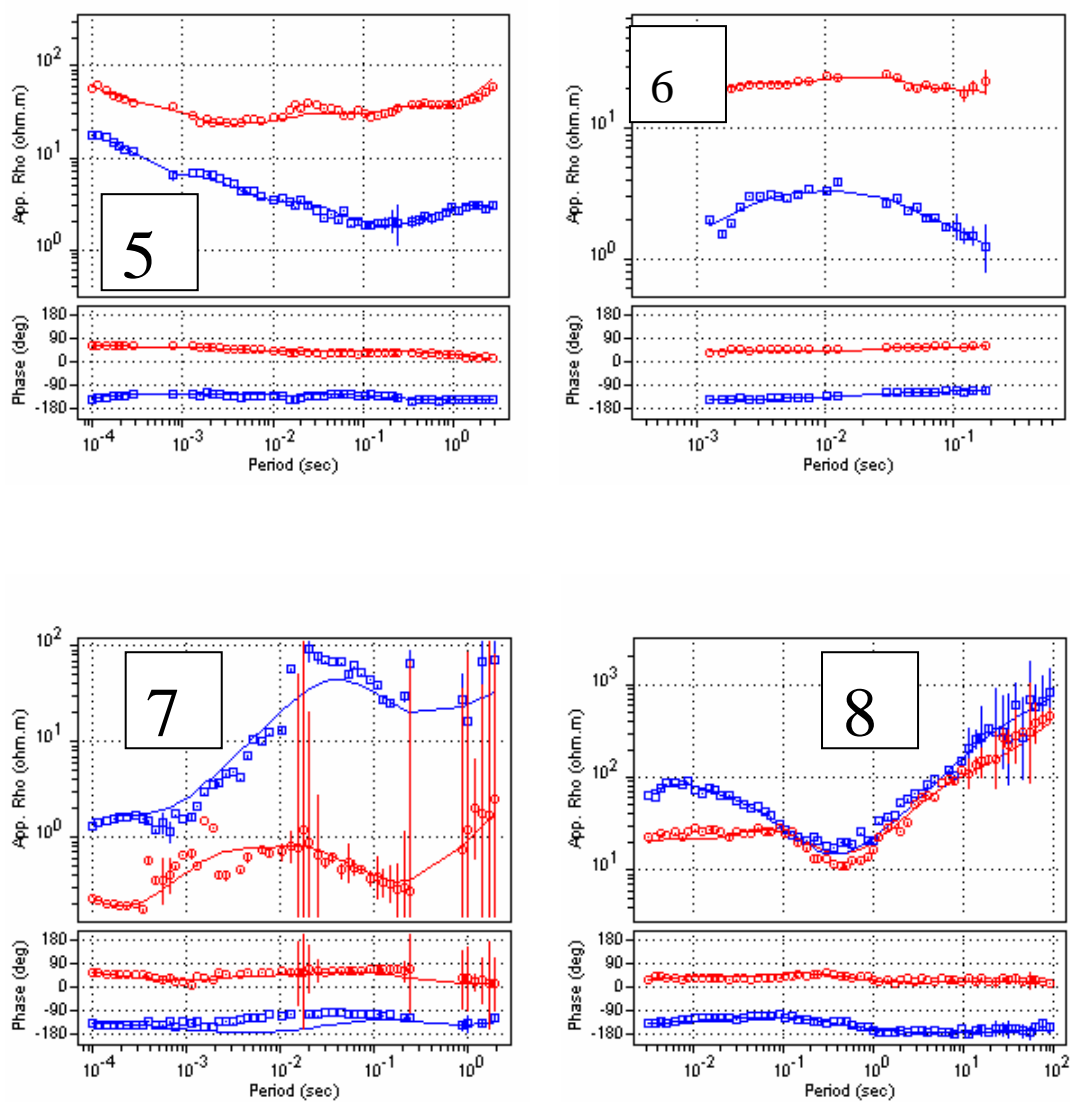


圖 4-2 (續)

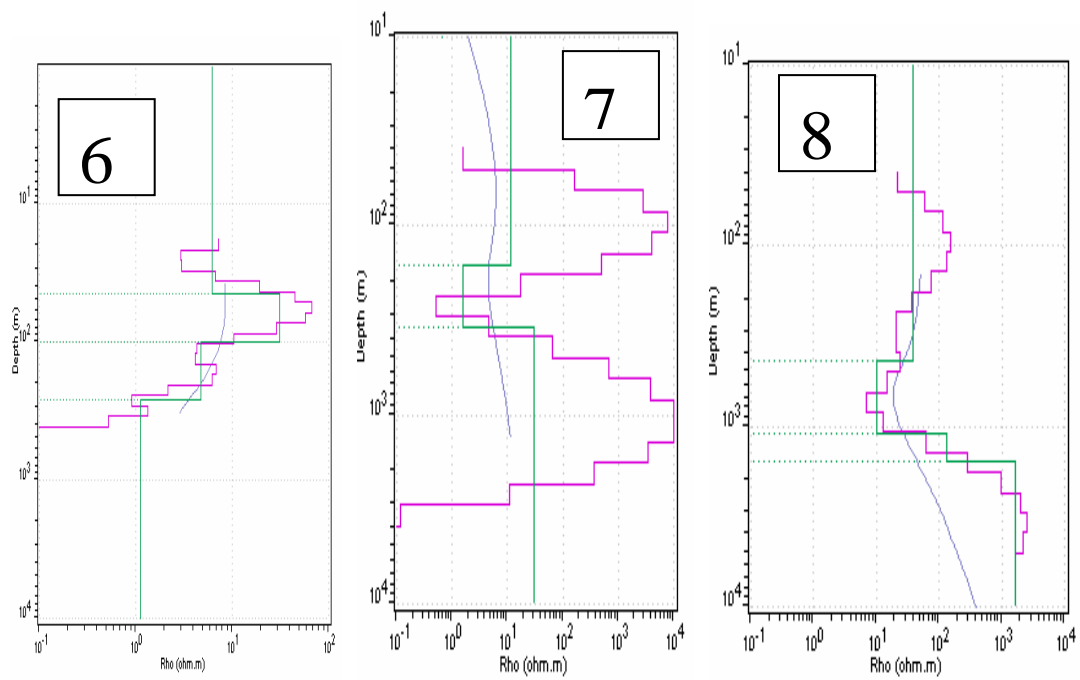


圖 4-3 硫磺谷(測點 8)及附近測點之一維反演(紅線:Occam 反演;綠線:層狀反演)，深度 300~1000 m 間存在低阻區，係熱水儲集成層。

第二節 測區週期切片圖

為了評估測七星山區下的電性構造，將各測點之視電阻率均方根值，配合各測點之座標，繪製成不同週期的電阻率切片圖研判。圖4-4展示週期 0.1s、1.0s 和10s 的電阻率切片圖共3張。當週期 0.1 s 時，測區之中心呈現低電阻，亦即測區之中心之淺部呈現良導體，可能是地下流體之反映，當週期增至 1 s，此良導體向大油坑方向棲移，當週期持續增至10 s，測區變成高電阻之反應。總之，七星山區下的電阻率隨深度而增大，其反映之地質意義將在下一章中討論。

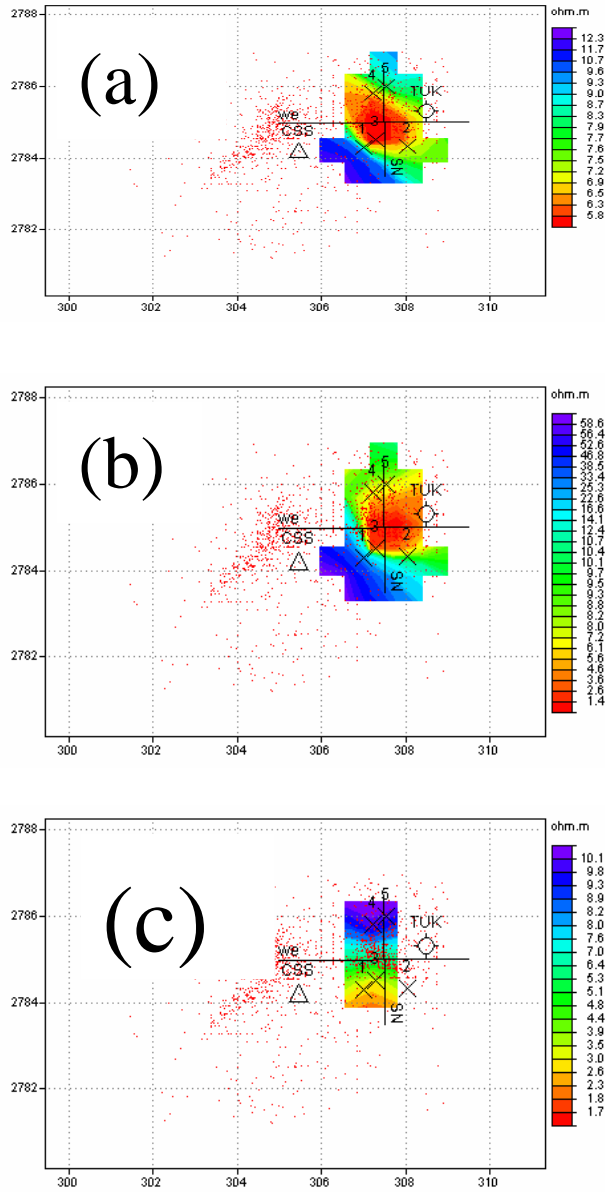


圖 4-4 七星山-大油坑附近各週期之電阻率切片圖，電阻率係 TE 與 TM 模式均方根值 (a) 0.1 s (b) 1.0 s (c) 10 s。CSS:七星山; TUK:大油坑;座標為二度分帶。

第五章 分析討論

應用大地電磁測深法研究電性構造，最主要目的是尋找地下岩層的電阻分佈，尤其是發現與岩漿庫位置或熱水分佈相關之低電阻層。當電磁波通過高導層(意即低電阻層)時，能量大部分被散射，無法穿透高導層，因此可以輕易的在地表偵測高導層的存在。本研究採用二維非線性共軛梯度演算法(Rodi and Mackie., 2001)與有限差分法(finite different method)為基礎，利用觀測資料並假設一初始理論模型，進而逆推得到最佳擬合解。二維電性剖面逆推前，首要課題就是要了解什麼因素會影響地下岩層的的導電率。

第一節 岩石導電率影響因素

影響岩層導電率的因素很多，在火山地區簡單可將其分為二大影響因素：

- 1) 岩層含水率與岩性：少量的岩石含水率，足以嚴重影響導電率，Shankland and Ander (1983)岩樣研究結果顯示，乾燥花崗岩與含水花崗岩(含水率約 1~2%)在相同溫度下，導電率有很明顯的差別。淺部(~ 1km)岩石含水率主要受孔隙率與岩性影響，深部(> 1 km)岩石內之水來自脫水作用，因岩石晶格中含有結晶水，當結晶水被束縛在礦物晶格內時，對於岩石的導電率影響很微小(Olhoeft, 1981)，當深部溫度、壓力下，礦物的脫水作用，使晶格中的結晶水離開原本的礦物而形成孔隙水(Hyndman, 1985)，此為主要影響岩石導電率的因素。
- 2) 溫度效應：一般情況下，導電率隨溫度增加而增加 (Kariya and Shankland, 1983)。當溫度高達部分熔融，岩石礦物的晶體、晶格破壞，使岩石中離子的電離能降低，造成離子數目突然增加，提升導電率，如果熔融狀態的岩石形成網狀的導電通路，導電率更會大幅增加。

此外，根據文獻，電阻率與大地體構造相對應的關係與特性如下：

- 1) 低電阻區出現在小於 60 公里處，代表構造活動劇烈區或火山活動地區，臺灣屬於構造活動劇烈區。
- 2) 低電阻區通常與震波低速帶一致(Jones, 1987; Ogawa et al., 1997)。

- 3) 對應低電阻區，通常大地熱流值較高。低電阻區位於淺部時，大地熱流值越高；低電阻區位於深處時，大地熱流值越低。
- 4) 低電阻區常與地震活動頻繁區有密切關係(Xu, 1996)。

第二節 二維電性剖面分析

本研究採用二維非線性共軛梯度演算法之逆推，主要相關參數設定，詳述於表 5-1。

表 5-1 二維模型逆推參數

	TE	TM	TM +TE	TM +TE+Hz
旋轉方位角	主軸	主軸	主軸	主軸
背景電阻率(ohm-m)	100	100	100	100
誤差底限(%) (電阻率-相位角)	30-20	30-20	30-20	30-20
靜態修正	是	是	是	是
平順度 Tau	5	5	5	5
r. m. s.	< 2	< 2	< 2	< 2
模型逆推次數	100	100	100	100

MT 資料收集採用張量施測方式，亦即各測點同時量測兩組互相垂直方向上之視電阻率 ρ_{xy} (平行電性地層走向之視電阻率，TE 極化模式)和 ρ_{yx} (垂直電性地層走向之視電阻率，TM 極化模式)，此為 MT 標準的施測方式，可彌補傳統直流電阻法一維施測之不足。二維平滑逆推程式會盡可能的擬合觀測資料與初始設定模型，此逆推演算法會

決定每個測站的靜態偏移參數，避免為了擬合少數測站資料而產生模型的局部異常效應。為了避免資料中少數資料點具有極小的觀測誤差值影響逆推結果(常發生於受近場電力線影響之測點)，特別在資料中設定 30-20%的雜訊門檻(noise floor)。起始模型設為由 100ohm-m 組成的均勻半空間，模型地表為水平，暫不考慮地形效應。

對於不同的極性模式的 MT 資料而言，有許多不同的逆推策略被提出來以還原地下構造。一般說來，併合 TM 和 TE 模式以及 Hz 模式進行逆推結果可信度較佳，故採用併合 TM 和 TE 以及 Hz 模式資料進行逆推，其 RMS 約小於 2，逆推後的最佳模型計算出的理論值符合大部分觀測之 TM 和 TE 模式資料(圖 5-1 與圖 5-2)。

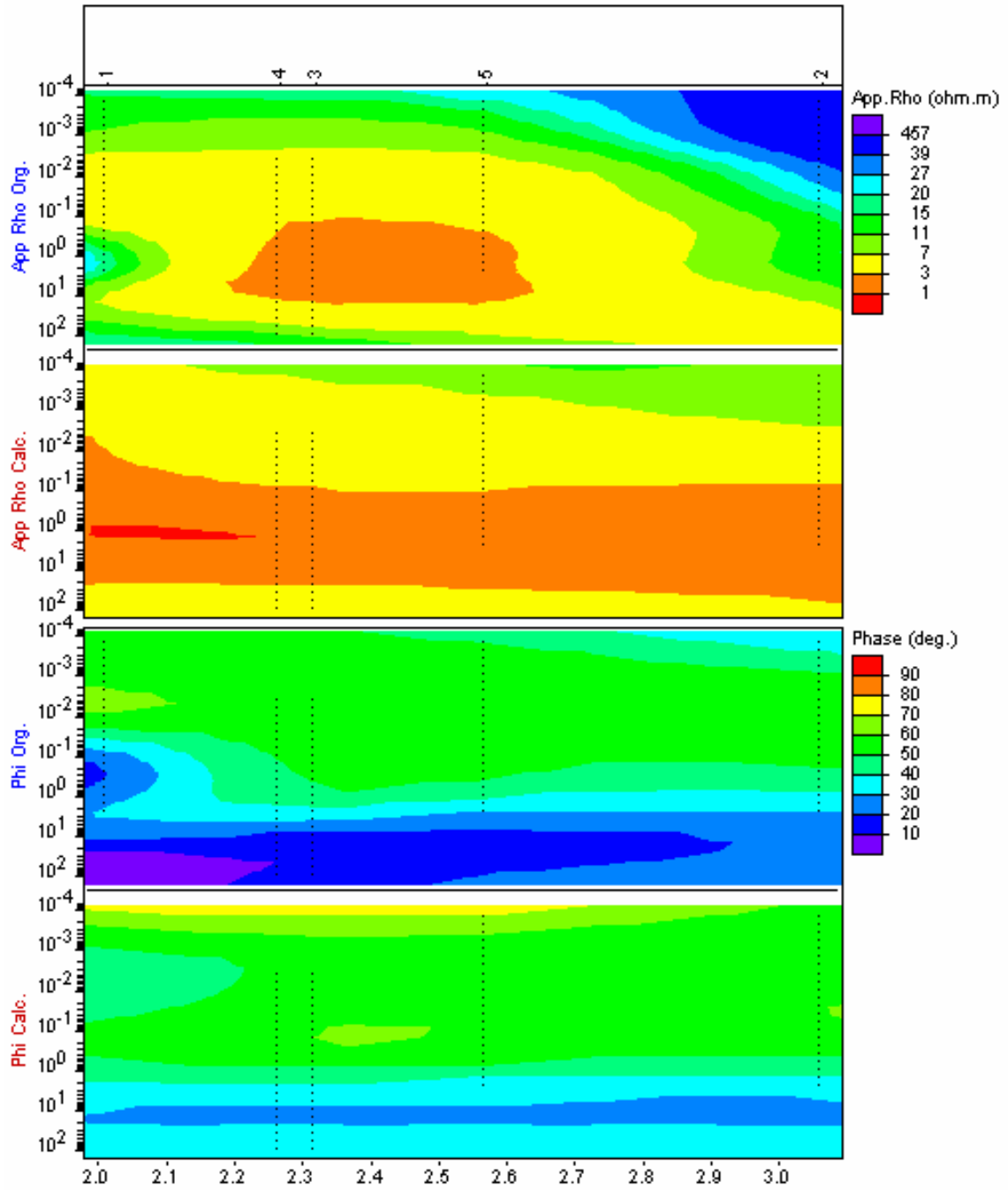


圖 5-1 TM 模式電阻率觀測值與其二維逆推(圖十一)後之比較。由上而下依序為觀測視電阻率、逆推視電阻率、觀測相角和逆推相角圖。低電阻區以紅色表、高電阻區以藍色表;資料點為黑色;各圖之縱軸為週期(s)，橫軸表距離(km)。

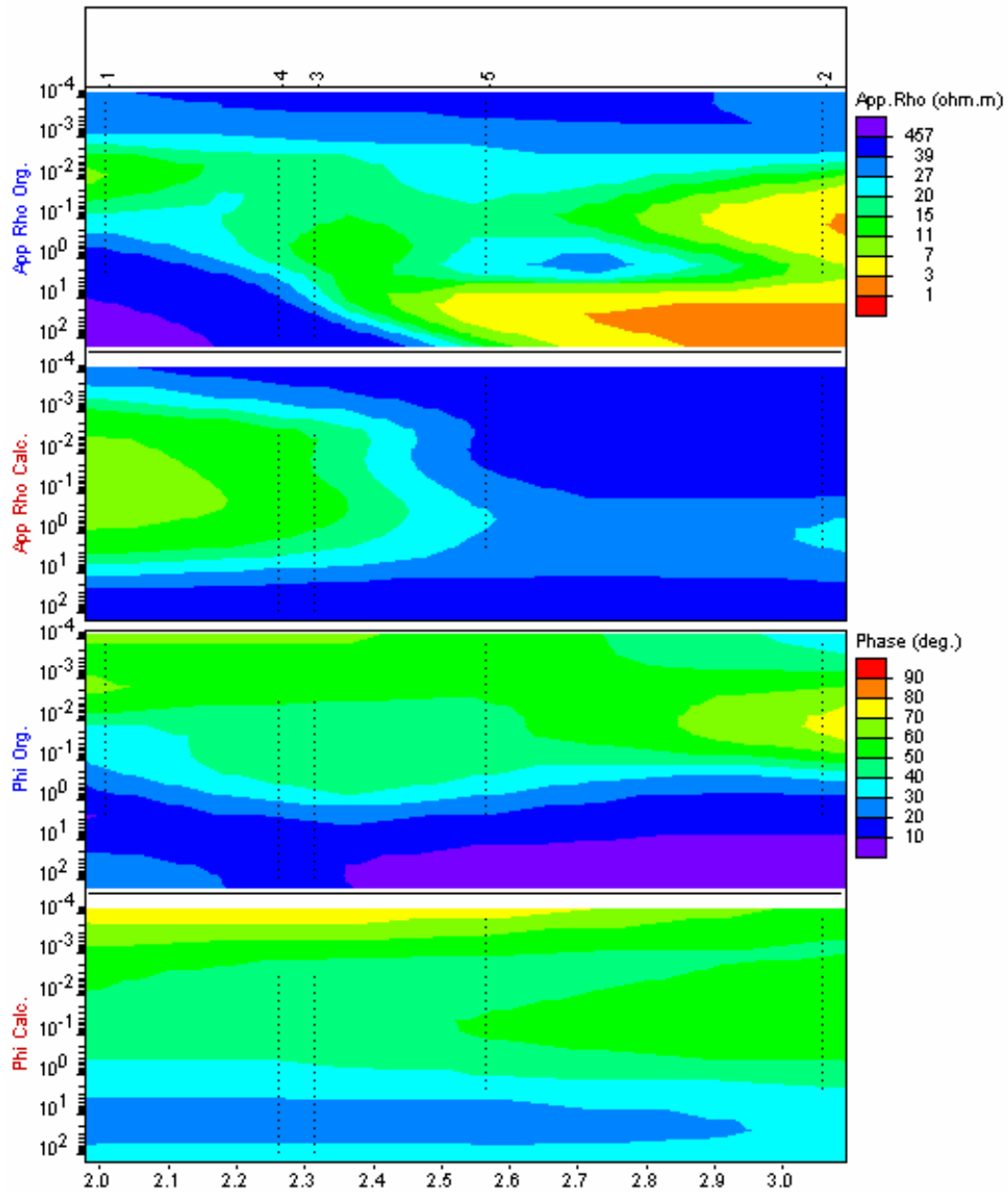


圖 5-2 TE 模式電阻率觀測值與其二維逆推(圖十一)後之比較。由上而下依序為觀測視電阻率、逆推視電阻率、觀測相角和逆推相角圖。低電阻區以紅色表、高電阻區以藍色表；資料點為黑色；各圖之縱軸為週期(s)，橫軸表距離(km)。

第三節 解釋與討論

從七星山到大油坑之地表下，東西向之二維電性構造剖面(圖 5-3a)，在10公里深度內，大至呈現背斜之構造，亦即中央高區(測點 4與5間，約在冷水坑附近)向周圍傾斜之構造，電性地層呈層狀分佈，大至可分成三層，由淺而深依序為小於25 ohm-m之表層，介於25-250 ohm-m之中電阻率層以及高於250 ohm-m 之深部層。表層係良導體(電阻率 < 25 ohm-m)，厚約500 m，東西延伸至少 2 km，而南北約為 1.5 km (圖十二)。配合地表之噴氣、熱泉、微震等熱水活動現象推斷，此地表岩層屬良導體之主要原因可能是火山之熱水對流所致，進一步從此低阻層之結構均質現象也可以合理的推論，此 500 m厚之岩層之孔隙率相當高。

在表層下 2 至 5 Km 處是微震活動密集帶(圖 5-3b)，該處之電阻率較表層為高，可能反應該處之岩層含水量較小、或含氣量較高、或岩層結構較緻密等等因素，從微震活動密集研判，該處應屬於較緻密岩層結構。一般微震之來源與發生機制，可以用岩層裂縫內液體或氣體，因壓力突增或突減所造成之震動來解釋，由於該處之電阻率較高，推論以氣體壓力造成之震動為主。

在地下約 6 Km 深處，發現一高電阻層(電阻率 > 250 ohm-m)，東西寬約 2 Km，向下延伸 10 Km 以下，從其形貌近似球狀判斷，有可能屬於岩漿庫構造，再從其偏高之電阻值研判，岩漿庫可能屬於冷卻中之岩漿，否則岩漿之高溫應呈現極低電阻反應。值得一提的是，測線東西兩端之電性地層構造，由於缺乏地表之測點控制，屬外差之結果，僅供參考，不足以解釋大油坑以及七星山之構造細節。

七星山下南北向之二維電性構造剖面(圖5-4)與東西向構造類

似，說明了深部隆起構造係一3D構造 但是主要之不同點有二：

1)隆起構造在七星山下較大油坑為淺，此構造亦說明了本區七星山微震觀測兩個現象(林正洪, 2006):其一、大油坑的微震個數也幾乎是屬於相對的活動高峰期，其二、七星山地區之微震震源深度小於大油坑附近震源深度之關測結果，因為兩地屬於同一震源機制。

2)此隆起構造之南北向(2 Km)較東西向(1.5 Km)為長，推測可能是長期受到來自東側之大地應力推擠所致。根據上述MT資料分析，深度6公里下之岩漿庫，如果活動隆起，將影響上覆之岩層而變形，極可能造成目前背斜般構造；如果岩漿持續隆起，將造成上覆岩層陸續斷裂，引發密集微震，據此推論，大屯火山群可能為一潛在之活火山，火山地震觀測與地表變形監測有其必要。

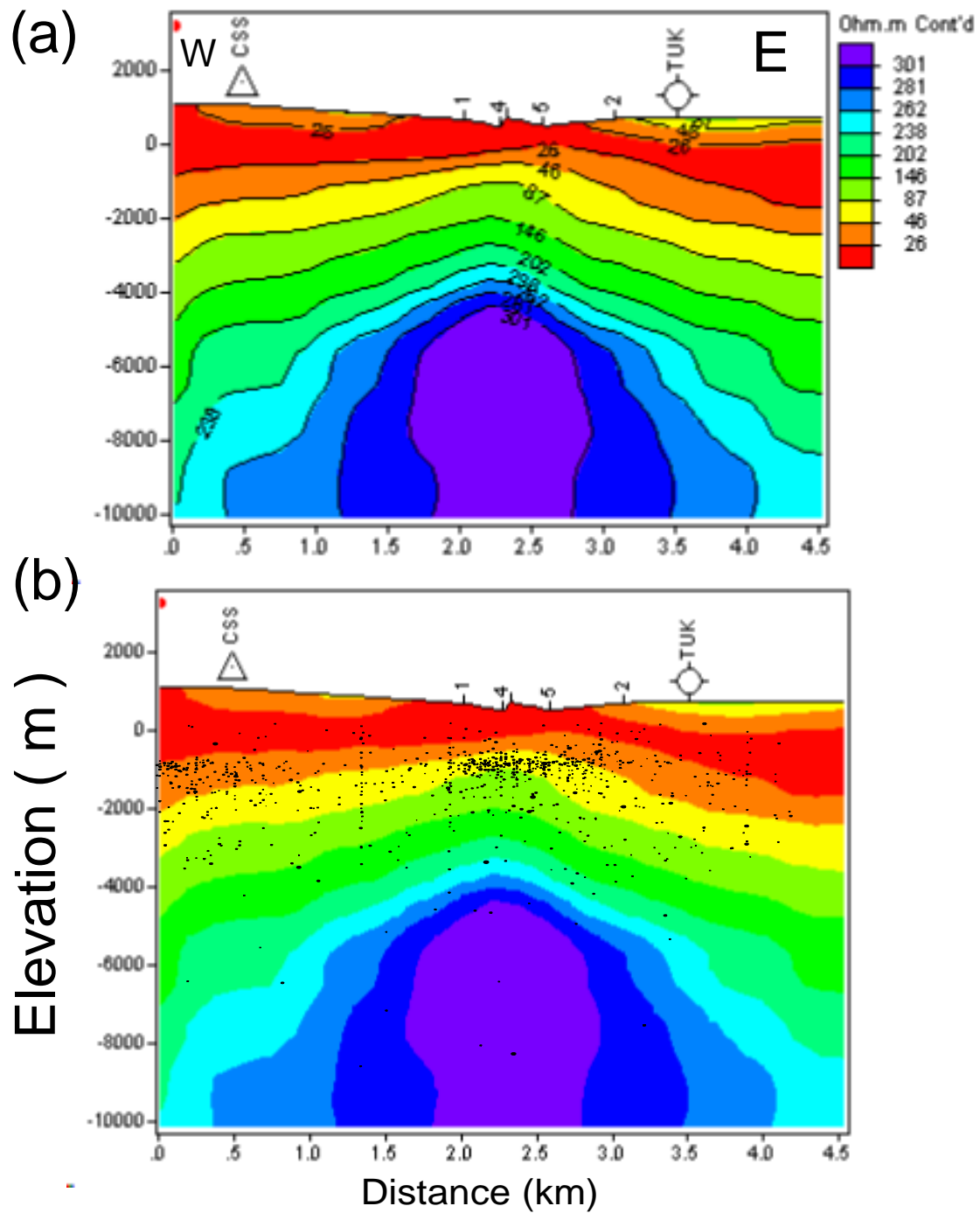


圖 5-3 (a)測區七星山-大油坑附近東西向二維電性構造剖面圖 (b) 套上微震分佈(林正洪, 2006)。電性構造紅色表低電阻區、藍色表高電阻區。CSS:七星山; TUK:大油坑。

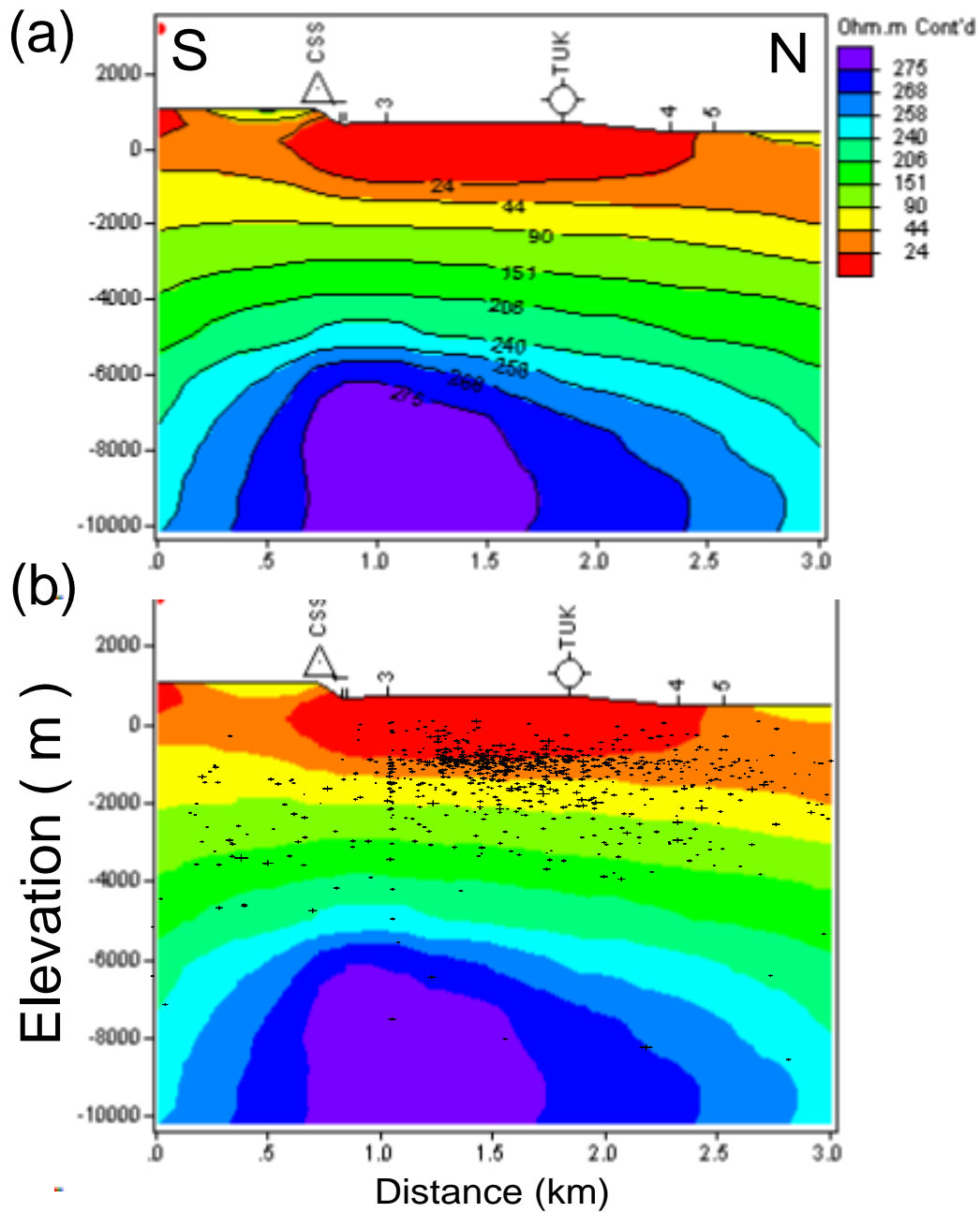


圖 5-4 (a)測區七星山-大油坑附近南北向二維電性構造剖面圖 (b)套上微震分佈(林正洪, 2006)。電性構造紅色表低電阻區、藍色表高電阻區。 CSS:七星山; TUK:大油坑。

第六章 結論

一、從七星山到大油坑之地表下10公里大至呈現背斜之構造，電性地層呈層狀分佈。

二、七星山到大油坑之表層約500 m厚，係良導體，主要原因可能是火山之熱水對流所致，此岩層之孔隙率相當高。

三、七星山到大油坑之地表下2至5 Km處是微震活動密集帶，該處屬於緻密岩層結構，微震之來源，主要是火山氣體突增或釋放所造成。

四、七星山到大油坑之地下約6 Km深處，發現一形貌近似球狀構造，可能是岩漿庫，從該構造偏高之電阻值研判，可能屬於冷卻中之岩漿。

五、本研究位於硫磺谷的電性資料顯示，其熱水儲集層之主要位置約在地下300~1000 m處。

第七章 建議

本計畫之初步發現：從七星山到大油坑之地下約 6 Km 深處存在疑似岩漿庫，確有追查探究之必要。雖然依目前有限之地電磁測點資料，無法清楚地判識此構造與異常之正確之機制，但其特徵卻與一般活火山地區之岩漿或熱水活動相似，故很值得作更進一步追查岩漿庫存在之真實性，茲建議如下：。

1. 立即可行建議：大屯火山地區能進一步仔細探查，確認岩漿庫存在之真實性；主辦機關為陽明山國家公園管理處，協辦機關為國內地球科學學校相關系所或研究單位。

2. 中長期建議：大屯火山群之岩漿庫是否復活，關係大台北附近民眾的生命財產安全，持續目前已進行之各項長期火山變化監測之相關研究，跨學門綜合研判岩漿庫復活之預警，始臻周全。建議主辦機關為陽明山國家公園管理處，協辦機關為國內地球科學學校相關系所或研究單位。

參考書目

中文部分

林正洪, 2006. 大屯火山群潛在岩漿庫及微震觀測網長期監測計畫
(四), 內政部營建署陽明山公園管理處委託研究報告。

楊燦堯, 1999. 陽明山國家公園大屯火山群之氦氣及其同位素地球化
學之研究, 內政部營建署陽明山國家公園管理處委託計畫。

英文部分

Cagniard L., 1953. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical
prospecting. *Geophysics.*, 18, 605-635.

Constable, S.C., Parker, R.L., and Constable, C.G., 1987. Occam's inversion: a
practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic
sounding data. *Geophysics*, 52: 289-300.

Gamble, T. D., Goubau, W M., and Clarke, J., 1979. Magnetotellurics with a remote
magnetic reference, *Geophysisc*, 18, 605-635.

Jones, A.G., 1987. MT and reflection: an essential combination. *Geophys. J. R. astr.
Soc.*, 89, 7-18.

Jones, A.G., Chave, A.D., Auld, D., Bahr, K., and Egbert, G., 1989. A comparison of
techniques for magnetotelluric response function estimation. *J. Geophys. Res.*,
94,14201-14213.

Kariya, K.A., and Shankland, T.J., 1983. Electrical conductivity of dry lower crustal
rocks. *Geophysics*, 48, 52-61.

Olhoeft, G.R., 1981. Electrical properties of granite with implications for the lower
crust. *J. Geophys. Res.*, 86: 931-936.

Ogawa, Y., Honkura, Y., Ohtani, F., Kuroki, H., and Mitsuhashi, Y., 1997. Preliminary
MT modeling in the Nikko volcanic area – potential break of fluid trap by volcanic
intrusion. *J. Geomag. Geoelectr.*, 49, 1073-1078.

Phoenix geophysics, 2005. V5 system2K MTU/MTUA user guide,
<http://www.phoenix-geophysics.com>

- Rodi, W., Mackie, R. L., Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics*, 66, 174-187, 2001.
- Shankland, T. J., and M. E. Ander, 1983. Electrical conductivity, temperature, and fluids in the lower crust. *J. Geophys. Res.*, 88: 9475-9484.
- Song, S. R., Lo H. J., Chen, C. H., Tsao, S. and Yang, J. J., 1992, cauldron formation and volcanic eruption of the Tatun volcanic group. 4th Symposium Quaternary of Taiwan, 45.
- Tsao, S. J., 1994, Potassium-argon age determination of volcanic rocks from the Tatun Volcano Group. *Bull. Central Geol. Surv.*, 9.
- Xu, C.F., 1996. The earthquake distribution and the resistivity structure in the Chinese mainland(I). *Acta Seismologica Sinica*, 9,327-334.
- Yang, T. F., Sano, Y., Ho, H. H., Shieh, P. S., Liu, N. T. and Chen, C. H., 1999, Variations of Helium isotopic ratios of gases from Tatun Volcano Group, N. Taiwan, Handbook of Annual Meeting of Geolo. Soc. China, 35-36.
- Yang, T. F., 1999, The helium isotopic study of fumaroles from Tatun Volcano Group of Yangmingshan National Park, *Journal of National Park*.

「大屯火山群地底岩漿庫之調查與監測—
音頻大地電磁法之觀測調查」—調查報告會議簽到簿及紀錄

一、時間：97 年 12 月 3 日（星期三）下午 2 時

二、地點：本處二樓會議室

三、主持人：林處長永發

記錄：張弘明

四、出（列）席單位及人員

出席機關（單位）（人員）	職 稱	簽 到 處
本處詹副處長德樞	副處長	詹德樞
陳秘書昌黎	秘書	陳昌黎
企劃經理課		
環境維護課		
遊憩服務課	課長	王經堂
解說教育課	技士	游淑鈞
技正室		
小油坑管理站	主任	呂理昌
龍鳳谷管理站	巡查員	林志甫
擎天崗管理站	約聘解說員	高英雄
陽明書屋管理站		
資訊室		

建管小組		
會計室		
人事室		
行政室		彭小軒
保育研究課	課長	羅淑英
	技士	鄭文良

研究團隊代表

中央大學地球物理研究所 陳洲生教授	教授	陳洲生
----------------------	----	-----

列席機關(單位)(人員)	職 稱	簽 到 處
中國文化大學環境設計學院		

五、討論：

(一)第20頁微震分佈圖可套疊GIS地形圖底圖，標示出岩漿庫詳細正確的位置，可供野外或解說教育之用。

受託單位代表：感謝指導，請貴處提供GIS地形圖，將全力配合照辦。

(二)建請將今年最新微震資料整合至最後調查報告中，如此相乘效果，效益更高。

受託單位代表：感謝指導，請儘速將林正洪教授

最新資料寄送，俾便整合。

(三) 明年度是否再換新測點（如馬槽、龍鳳谷…），整體考量更周詳的佈點，以探測出更完整的岩漿庫位置。

受託單位代表：將考量配合辦理。

(四) 能否探勘出龍鳳谷底下的岩層、溫泉及岩漿庫之分佈概況。

受託單位代表：若經費允許，將配合辦理。

六、結論：

(一) 本案依期末簡報意見修正，並經本處審查后通過。

(二) 請受託單位依合約書規定續辦，並於12月31日前，完成審查驗收等結案事宜。

(三) 請保育課考量整合大屯火山群地質監測計畫，於明年度起整合各種微震（地殼變形）、氣體、地溫、大地電磁法等監測調查工作，以長期持續彙整大屯火山群岩漿庫變化狀況。

(四) 以下空白。