



「台灣北部火山活動觀測研究」  
台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(1/2)  
(第一年度)

期末報告

委託單位

經濟部中央地質調查所

執行單位

財團法人工業技術研究院

中華民國 101 年 12 月

「台灣北部火山活動觀測研究」  
台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(1/2)  
(第一年度)

期末報告

摘 要

為了掌握台灣東北部地區深部地質構造及火山活動特性，本計畫主要任務為建立我國空中磁力及甚低頻電磁探測技術，並應用於宜蘭陸海域之火山及地質探測，提供調查區域內有關潛在岩漿庫分布範圍及區域地質構造資訊。

本計畫於 2012 年 5 月 21 日完成簽約，並依預定進度完成各項工作，符合合約進度要求。包括順利引進三軸拖鳥磁力及甚低頻電磁探測設備，並自行發展空中磁測專用導航系統，成功地完成了本年度飛行測試工作，更由本年度獲得的高精度空中磁力資料，對於宜蘭平原及其鄰近海域之基盤構造與龜山島火山活動有更進一步的瞭解。

由本計畫磁測資料顯示，龜山島鄰近火山岩分布範圍約達直徑 9 公里，概略以龜山島之龜首為中心，龜山島火山活動曾順基盤岩既有的東南東方向裂隙帶，發生裂隙噴發活動及岩脈侵入作用，形成東南東方向之磁力高區，而後因火山白陷落作用而形成環狀岩脈。環狀岩脈內的低磁力區域推測對應岩漿庫位置，因受高溫影響導致磁力強度相對減小，故此區之居里深度較周遭地區淺，深度約僅 6 公里上下。

關鍵字：空中地球物理、空中磁力探測、空中甚低頻電磁探測、火山地質、宜蘭地區、龜山島火山



The Airborne Geophysical Survey of Igneous Bodies and Geological Structures in  
Northeast Taiwan (1/2)

Final Report

**ABSTRACT**

To understand deep geological structure and volcanic characteristics in northeast Taiwan area, the purpose of this project is to establish helicopter-borne magnetic and very low frequency electromagnetic (VLF-EM) techniques, and to apply these techniques over Yilan land and maritime area on volcanic and geological aerosurveying to provide distribution information of potential magma chamber as well as regional geological structures.

This project began on May 21, 2012 under contract agreement. All project items have been conducted on schedule, including import and installation of the tri-axial magnetic gradiometer and VLF-EM sensor, navigation device-specified development for helicopter-borne magnetic survey, smoothly and successfully flight testing, and achieving high resolution aeromagnetic data. This accomplishment provides new insight on basement structures of Yilan plain and maritime area, and on Kueishantao (or Kueishan Island) volcanism.

Based on new aeromagnetic data, this study reveals that volcanic rocks distribute ca. 9 km diameter centering by the turtle head of the Kueishantao. In addition, the ESE-orient high magnetic lineaments around the Kueishantao maritime area are interpreted as caused by fissure eruption and dike intrusion of the Kueishantao volcanism along ESE-orient fracture zones. Ring dikes beneath the Kueishantao area might be a subsident crater form (caldera); therefore, the low magnetic field within the ring dikes being a magma chamber at the depths of about 6 km represents a high temperature source lowers magnetic intensity as well as shallower depth to Curie point.

Key words: airborne geophysics, helicopter-borne magnetic survey, helicopter-borne very low frequency EM survey, volcanic geology, Yilan area, Kueishantao volcanism

# 目 錄

頁次

摘 要.....	I
ABSTRACT .....	II
目 錄.....	III
圖 目 錄.....	VI
表 目 錄.....	XI
1 緒 論 .....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫目的.....	2
1.3 計畫工作內容概述.....	2
1.4 計畫工作流程.....	3
1.5 合約完成數量.....	3
2 研究區域概述 .....	7
2.1 地體構造.....	7
2.2 區域地質.....	10
2.3 歷年相關研究成果.....	12
2.3.1 斷層構造.....	12
2.3.2 水準測量資料.....	15
2.3.3 GPS變形觀測 .....	15
2.3.4 遙測資料.....	18
2.3.5 地震觀測.....	19
2.3.6 地球物理探測.....	20
3 研究方法與步驟.....	23
3.1 空中地球物理探測.....	23
3.1.1 磁力法.....	23
3.1.2 甚低頻電磁法.....	24
3.2 岩層物性量測.....	30
4 研究成果 .....	31

<b>4.1</b>	<b>空中磁力探測設備購置</b> .....	<b>31</b>
4.1.1	設備規格與購置過程.....	31
4.1.2	空中磁力探測設備介紹.....	33
4.1.3	儀器操作訓練.....	34
4.1.4	三軸拖鳥組裝程序.....	35
<b>4.2</b>	<b>空中磁力探測作業</b> .....	<b>46</b>
4.2.1	航線規劃.....	46
4.2.2	限航區分布.....	47
4.2.3	適航申請.....	47
4.2.4	飛航申請.....	49
4.2.5	磁力基站選取.....	50
4.2.6	飛航現調作業.....	50
<b>4.3</b>	<b>資料處理</b> .....	<b>62</b>
4.3.1	測線整編.....	62
4.3.2	資料品質分析.....	62
4.3.3	磁力資料處理.....	71
4.3.4	甚低頻電磁資料處理.....	100
<b>4.4</b>	<b>資料解釋</b> .....	<b>104</b>
4.4.1	岩層物性量測.....	104
4.4.2	磁力特徵.....	107
4.4.3	地質解釋.....	117
<b>4.5</b>	<b>教育訓練與技術轉移</b> .....	<b>126</b>
<b>5</b>	<b>結論與建議</b> .....	<b>128</b>
5.1	結論.....	128
5.2	建議.....	129
<b>6</b>	<b>參考文獻</b> .....	<b>131</b>
<b>7</b>	<b>附錄</b> .....	<b>138</b>
7.1	期末報告審查意見及答覆辦理說明.....	139
7.2	空中磁力探測設備型錄.....	144
7.3	三軸拖鳥組裝及操作手冊.....	149

7.4 地面測試紀錄表.....	160
7.5 飛航申請函文.....	167
7.6 飛航作業及臨時起降場同意函.....	184
7.7 岩層露頭磁感率及電阻率量測紀錄.....	192
7.8 磁力異常圖幅.....	229

## 圖目錄

	頁次
圖 1-1：分年調查範圍及鄰近限航區與管制區分布圖 .....	5
圖 1-2：工作流程圖 .....	6
圖 2-1：台灣東北部蘭陽平原鄰近地區之地體構造圖 .....	8
圖 2-2：台灣鄰近地區地形及菲律賓海板塊邊界分布圖 .....	9
圖 2-3：蘭陽平原鄰近地區地質圖 .....	12
圖 2-4：蘭陽平原過去不同研究所提出之斷層分布圖 .....	14
圖 2-5：由蘇澳至梗枋的南北向水準測量結果 .....	15
圖 2-6：由 1992 至 1996 年間GPS觀測獲得之水平位移速度場 .....	17
圖 2-7：由 1995 至 2005 年間GPS觀測獲得之水平位移速度場 .....	17
圖 2-8：由 2002 至 2006 年間GPS觀測獲得之水平位移速度場 .....	18
圖 2-9：以永久散射體雷達差分干涉法獲得之平均沉陷速度場 .....	19
圖 2-10：依磁力解釋之蘭陽平原下伏基盤岩層與構造分布圖 .....	21
圖 2-11：蘭陽平原磁力經尤拉解迴旋處理之岩脈與斷層解分布圖 .....	21
圖 2-12：蘭陽平原磁力異常圖 .....	22
圖 2-13：蘭陽平原剩餘布蓋重力異常圖 .....	22
圖 3-1：幾種典型的空中地球物理探測載具 .....	27
圖 3-2：澳洲空中磁力異常圖 .....	27
圖 3-3：磁力法施測原理示意圖 .....	28
圖 3-4：甚低頻電磁法施測原理示意圖 .....	28
圖 3-5：岩層物性量測現場作業情形 .....	30
圖 4-1：空中磁力探測設備主要部分照片 .....	40
圖 4-2：三軸拖鳥組裝完成後照片及各部組件名稱 .....	41
圖 4-3：移動式地面磁力儀組裝完成後照片及各部組件名稱 .....	41
圖 4-4：GEM三軸拖鳥系統功能方塊圖 .....	42

圖 4-5：GEM三軸拖鳥外部尺寸構造圖 .....	42
圖 4-6：GEM三軸拖鳥設計圖 .....	43
圖 4-7：GEM三軸拖鳥地面支架設計圖 .....	43
圖 4-8：在工研院進行儀器操作訓練情形 .....	44
圖 4-9：在台北松山機場進行地面測試情形 .....	44
圖 4-10：穩定尾翼組裝圖 .....	45
圖 4-11：穩定尾翼組裝完成圖 .....	45
圖 4-12：測試範圍航線規劃圖 .....	54
圖 4-13：本計畫VLF-EM接收塔台位置圖 .....	54
圖 4-14：航空器適航申請流程圖 .....	55
圖 4-15：宜蘭運動公園臨時起降場位置圖 .....	55
圖 4-16：候選磁力基站位置圖 .....	56
圖 4-17：候選磁力基站現場照片 .....	56
圖 4-18：磁力基站之地球磁場紀錄 .....	57
圖 4-19：飛航現調作業流程圖 .....	57
圖 4-20：飛航現調作業照片 .....	58
圖 4-21：工研院研發的空中地球物理導航系統機長前方導航畫面 .....	58
圖 4-22：偏航距誤差過大之測線航跡圖 .....	59
圖 4-23：航向測試航線圖 .....	59
圖 4-24：重覆測試航線圖 .....	60
圖 4-25：航跡圖與整編後測線分布圖 .....	68
圖 4-26：測線L41 重覆測試結果.....	69
圖 4-27：測線L3 重覆測試結果.....	69
圖 4-28：測線L5 重覆測試結果.....	70
圖 4-29：測線L30 重覆測試結果.....	70
圖 4-30：全磁場強度高低異常區與磁傾角及磁體位置間關係圖 .....	76
圖 4-31：測線L5 上典型的突波磁力紀錄.....	77

圖 4-32：原始全磁力異常圖 .....	77
圖 4-33：經突波移除後之磁力異常圖 .....	78
圖 4-34：2012/9/8 磁力基站原始紀錄與經突波移除後之紀錄 .....	79
圖 4-35：磁力基站每日之地磁紀錄 .....	79
圖 4-36：經基站修正後之全磁力異常圖 .....	80
圖 4-37：經國際地磁參考場修正後之全磁力異常圖 .....	80
圖 4-38：經航向修正後之全磁力異常圖 .....	81
圖 4-39：經延遲修正後之全磁力異常圖 .....	81
圖 4-40：系統性雜訊 .....	82
圖 4-41：經微調平後之全磁力異常圖 .....	82
圖 4-42：本計畫研究區域全磁力異常圖 .....	83
圖 4-43：Hsu et al. (1998)編修之台灣周圍剩餘磁力異常圖 .....	83
圖 4-44：江協堂(2010)編修之蘭陽平原鄰近區域剩餘磁力異常圖 .....	84
圖 4-45：常用濾波器之反應函數 .....	90
圖 4-46：經歸極換算處理後之全磁力異常圖 .....	91
圖 4-47：經低通濾波及歸極換算處理後之區域磁力異常圖 .....	92
圖 4-48：經向上延伸及歸極換算處理後之區域磁力異常圖 .....	92
圖 4-49：經高通濾波及歸極換算處理後之剩餘磁力異常圖 .....	93
圖 4-50：扣除向上延伸磁力值後之剩餘磁力異常圖 .....	93
圖 4-51：經一次垂直微分及歸極換算處理後之磁力異常圖 .....	94
圖 4-52：經傾角微分處理後之磁力異常圖 .....	94
圖 4-53：磁力異常圖幅版面設計示意圖 .....	95
圖 4-54：三維逆推之輸入觀測網格 .....	97
圖 4-55：三維逆推疊代次數與均方根誤差關係圖 .....	98
圖 4-56：經三維逆推獲得之三維磁感率模型 .....	98
圖 4-57：經三維逆推處理後重新計算之理論網格 .....	99
圖 4-58：觀測網格與理論網格間之誤差網格 .....	99

圖 4-59：測線L10 頻率 22.3 Hz總量之濾波結果 .....	101
圖 4-60：測線L50 頻率 22.3 Hz總量之濾波結果 .....	101
圖 4-61：頻率 19.6 Hz之原始總量等值圖 .....	102
圖 4-62：經濾波處理後頻率 19.6 Hz之總量等值圖 .....	102
圖 4-63：頻率 22.3 Hz之原始總量等值圖 .....	103
圖 4-64：經濾波處理後頻率 22.3 Hz之總量等值圖 .....	103
圖 4-65：岩層物性量測點位置圖 .....	105
圖 4-66：蘭陽平原鄰近區域地層露頭岩性與磁感率關係圖 .....	105
圖 4-67：蘭陽平原鄰近區域地層露頭岩性與電阻率關係圖 .....	106
圖 4-68：全磁力異常圖之磁力強度特徵 .....	110
圖 4-69：區域磁力異常圖之磁力強度特徵 .....	110
圖 4-70：全磁力異常圖之磁體邊界解釋圖 .....	111
圖 4-71：全磁力異常圖之磁力線形解釋圖 .....	111
圖 4-72：剩餘磁力異常圖之磁力線形解釋圖-1 .....	112
圖 4-73：剩餘磁力異常圖之磁力線形解釋圖-2 .....	112
圖 4-74：以不同截切波長處理之剩餘磁力異常圖 .....	113
圖 4-75：三維磁力模型之方塊圖 .....	114
圖 4-76：蘭陽平原鄰近區域之地震震央分布與震源機制解 .....	116
圖 4-77：全磁力異常圖中細部磁力線形分布圖 .....	122
圖 4-78：中央山脈蘇澳斷塊與南澳斷塊應變橢圓長軸投影軌跡圖 .....	122
圖 4-79：南蘇澳層中靠近大南澳片岩交界的變質輝綠岩脈地質剖面圖 .....	123
圖 4-80：龜山島地質圖 .....	123
圖 4-81：龜山島鄰近區域之環狀磁力高區及其成因模型示意圖 .....	124
圖 4-82：蘭陽平原陸海域熱流值分布圖 .....	124
圖 4-83：磁感率等高程切面圖套疊微震分布圖 .....	125
圖 4-84：第一次教育訓練現場照片 .....	126
圖 4-85：第二次教育訓練現場照片 .....	126



圖 5-1：下年度飛行範圍調整建議 .....130

## 表 目 錄

	頁次
表 1-1：計畫合約完成數量對照表 .....	4
表 3-1：空中磁測技術之演變 .....	29
表 3-2：幾種地質探測方法單位成本比較表 .....	29
表 3-3：GSM-19 系列儀器所能接收的VLF發射台基本資料表 .....	29
表 4-1：空中磁力設備交貨清單 .....	38
表 4-2：空中磁力設備儀器操作訓練課程表 .....	39
表 4-3：R30 限航區基本資訊 .....	47
表 4-4：空中磁測飛航作業允許之最大偏航距與不同測量比例尺間對照表 .....	60
表 4-5：重覆測試內容一覽表 .....	61
表 4-6：飛航現調飛時與完成測線長度統計表 .....	61
表 4-7：測線的雜訊水平分級標準 .....	64
表 4-8：各測線磁力紀錄之雜訊水平 .....	65
表 4-9：磁力基站的雜訊水平分級標準 .....	67
表 4-10：磁力基站磁力紀錄之雜訊水平 .....	67
表 4-11：三軸拖鳥各磁力感測器的航向修正量 .....	84
表 4-12：蘭陽平原鄰近區域地層露頭磁感率及電阻率量測成果統計表 .....	106
表 4-13：第一次教育訓練課程表 .....	127
表 4-14：第二次教育訓練課程表 .....	127

# 1 緒論

## 1.1 計畫緣起

經濟部中央地質調查所(以下簡稱：地調所)於民國 93 年至 100 年間執行「大台北地區特殊地質災害調查與監測計畫」，針對鄰近大台北地區之大屯火山群，以空載光達(Airborne LiDAR)技術建構了高解析地面高程模型，並藉地表地質調查及地質鑽探，建立各分區之火山噴發層序等基本地質資料庫。

然而，先前的地質調查工作，以調查地表岩性分布狀況為主，對於地底深部之地質構造仍無法確實掌握。應用於深部地質構造探測之方法，包括：地質鑽探、地電探測、震波探測、重力探測、及磁力探測等；除地質鑽探之外，多屬於地球物理學門之範疇。地質鑽探雖可得到完整且詳盡的地下地質資料，但僅能代表鑽探點的地質狀況，不易藉以完整勾繪區域性構造特性。而地表地球物理探測等方法，在人口密集區作業時，易受人造建物干擾影響資料品質；山區作業時，則易受地形、地物等限制，造成測點分布不均勻，影響解釋的可靠性。

由於火成岩中鐵、鎂等金屬礦物含量較高，故具有強烈的磁性反應，有助於應用磁力法(magnetic method)探測火成岩體的分布。空中磁力測勘(airborne magnetic survey)是一項已經發展相當成熟的技術，因施測較不受地形、地物的限制，故能獲得均勻的測點分布，提高資料解析的可靠性，在國外已經廣泛應用在區域地質調查、探礦及火山監測(Ueda, 2007; Okuma et al., 2009)等領域。國內台電公司曾委託財團法人工業技術研究院(以下簡稱：工研院)，在離島、台灣南部及台灣東部等部分地區進行空中磁力探測，並獲得成功經驗。

空中甚低頻電磁(very low frequency electromagnetics；簡稱 VLF-EM 或 VLF)與空中磁力測勘都具有量測設備安裝快速，適用於多種飛行載具等優點。VLF-EM 測勘可反映地層的電性特徵，與磁力法相輔相成，故 VLF-EM 常與空中磁力測勘同時施測，有助於分析主要破碎帶的分布，提高地質構造解釋的可靠性。

由於大屯火山群及龜山島等北部火山地區，目前仍有溫泉及火山噴氣等後火

山活動現象，從火山氣體、溫泉及火山物質定年結果，顯示北部之火山目前仍符合國際火山學界所認定的活火山定義，故此區域火山的活動性仍需持續監測與瞭解。但是，由於北部火山地區位於山區及海域，一般調查方法成本高且不易獲得全面性的瞭解，故本計畫採用空中磁力及甚低頻電磁法進行探測，其能掌握區域性火山分布及地質構造情形，配合地調所其它火山監測成果，提供相關單位作為災害防救計畫的基礎，進一步保障大台北地區 600 萬居民的生命財產安全。

本計畫預定以 2 年為期，完成台灣北部蘭陽平原地區陸、海域空中磁力與甚低頻電磁探測。第一年計畫主要任務為建立我國自主的空中磁力與甚低頻電磁探測技術能力，主要工作為設備購置、人員訓練與測試飛行。第二年計畫主要任務為完成臺灣北部蘭陽平原及其鄰近陸海域地區之空中磁力與甚低頻電磁探測，並解析潛在火山分布與地質構造。

## 1.2 計畫目的

- (1) 建立我國自主的空中磁力與甚低頻電磁探測技術。
- (2) 瞭解台灣北部探測區域內地表與潛伏火山岩體分布範圍，分析居里深度及潛在地下熱液分布狀況，做為火山活動監測之基線資料。
- (3) 釐定台灣北部探測區域內陸海域地下地質架構，提供地調所及相關單位進行科學研究、礦產資源評估與地熱開發等工作之基礎資訊。

## 1.3 計畫工作內容概述

本計畫分年執行區域範圍如圖 1-1 所示，第一年測試範圍面積約 364 平方公里，第二年施測範圍面積約 3,278 平方公里。本年度計畫工作項目及內容說明如下：

- (1) 空中磁力與甚低頻電磁探測設備購置

購置空中地球物理探測所需之基本設備，包括：三軸拖鳥(包括：載具、

磁力儀及甚低頻電磁儀)及移動式地面磁力基站,同時需進行設備組裝測試及飛行載具之加改裝等工作。

(2) 分區進行空中磁力與甚低頻電磁探測

第一年完成設備組裝後,於龜山島至蘭陽平原之部分陸地與海域進行試測。第二年將探測範圍擴大為蘭陽平原全區以及蘭陽平原南、北兩側之山區及部分海域(圖 1-1)。考量空中磁力探測時水深對資料的影響,海域之探測範圍將以水深小於 500 公尺以內區域為原則。

(3) 資料分析與解釋

於完成空中地球物理探測作業後,進行資料分析與解釋,除本計畫之探測成果外,將對照探測區域內已有的地面地球物理及地質等相關資料進行綜合解釋。

(4) 教育訓練與技術轉移

教育訓練目標為使本案執行人員及地調所相關人員等,瞭解本計畫所使用之各項軟、硬體設備功能以及基本操作,課程將包含下列 3 項:

- (A) 近年來空中物探技術之發展與應用。
- (B) 空中磁力與甚低頻探測之原理。
- (C) 本計畫之探測項目與執行方式。

## 1.4 計畫工作流程

工作流程參見圖 1-2。

## 1.5 合約完成數量

如表 1-1 所示。

表 1-1：計畫合約完成數量對照表

編號	交付項目	數量	型態	實際完成數量及狀況
1	三軸拖鳥 (包含磁力感測器、甚低頻訊號接收器及相關配件、資料接收用電腦和資料記錄軟體)	一式	儀器	完成三軸拖鳥購置。
2	地面磁力基站 (包含磁力感測器、連桿、電池、充電器以及儀器箱)	一組	儀器	完成地面磁力基站購置。
3	儀器操作手冊	2 份	紙本	提交原廠儀器操作手冊 2 份。包括三軸拖鳥組裝及資料收集系統操作手冊 1 份，及磁力基站操作手冊 1 份。
4	儀器操作手冊電子檔	1 份	光碟	提交光碟 1 片，內含儀器操作手冊、成果報告書及探測成果原始檔。
5	成果報告書	20 份	紙本	完成成果報告書一式 20 份。
6	成果報告書電子檔	5 份	光碟	提交光碟 5 片，完成成果報告書電子檔一式 5 份。
7	各項探測成果原始檔	1 式	光碟或其他儲存媒體	提交光碟 1 片，內含儀器操作手冊、成果報告書及探測成果原始檔。
8	教育訓練	1 式	授課	於 2012/6/26 及 2012/11/2 完成 2 場次教育訓練。

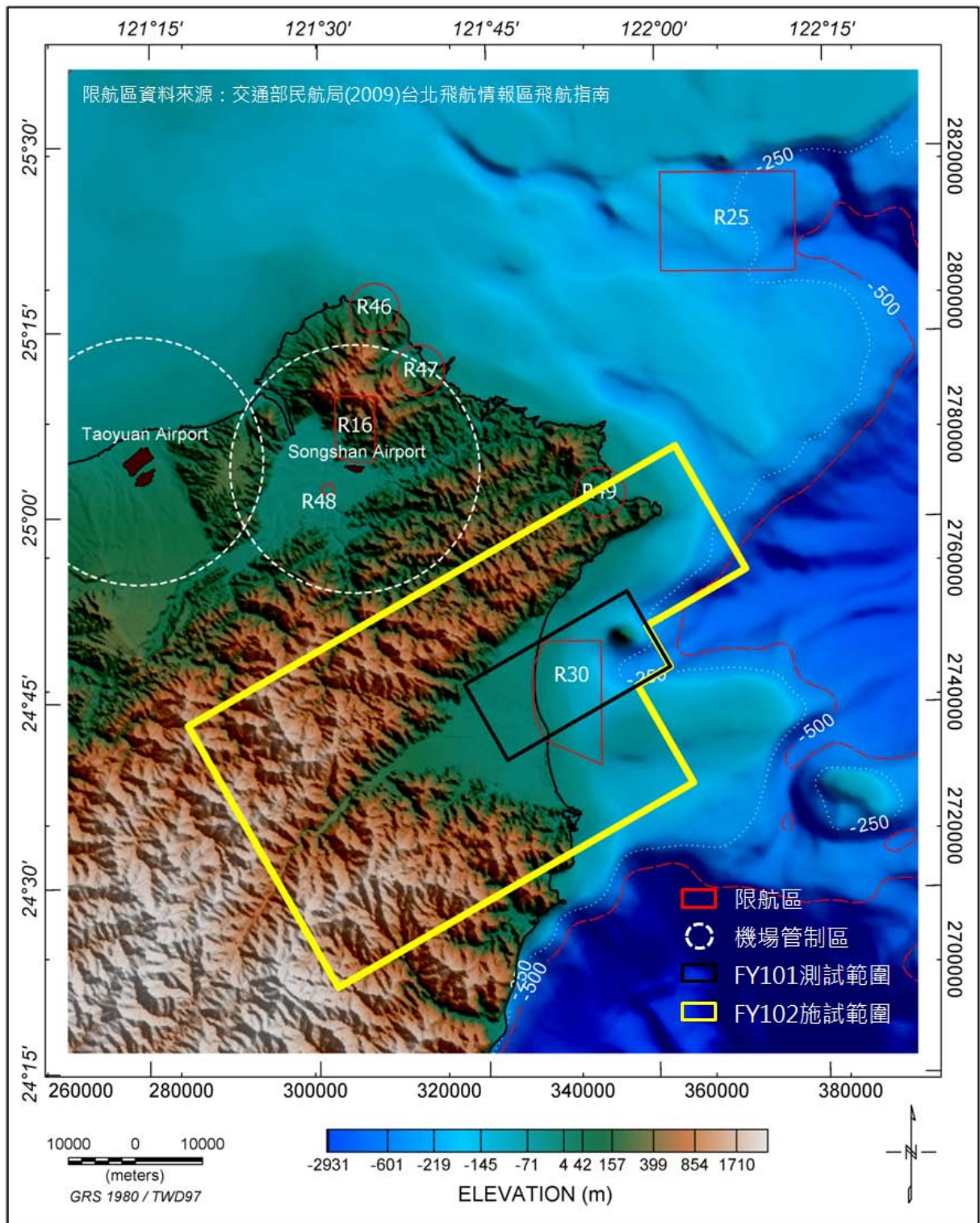


圖 1-1：分年調查範圍及鄰近限航區與管制區分布圖

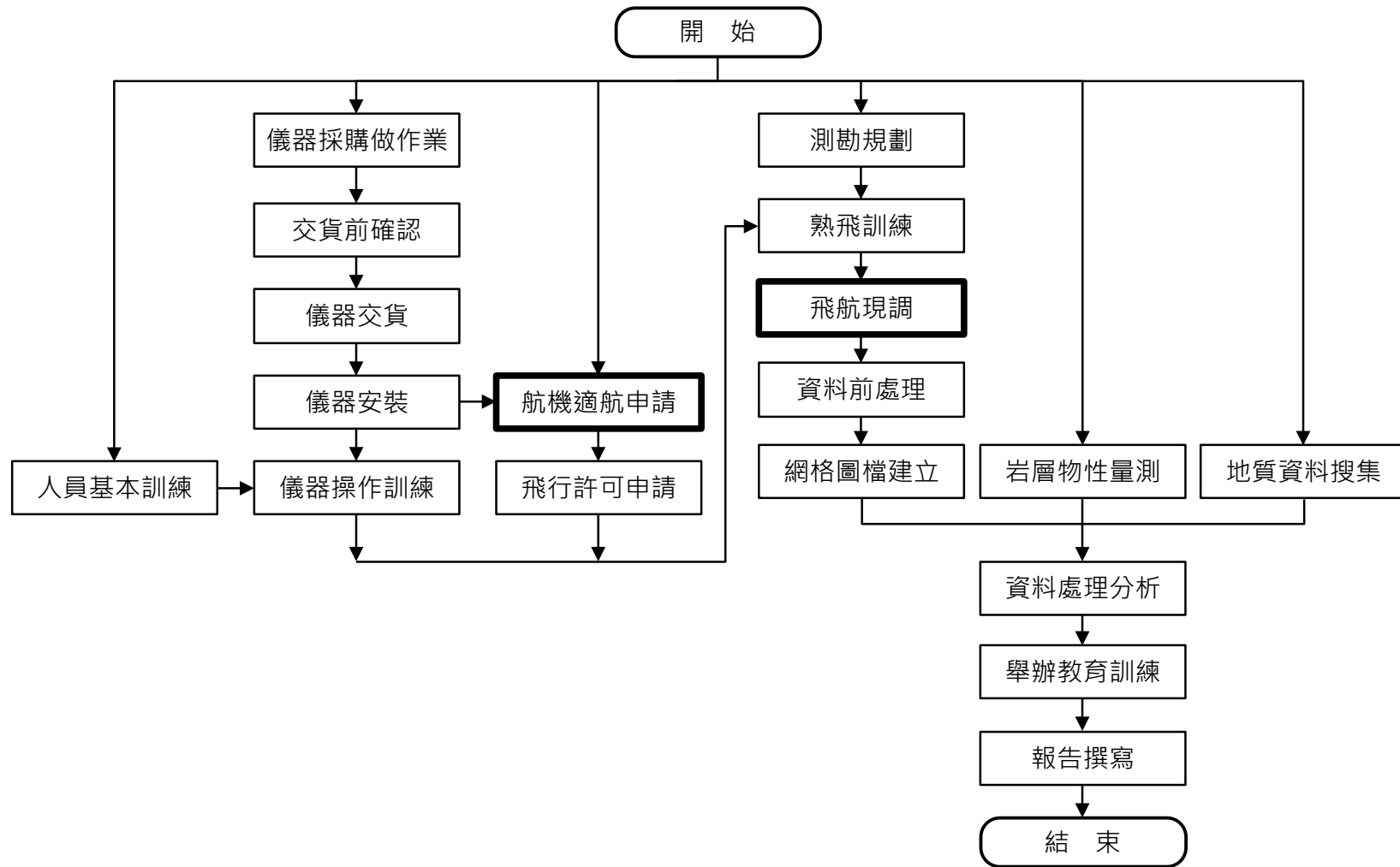


圖 1-2：工作流程圖

(航機適航申請流程請參見圖 4-14；飛航現調流程請參見圖 4-19)



## 2 研究區域概述

### 2.1 地體構造

在台灣의 東北部，菲律賓海板塊以每年大約 7 至 8 公分的速度，向西北方向移動並隱沒至歐亞大陸板塊下方(圖 2-1)，形成了琉球隱沒帶(Ryukyu subduction zone)、琉球島弧及沖繩海槽弧後盆地。

台灣東北部與琉球島弧關係密切，琉球隱沒帶下方的班尼奧夫帶(Wadati-Benioff Zone)延續到台灣北部(Kao et al., 1998；鄧屬予，2007；Wu et al., 2009)。就位置而言，龜山島座落於於班尼奧夫帶上方約 100 公里處，典型島弧火山的中部琉球島弧位於 80–100 公里位置處，而現今台灣北部火山活動帶位於隱沒的菲律賓海板塊上約 170–270 公里(Kao et al., 1998)。Wu et al. (2009)提出菲律賓海板塊隱沒的深度可能更淺，在蘇澳下方約 60 公里處(圖 2-2)。參考此一研究結果可推估蘭陽平原與龜山島下方菲律賓海板塊隱沒的深度，約相當於 Kao et al. (1998)所提中部琉球群島下隱沒板塊的深度。

蘭陽平原位於臺灣東北部，脊樑山脈及雪山山脈分立南北，康竹君等人(2008)綜合此區基盤架構、沖積層分布及陸海域地形等資料，認為蘭陽平原的盆地起始偏北半部，逐漸向南北及西擴展，其東北走向的發育中心，似乎連至沖繩海槽張裂中心軸，與前人解釋(蔡義本，1976; Yeh et al., 1989; Sibuet et al., 1998; 陳文山等，2004)有關蘭陽平原與沖繩海槽的關聯性一致。根據 Chung et al. (2000)的研究，最南端沖繩海槽的火山岩，岩性從中鉀的安山岩至流紋岩，其地球化學特徵與中部琉球島弧之弧後張裂前的火山岩相近，而與中部沖繩海槽及弧後張裂後的火山特徵不同，推論沖繩海槽最南部分不是單純的弧後盆地。因此座落其中的龜山島，可能是大陸地殼在拉張初期，發生島弧火山噴發作用時所造成(朱秋紅，2005)。

台灣的造山運動導因於呂宋島弧和歐亞大陸板塊的碰撞，如今這碰撞作用還在進行中，台灣南部造山帶隨呂宋島弧的擠壓而隆升，相較之下由另一個琉球島

弧系統(中壢-花蓮連線以東為界)所影響的台灣北部造山帶，根據地質與地震特性顯示，反而處於伸張的應力狀態，長期以來使造山帶的東北部垮塌下沉。蘭陽平原位於中央山脈中線北端，基盤原本為高山，受到拉張作用而開裂下沉，現被第四紀堆積的沉積層所覆蓋(Teng, 1996；陳文山等，2004；鄧屬予，2007)。

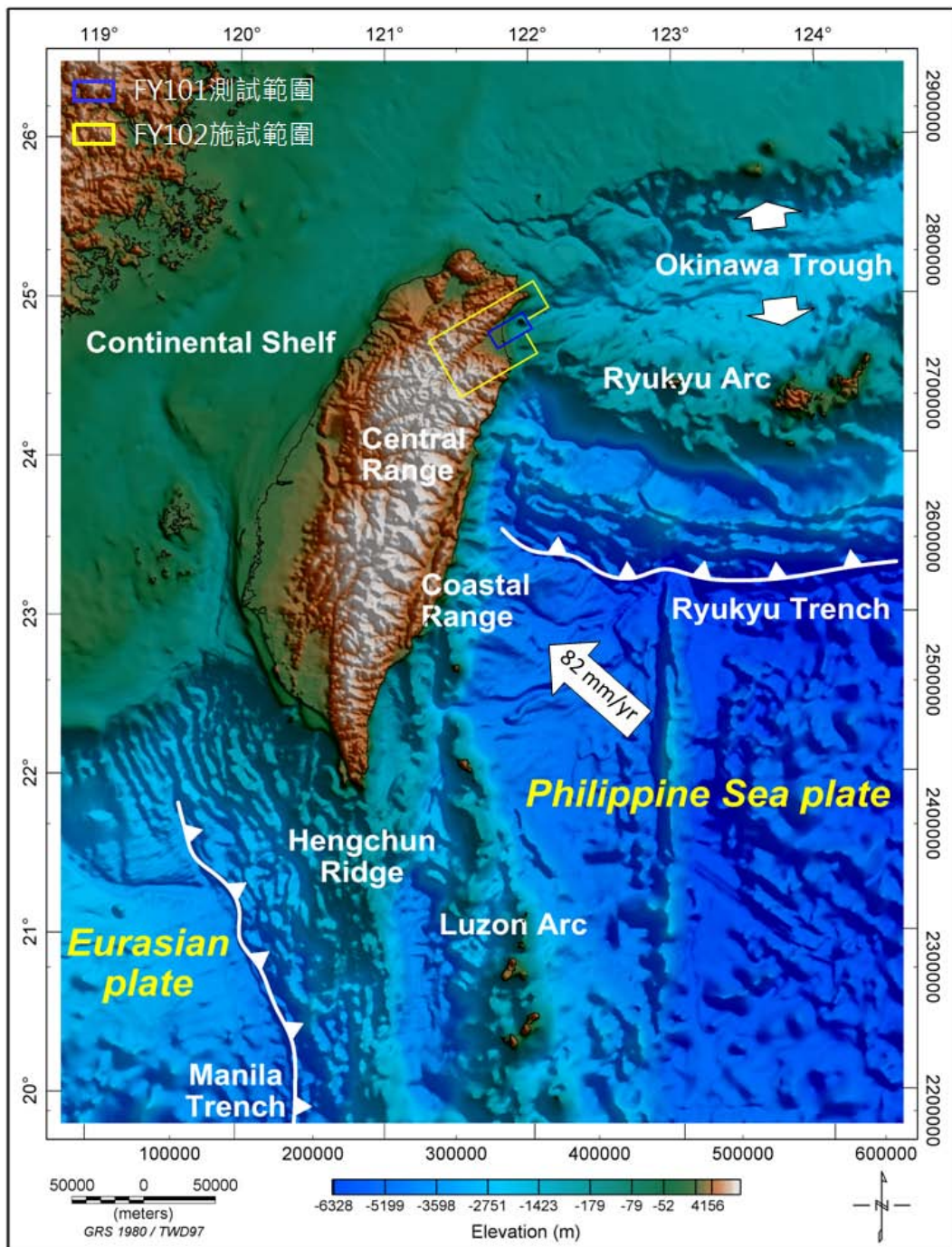


圖 2-1：台灣東北部蘭陽平原鄰近地區之地體構造圖

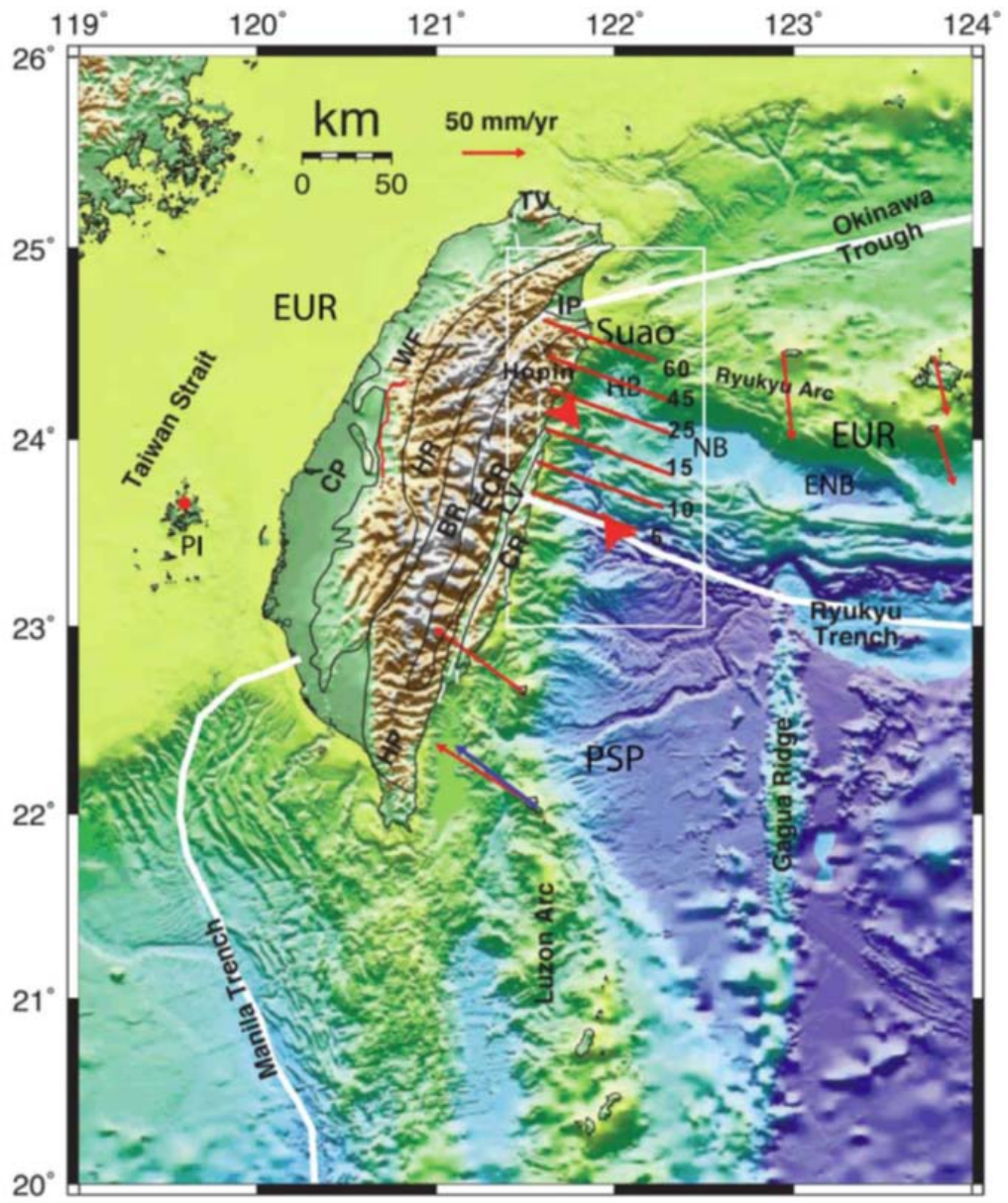


圖 2-2：台灣鄰近地區地形及菲律賓海板塊邊界分布圖  
 資料來源：Wu et al. (2009)；說明：紅色標示班尼奧夫帶地震分布深度。



## 2.2 區域地質

蘭陽平原位於臺灣東北部，為雪山山脈與脊樑山脈共夾向東開口之三角形沖積盆地，總面積約 320 平方公里，海拔高度均在 100 公尺以下，由西向東地勢逐漸降低。三角形等邊長約 30 公里，北起頭城，南至蘇澳，西邊以蘭陽溪沖積扇頂之三星為頂點。三星至頭城一線為雪山山脈北段的東南緣，三星到蘇澳南側則為中央山脈的最北端，許多溪谷切穿山麓線向平原匯流。在地理位置上，南沖繩海槽緊鄰在蘭陽平原東側，且由平原向東至南沖繩海槽存在具有連貫性地形特徵，故許多前人研究認為蘭陽平原的地形演育應與沖繩海槽一致或有直接的關聯(蔡義本，1976；Yu and Tsai, 1979; Liu, 1995; Sibuet et al., 1998)。

圖 2-3 所示為宜蘭地區鄰近地質圖(中央地調所，2000)，顯示蘭陽平原西北方為雪山山脈，地層大致呈東北-西南走向，以梨山斷層(蘭陽平原頂端處名為牛鬥斷層，平原區名為濁水斷層)與平原南側的中央山脈分隔(何春蓀，1975；吳永助，1976；詹新甫，1976；曾長生，1978)。平原北側之雪山山脈地層由老至新分別為始新世的西村層與四稜砂岩，以及漸新世的乾溝層、粗窟層及大桶山層；南側脊樑山脈之出露地層，主要為中新世的廬山層與蘇澳層、漸新世的南蘇澳層與中生代的大南澳片岩。各主要出露地層描述如下：

- (1) 雪山山脈帶之地層由老至新，依序為中嶺層、西村層、四稜砂岩、乾溝層、大桶山層、澳底層。中嶺層為始新世之黑色硬頁岩或粉砂質板岩，上覆地層為西村層；西村層為始新世之粉砂岩質硬頁岩與細粒變質砂岩互層、厚層硬頁岩或板岩偶夾薄層變質砂岩；四稜砂岩為始新世至漸新世之礫質變質砂岩；乾溝層為漸新世晚期至中新世早期之硬頁岩或板岩，偶夾薄層之細砂岩；大桶山層為漸新世晚期之黑灰色硬頁岩；澳底層為漸新世晚期至中新世初期之深灰色頁岩與灰色細粒砂岩薄層互層(劉桓吉，1989)。
- (2) 脊樑山脈帶之地層由老至新，依序為東澳片岩、南蘇澳層與廬山層。東澳片岩之年代為古生代晚期至中生代早期，此層下部以石墨片岩或雲母石英片岩為主，中部為變質燧石層偶夾透鏡狀綠泥石片岩，上部以石墨片岩為主，含

薄層綠泥石片岩；南蘇澳層為始新世至漸新世之白色片狀粗粒長石砂岩與板岩；廬山層為中新世之灰黑色厚層板岩或灰色硬頁岩(林啟文、林偉雄, 1995)。

蘭陽平原內部主要為由黏土、粉砂、砂、和礫石組成之第四紀沖積層，厚度約在 100 至 400 公尺之間，以平原中心及海域附近最厚，向沿海附近遞減(江新春, 1976)。過去有關蘭陽平原地下地質構造之探討主要靠地震研究(Liaw and Yeh, 1983; Kao et al., 1998)、地球物理探測(江新春, 1976; Yu and Tsai, 1979; 楊潔豪等, 1992)及大地測量(康竹君, 2007; Angelier et al., 2008; Chan et al., 2008; Hou et al., 2009)等方式進行探討。近年地調所陸續在蘭陽平原進行地質鑽井，提供進一步瞭解蘭陽平原沉積構造與基盤起伏等訊息，顯示沉積物厚度由西向東增厚，沉積物顆粒大小則由西向東漸減(蘇清全, 2011)。早期更新世地層沈積於蘭陽平原北部，近期全新世地層則以蘭陽溪較厚，向南北變薄。依據鑽井資料(蘇清全, 2011)及反射震測(石瑞銓, 2011; 張峻瑋, 2010)等結果相互印證，顯示蘭陽平原基盤深度於南邊冬山井深約 463 公尺，向北逐漸變深，至蘭陽溪南岸基盤深度約達 650 公尺，但蘭陽溪北岸基盤深度急劇加深至 800 公尺(石瑞銓, 2011)，顯示蘭陽溪附近存在一深層構造。根據地表高精度水準測量(康竹君等, 2008)，以及震測資料解析(張峻瑋, 2010)，顯示蘭陽溪南方為濁水斷層出露處，羅東以東至臨海地區，濁水斷層為偏東南東走向的正斷層。

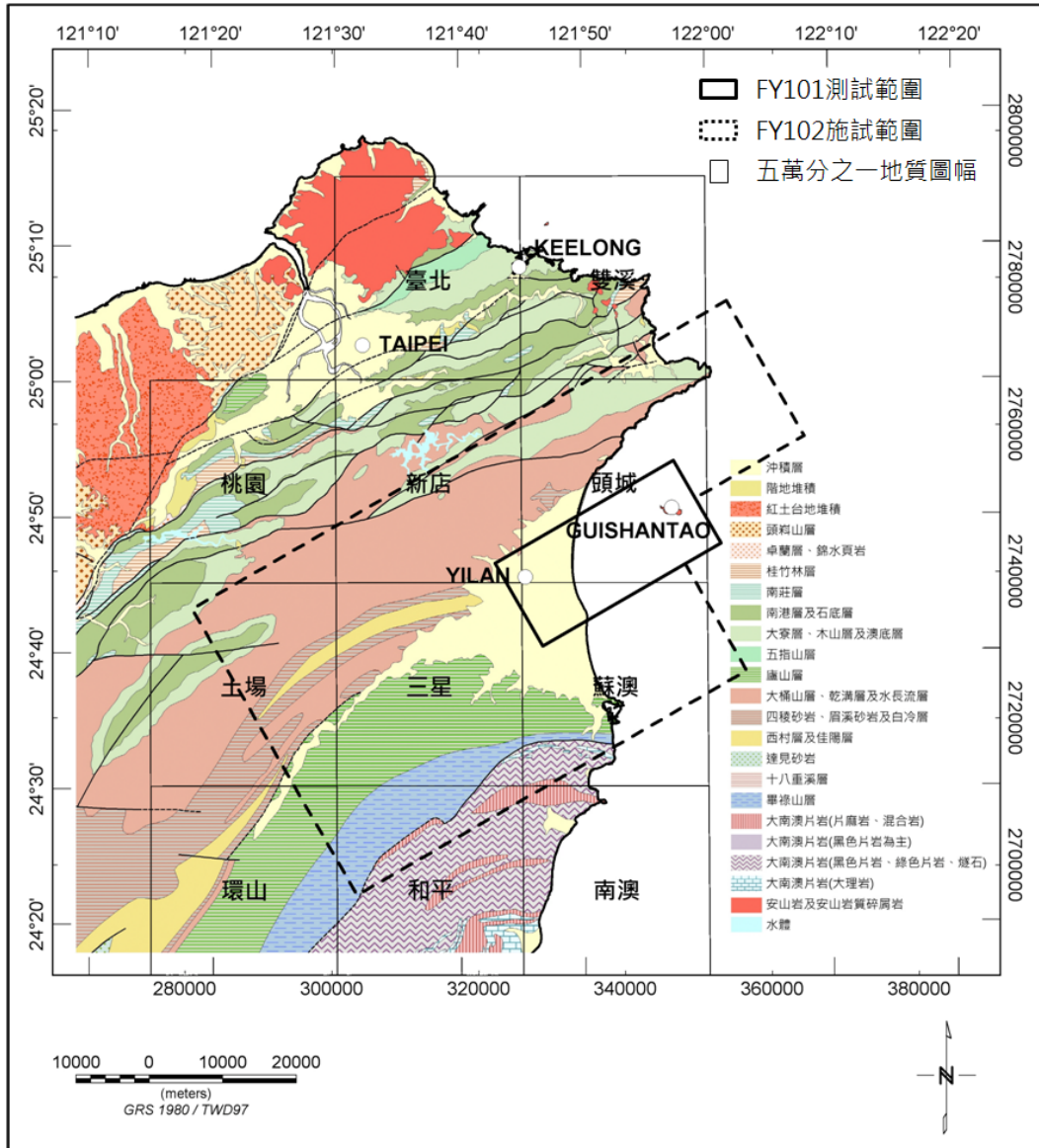


圖 2-3：蘭陽平原鄰近地區地質圖

(取自中央地調所 50 萬分之 1 地質圖；圖上標示圖框及圖名為地調所 5 萬分之 1 地質圖幅)

## 2.3 歷年相關研究成果

### 2.3.1 斷層構造

過去曾有多位作者提出宜蘭平原下方及鄰近地區的斷層構造分布，整理如圖 2-4 所示，分述如下：

- (1) 江新春(1976)根據反射震測資料判識，提出在蘭陽平原之下有六條主要斷層，由北而南分別為鶻子、隘界、宜蘭、坑四、濁水以及三星等六條斷層。

- (2) 蔡義本(1976)根據微震分布及震源機制解亦提出一東北走向的右移活斷層且傾角接近 90 度。
- (3) Yu and Tsai (1979)在磁力異常的研究中，提出可與東西向線性破碎帶相對應之磁力異常區域，其位置概略與坑四斷層相近。
- (4) 李錫堤等(1993)透過航空照片判識，提出蘭陽平原之存疑性斷層，包括：礁溪斷層、牛鬥斷層以及宜蘭斷層等。
- (5) Shyu et al. (2005)藉由 40 公尺數值高程模型(DTM)的構造地形分析，認為位於蘭陽平原西北及西南緣的山脈交界處為正斷層，同時認為梨山斷層可延伸至蘭陽平原與雪山山脈的交界。

比較圖 2-4 中各研究所提出的斷層位置，大部分學者將梨山斷層東北直線延伸至蘭陽平原西北緣之雪山山脈交界處，但江新春(1976)則認為其位置偏南，為圖 2-4 中之濁水斷層。

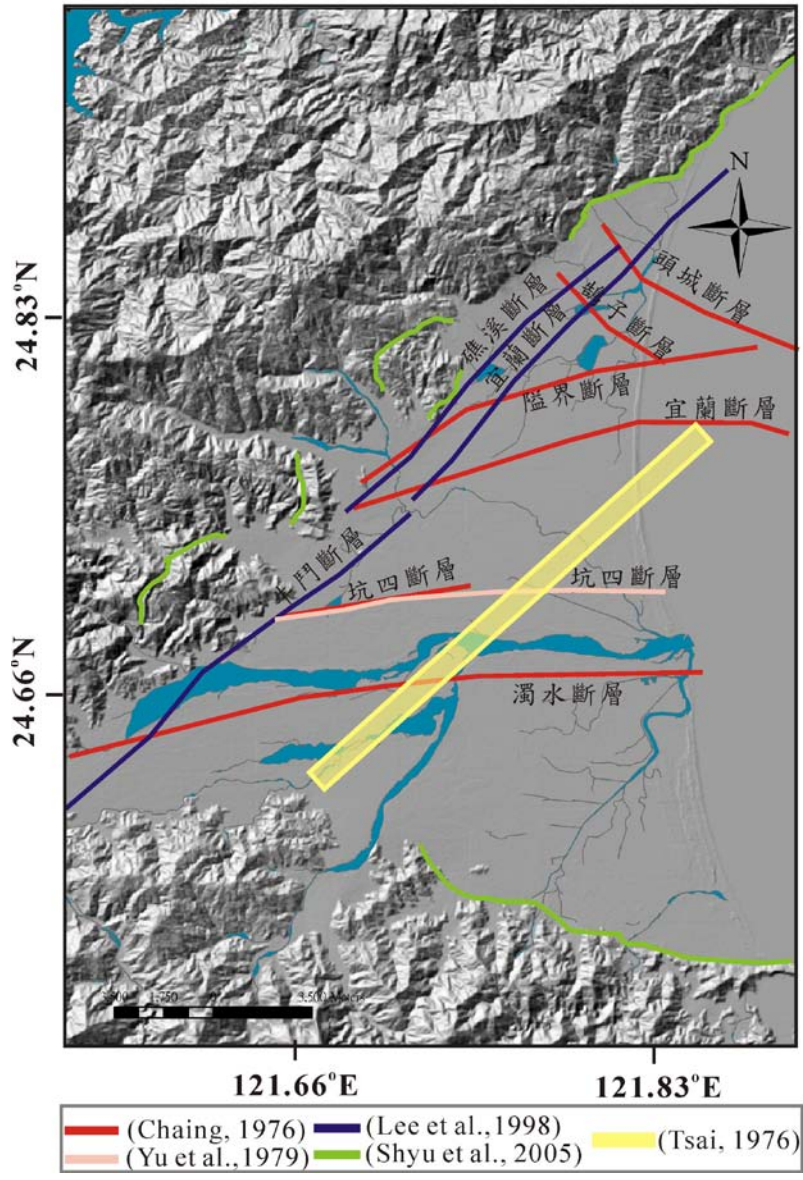


圖 2-4：蘭陽平原過去不同研究所提出之斷層分布圖



### 2.3.2 水準測量資料

地表水準測量研究為觀察目標區域經過一段時間後之地表位移情形，藉以了解地表的變形方向和速度。Yu and Lee (1986)根據水準測量估算水平應變率，指出蘭陽平原之伸張變形為西北—東南向，乃因受到沖繩海槽弧後伸張作用影響。

Liu (1995)於1985至1994年在蘭陽平原進行水準測量，結果顯示在宜蘭與羅東之間每年有2公分的下陷量 (圖2-5)，而整個平原以每年0.44角速度向東快速傾斜。

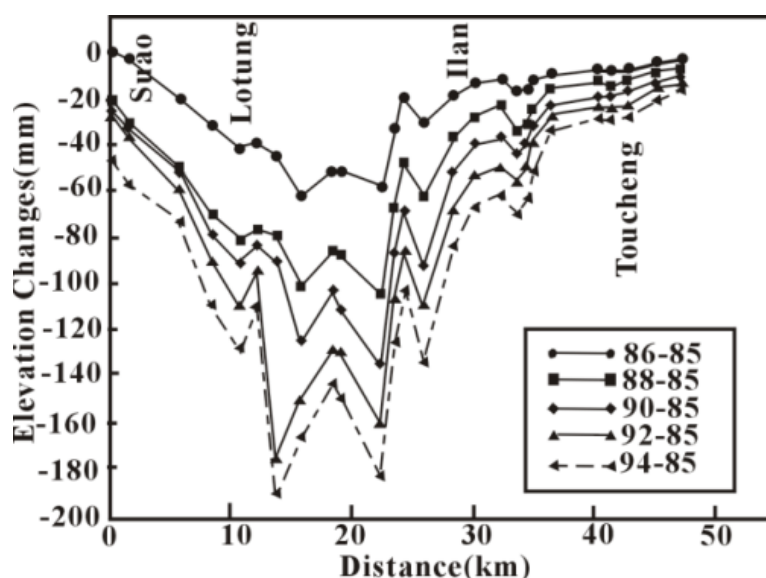


圖 2-5：由蘇澳至梗枋的南北向水準測量結果

(摘自 Liu, 1995)

### 2.3.3 GPS變形觀測

Yu et al. (1997)利用GPS資料觀測臺灣地區1990至1995年間之地表位移，結果指出若以澎湖觀測站為基準，蘭陽平原之移動方向為東南方，呈顯著之西北—東南向伸張變形；許雅儒(1999)亦利用1992、1994、1995、1998年宜蘭地區之GPS地表位移資料(圖2-6)，推測在宜蘭和羅東之間存在一走向為北偏東53度之構造線通過，垂直此構造線的速度分量由北向南、由西向東遞增，加上Liu (1995)大地測量的結果，推斷平原應該向南單一方向開裂，並形成一系列之正斷層，旋轉極的

中心可能位於蘭陽平原西方，擴張的角速率約為 $0.8 \mu\text{rad}/\text{yr}$ ，呈順時針開張(許雅儒，1999)。

徐閔儀(2006)藉由1995至2005之台灣北部地區GPS觀測結果(圖2-7)進行速度場及應變場之分析與討論，結果亦顯示蘭陽平原呈現西北—東南方向的伸張型態，主應變量約介於 $-0.17 \mu\text{strain}/\text{yr}$ 至 $1.98 \mu\text{strain}/\text{yr}$ 間。此外，在蘭陽平原觀察到二條主要構造線。一條為牛鬥斷層，呈東北—西南走向，為一正斷層；另一條位於蘭陽河口，呈東北東走向，為具左移分量之正斷層，此推測之斷層位置與許雅儒(1999)推測的構造線一致。

圖 2-8 所示為依據 2002 至 2006 年間 GPS 觀測資料計算之水平位移速度場，顯示宜蘭地區水平位移量約介於  $0.6 \text{ mm}/\text{yr}$  至  $-44.0 \text{ mm}/\text{yr}$  間，方向介於 15 度—340 度間(邱詠恬等，2008)。蘭陽溪以北之地區，GPS 位移量值較小，約介於  $0.6-5.9 \text{ mm}/\text{yr}$ ，且方向較不一致，平均約介於 15–340 度間。蘭陽溪以南區域之位移量( $2.7-44.0 \text{ mm}/\text{yr}$ )大於平原北部的位移量，方向介於 39–148 度間，且位移量有向東邊快速遞增的現象，宜蘭平原南緣之蘇澳附近具有最大之位移量( $44.0 \text{ mm}/\text{yr}$ )，方向為 148 度。此外，沿著宜蘭平原南緣之速度場，由西往東呈現明顯之順時針旋轉特徵，位移方位角由西側的 39 度，向東逐漸變為 148 度(圖 2-8)。

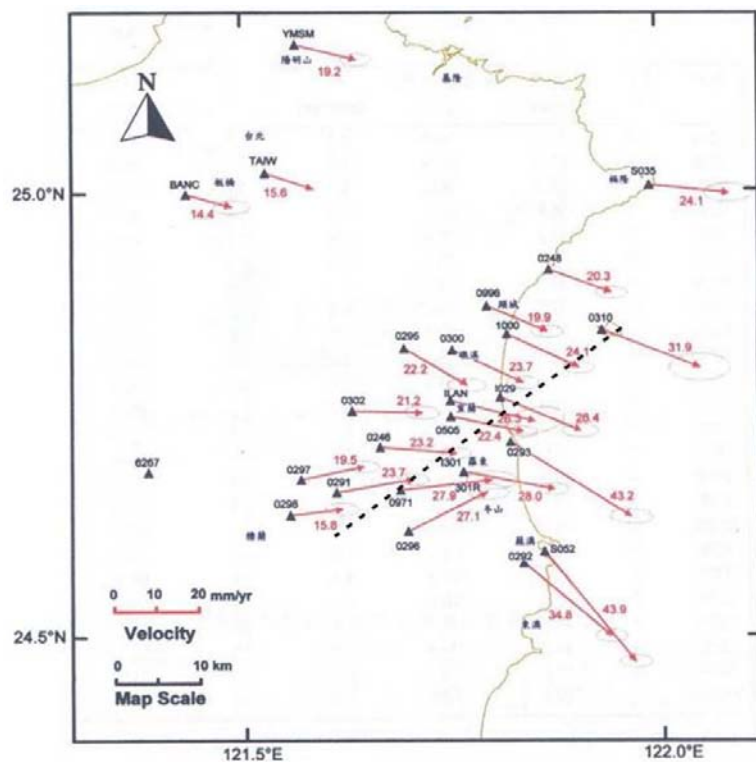


圖 2-6：由 1992 至 1996 年間 GPS 觀測獲得之水平位移速度場相對於穩定歐亞大陸內部的速度場及 95% 信賴區間之誤差橢圓，黑色虛線為北偏東 53 度之構造線；摘自許雅儒(1998)

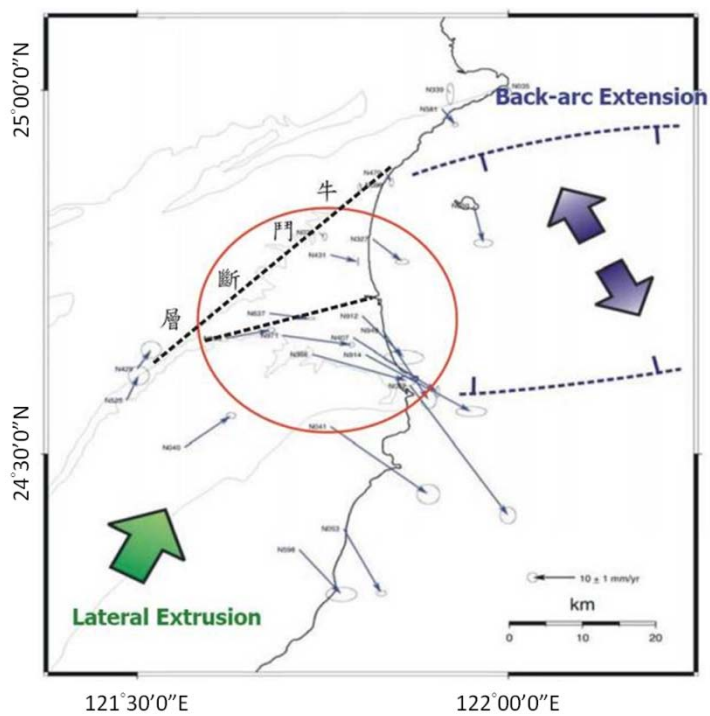


圖 2-7：由 1995 至 2005 年間 GPS 觀測獲得之水平位移速度場 (摘自徐閔儀, 2006)

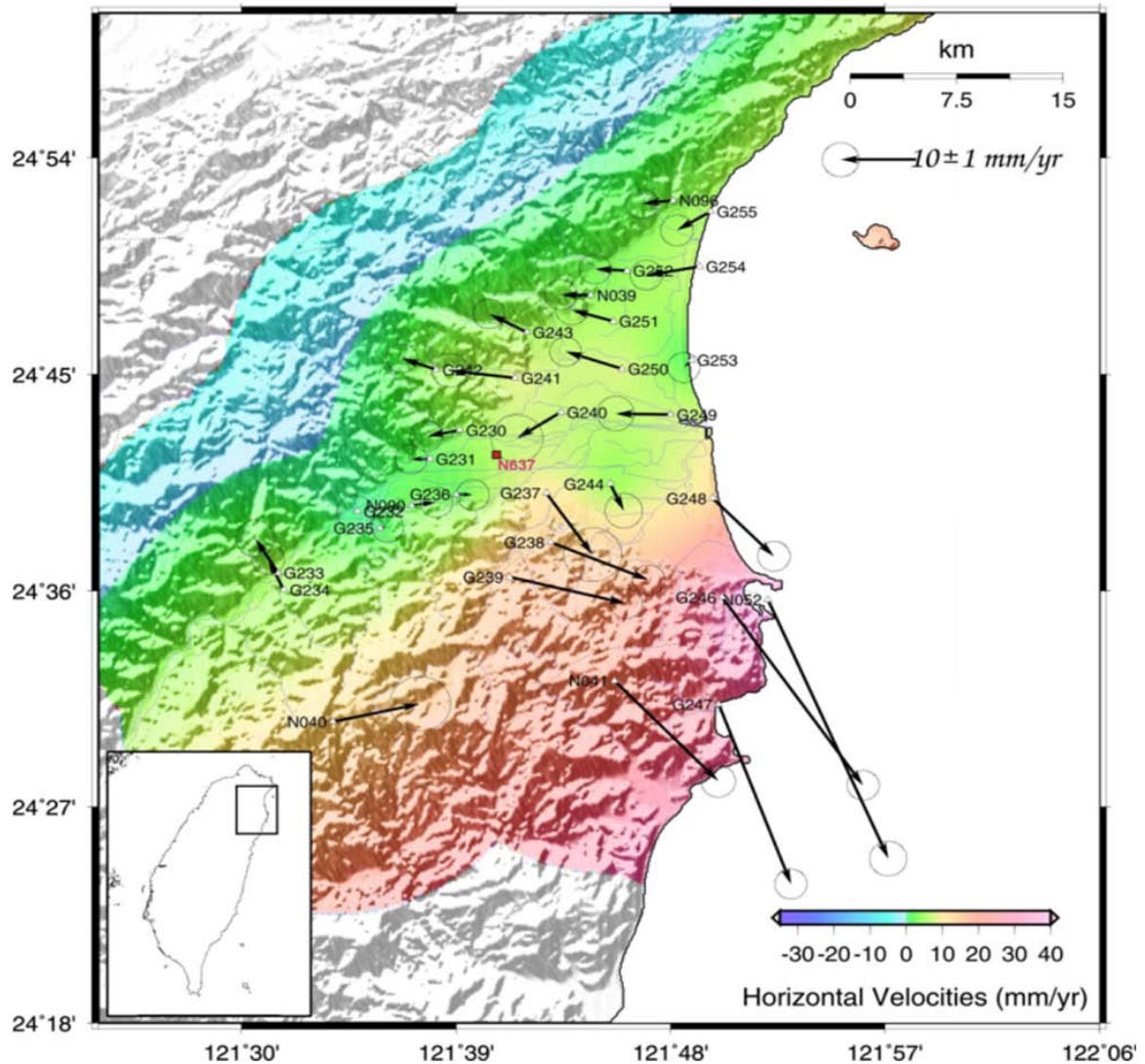


圖 2-8：由 2002 至 2006 年間 GPS 觀測獲得之水平位移速度場

(水平位移量係相對於澎湖白沙站；黑色向量為位移方向，底色表示位移量之大小，點位速度內插半徑為 10 km)

### 2.3.4 遙測資料

圖 2-9 為藉永久散射體雷達差分干涉法偵測平原地表變形與新構造活動的成果，分析時間從 2004 年到 2008 年間，期間共使用 23 幅 Envisat 衛星影像進行差分干涉研究(康竹君，2007)。結果顯示宜蘭與羅東之間有明顯的下陷情形，而在平原西北邊的雪山山脈與東南邊的脊樑山脈有輕微抬升的現象(圖 2-9)，地表變形



與大地構造之間的關係值得繼續探討。

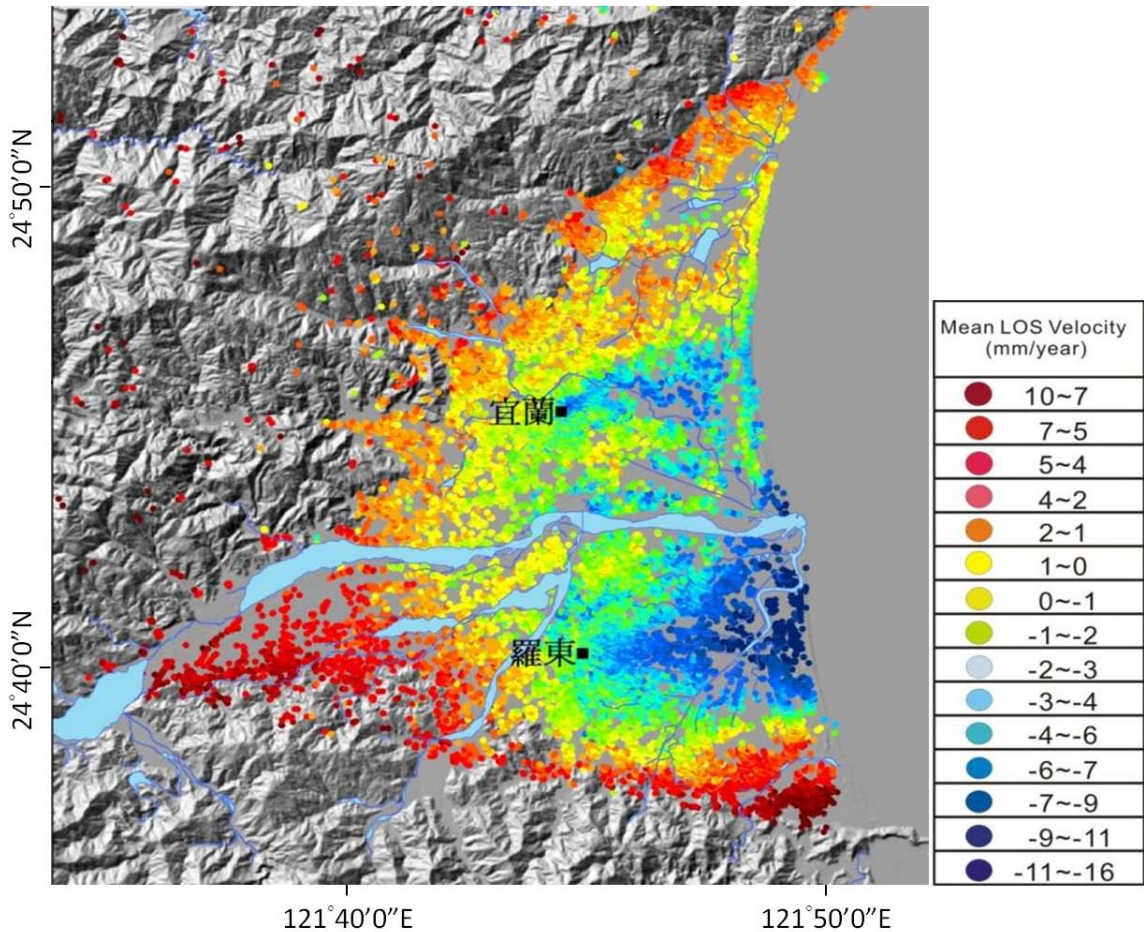


圖 2-9：以永久散射體雷達差分干涉法獲得之平均沉陷速度場

(圖中暖色系速度場指示相對抬升，冷色系則相對下降；最大下陷區域在蘭陽溪出海口以南，下陷量約每年 1.6 公分)

### 2.3.5 地震觀測

蘭陽平原東側之地體構造，大致上由南至北依序為菲律賓海板塊斜向碰撞點的邊緣、臺灣東北部琉球海溝之隱沒系統以及南沖繩海槽之張裂帶。這一系列的大地構造運動，反映在蘭陽平原及其周圍頻繁的地震活動上。根據震測資料指出，分布於龜山島附近東北向之地震密集帶，對應於其南北向的震源機制解，被解釋為該地區之地震乃受到南沖繩海槽張裂應力所致(蔡義本，1976)。然而，發生於

蘭陽平原的東南方之東西向地震密集帶，其震源機制解為帶有橫移破裂的走向滑移機制(Liang et al., 2005)，指出蘭陽平原的地震活動除了受到南沖繩海槽張裂應力所致，其周圍可能有其它地體構造活動提供不同的構造應力，影響宜蘭地區構造的發育。

### 2.3.6 地球物理探測

余水倍與蔡義本(Yu and Tsai, 1979)曾於 1978 年在蘭陽平原完成 425 個地面磁力探測，獲得蘭陽平原的全磁力圖(total magnetic intensity map)，顯示通過羅東市有一略呈東西方向的磁力異常高區，江協堂(2010)於 2004 完成蘭陽平原 520 個地面磁力探測，亦獲得一致的磁力異常圖分布。許樹坤等(Hsu et al., 1996)依據余水倍與蔡義本所發表的磁力異常圖(Yu and Tsai, 1979)，使用加強解析訊號(enhanced analytic signal)勾繪蘭陽平原沖積層下的地層分布(圖 2-10)；董倫道等(Tong et al., 2008)則以尤拉解迴旋(Euler convolution)法進行岩脈及斷層構造解釋，初步發現沿蘭陽溪方向有一東北東走向的斷層(圖 2-11)，斷層南側則為一顯著之磁力異常高區(圖 2-11、圖 2-12)，約略位於羅東市北方與蘭陽溪之間，但是該高磁性岩層是否對應火成岩體，仍有待進一步驗證。

工研院的前身礦業研究所，早年進行全國地熱探勘時，曾在蘭陽平原完成了 528 個地面重力測勘，圖 2-13 所示為剩餘重力異常圖(residual gravity anomaly map)，顯示蘭陽平原南側重力值高於蘭陽平原北側，推測係因基盤較淺所造成，而由其重力較具變化的特徵，則顯示蘭陽平原南部地區之地質構造可能相對較複雜。此推論與早年中油在蘭陽平原所進行的反射震測(江新春，1976)，及近年中正大學(石瑞銓，2011)、中央大學(王乾盈，2010)及健行科技大學(游峻一，2011)等學術單位，在蘭陽平原進行反射震測及大地電磁探測所獲得的基盤深度變化情形一致，顯示蘭陽平原北部基盤深度較南部基盤為深，而基盤深度變化劇烈處大約以蘭陽溪為界(張峻瑋，2010；石瑞銓，2011)。

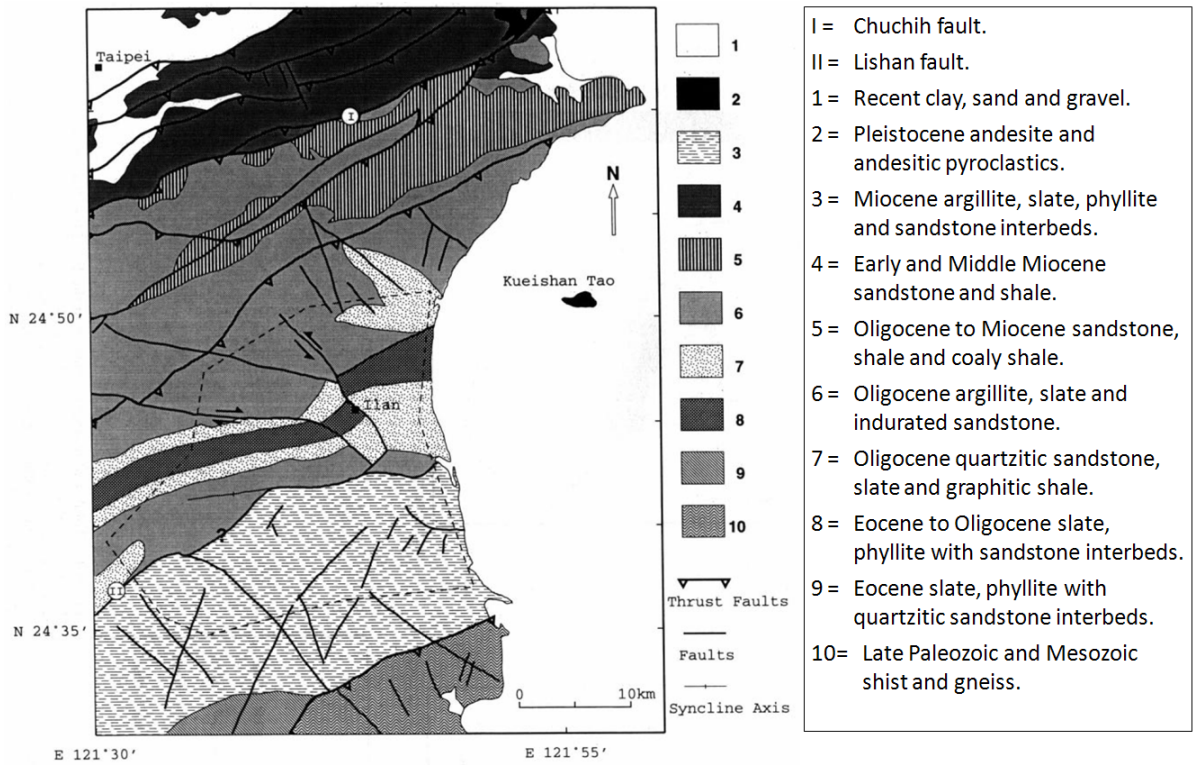


圖 2-10：依磁力解釋之蘭陽平原下伏基盤岩層與構造分布圖  
(摘自：Hsu et al., 1996)

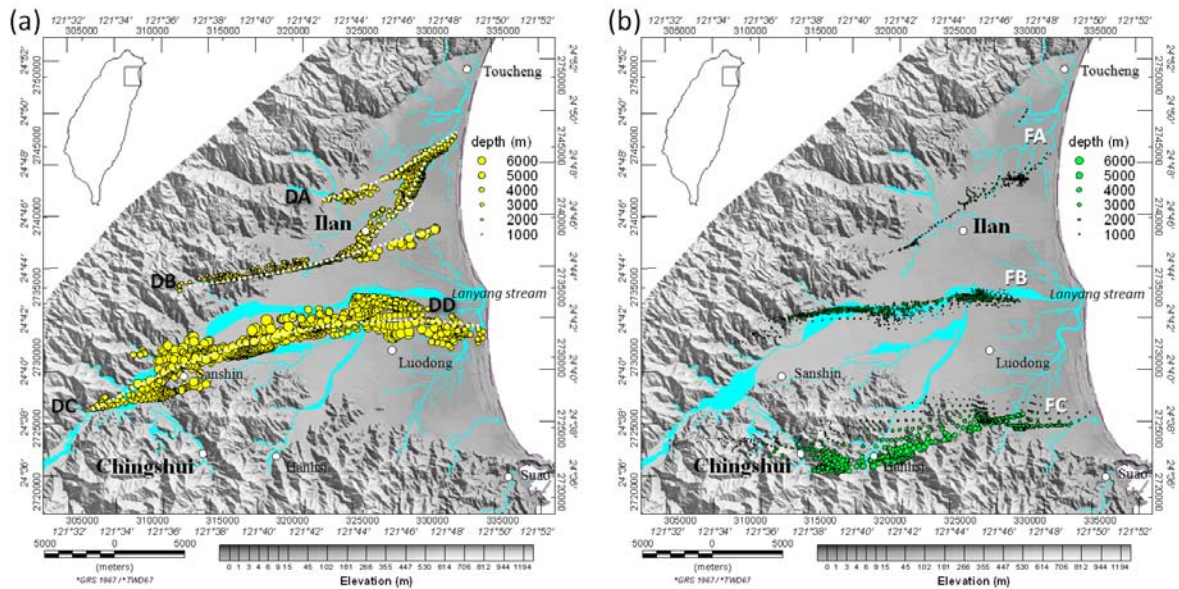


圖 2-11：蘭陽平原磁力經尤拉解迴旋處理之岩脈與斷層解分布圖  
(a)岩脈解分布；(b)斷層解分布。(摘自：Tong et al., 2008)



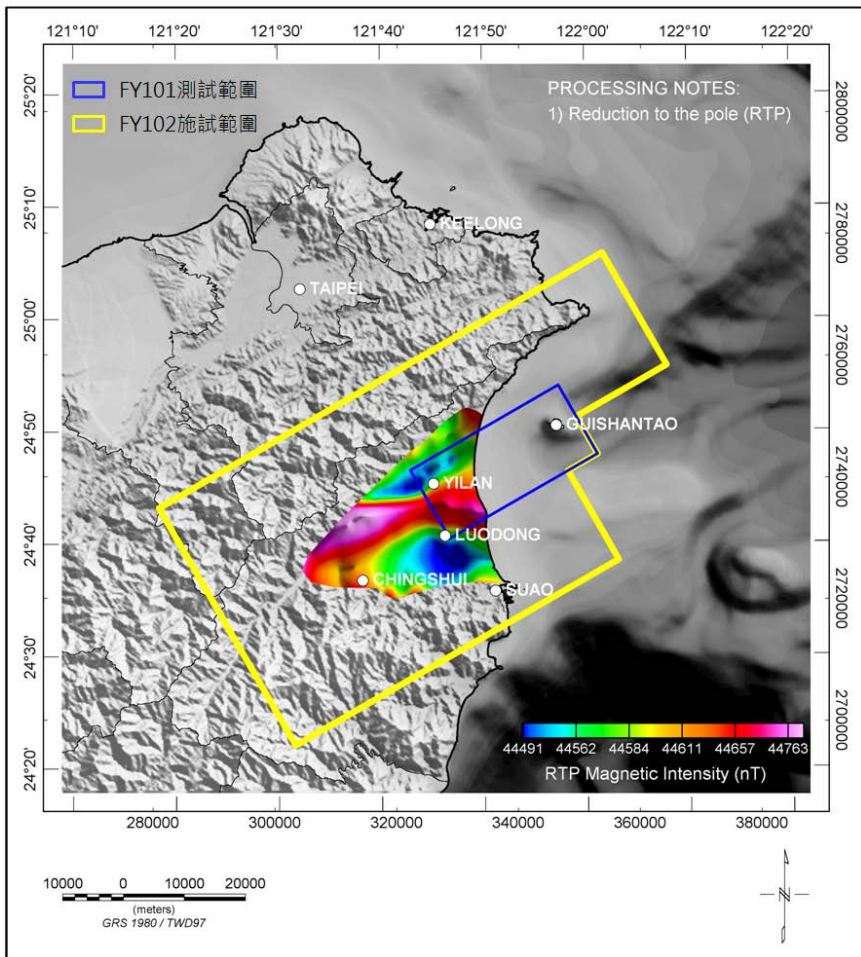


圖 2-12：蘭陽平原磁力異常圖  
(磁力資料取自：Tong et al., 2008)

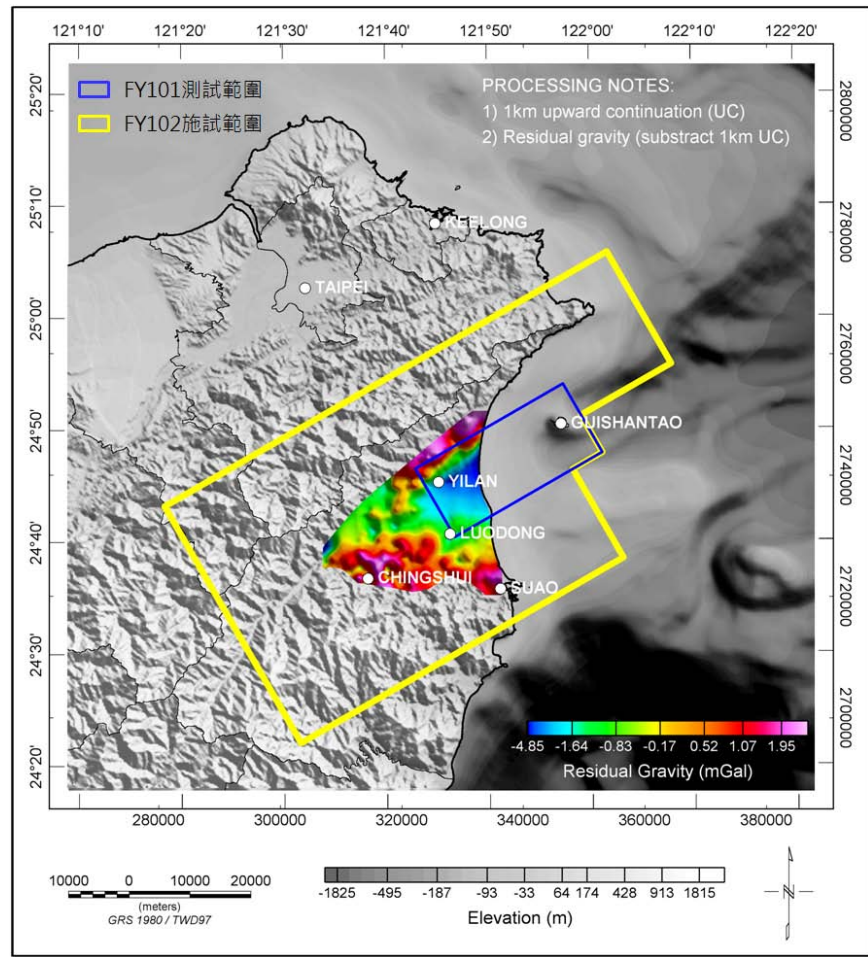


圖 2-13：蘭陽平原剩餘布蓋重力異常圖



## 3 研究方法與步驟

### 3.1 空中地球物理探測

空中地球物理探勘(airborne geophysical survey)始於 60 年代，係利用飛機來從事大區域之調查工作(圖 3-1)；自 1990 年後，由於量測儀器與飛行器科技的大幅進步(表 3-1)，使得空中地球物理探勘的效率更高，成本更低廉(表 3-2)，而所發揮的效果更大。現代化空中地球物理探勘的量測項目可以包括：磁力(magnetic)、放射頻譜(radiometric spectrum)、重力(gravity)、電磁(electromagnetics, EM)、地球化學(特別指甲烷)、遙測、數值地形等，可視探勘目的而加以組合。

在空中進行地球物理探測時，因施測時幾乎不受地形及地物影響，故能獲得非常大量且近乎均勻分布的測點，是地面探測無法比擬的。現今先進的空中地球物理探測技術，不僅能滿足區域地質調查需求(圖 3-2)(Grauch et al., 2001)，也是礦產資源探勘的利器(Keating, 1995; Pettit, 2009)，亦能以低空(30–60 公尺)及小間距(小於 100 公尺)方式，執行高解析度空中探測，達到場址精查的需求(Jaques et al., 1997)。

#### 3.1.1 磁力法

磁力探勘(magnetic survey)是已發展得相當完備的地球物理探勘技術之一，藉精密儀器量測不同位置地球的磁場強度(圖 3-3)；透過分析技術以獲得因地層磁力特性差異所造成的磁力異常，達到間接探測地質構造或地下埋藏物位置之目的。自然界中不同礦物通常具有不一樣的磁力特性，磁感率(magnetic susceptibility)是其中比較重要且易於量測的項目，當一可磁化(magnetizable)的礦物，受到外界磁力作用時，這礦物就受到某種程度的磁化，這種磁化作用，稱為感應磁性(induced magnetism)，其受磁化的程度稱為磁化強度或極化，而磁化強度與磁場強度成正比。若上述由感應而生之磁化強度為  $I$ ，而外界磁力之磁場強度為  $H$ ，則  $I=kH$ ，

其中  $k$  定義為磁感率，為一種物質可磁化程度之量度，是各種磁化物質之特徵常數。真空的磁感率定義為零，磁感率為正值之磁性體稱為順磁性(paramagnetic)，有些磁性體之磁感率為負值，稱為反磁性(diamagnetic)。

一般磁力探勘野外所量測的物理量為全磁場強度(total magnetic intensity; TMI)，也有因應特殊目的而量測磁場分量、磁偏角、或磁傾角。所量測資料通常並不需要經過繁複的資料處理，是一種非常簡便的量測技術，因施測簡便且測勘人力需求少，故常被使用於區域普查(Tong et al., 2008; Okuma et al., 2009)，用以探測大區域主要地質構造模式。在環境污染探測應用方面，由於磁力探測法一如精密且敏感的金屬探測器，操作簡便且不需繁雜的後續資料處理，因此可快速地探測出地下埋藏金屬物的分布。

### 3.1.2 甚低頻電磁法

VLF-EM 測勘是利用電磁感應原理來探測地下特定深度內的電性反應(圖 3-4)，但 VLF-EM 所使用的電磁訊號來源，是利用遠方無線電塔台(表 3-3)定期發射大功率且固定頻率的無線電波，其電磁頻段約介於 15–30 kHz 間。VLF 塔台主要使用在軍事及航海上，例如軍艦或潛艇與遠方指揮中心聯繫必須使用無線電波，若是在水面上或潛航深度小時就使用 VLF 頻段的無線電波。這個波段的無線電波在通訊上有足夠的解析度，不容易衰減，且穿透性佳。因此即使在今天衛星通訊無所不至的時代，基於 VLF 的重要軍事用途，各軍事強國仍維持既有的 VLF 塔台，並且數量持續在增加中。

由於 VLF 的低頻特性，可以傳播到遠地而不易衰減，所以這種“免費”的電磁能量就被地球物理學家發展成一種被動、無破壞性、非侵入性，且可在崎嶇地形上進行的對環境極端友善的無線電波探勘方法(Jeng et al., 2004)。

VLF-EM 早期(1960 年代)在探勘上主要是用來探礦脈，尤其切入地層類似岩牆(dike)的構造，特別適合於 VLF-EM 測勘，因為 VLF-EM 原先的構想就是用來探查地下的片狀異常體。當然，由 VLF 塔台所發射出來之電磁波包含多種模組的

電場和磁場，在地質探勘上多是利用量測次生磁場與原生磁場的比值或垂直與水平磁場的比值，找出地下的異常體。量度磁場雖然有其方便性，不必與地面接觸，但儀器無法區分量到的是何種磁場，即原生、次生、總量或分量，甚至也無法分別信號或雜波。因此地球物理學家想出了一個巧妙的方法來趨近所要量取的磁場值，就是所謂的極化橢圓場(polarized elliptical field; Grant and West, 1965; Jeng et al., 2004; Jeng et al., 2007)。若次生磁場( $S$ )相對原生磁場( $H$ )很小時，極化橢圓場的傾角 $\theta$  (tilt angle 或 inclination)和離心率 $\varepsilon$  (eccentricity)就可分別用來趨近次生磁場與原生磁場的同相位分量(inphase component)及次生磁場與原生磁場的正交相位分量 (quadrature component)。這裡所謂的“次生磁場”實際上是指次生磁場垂直地面的分量與原生磁場的比值。

上述所描述的 VLF-EM 法一般又稱為 VLF-Z 法，基於單頻的特質故垂直深度的解析能力較不足，但是對於側向電性構造則具有不錯的分辨能力，因此 VLF-EM 應用在 2-D 平面構造解釋方面相當成功，但若要延伸到深度的解釋則必須要有次生的水平電場分量( $E$ )的數據輔助(即 VLF-R 法)才較可行。但若不苛求精準度的話，VLF-Z 也可由野外數據的特質，例如依據同向分量(inphase component)和異性分量(quadrature component)的極大值、極小值、過零點的位置，和信號強度來判斷異常體可能的位置、深度及導電性的大小，但基本上都屬定性的推測，而非量化的確定數值解釋。即使有此缺憾，VLF-EM 自上世紀六〇年代以來，一直是探礦的主要方法之一，尤其在尋找煤層和硫磺礦上更是西方國家常用的一種無線電波探勘方法。

隨著儀器硬體、電腦設備、及資料處理技術的快速發展，與 VLF-EM 相類似但屬非無線電波頻域的電磁法(electromagnetic methods)或大地電磁法(magnetotelluric methods)在七〇年代已能做量化解釋，但當時 VLF-EM 仍有困難，主要原因在於它所收到的是單頻信號，因此在做反演的資料處理時結果會不穩定，造成結果不唯一。此外，VLF-EM 的深度響應較弱，也肇因於單一頻率的缺憾(Beamish, 1994)。八〇年代後期，Constable et al. (1987)提出了 Occam's 反演方法，也稱之為正規化反演法(regularized inversion)，或最簡約反演法(Occam's

rezor 即奧坎剃刀法)。基本上解決了 VLF-EM 反演的困境，雖然深度的解析仍有麻煩，但穩定性是改進了。因此一般的 VLF-Z 數據藉由近代的反演演算法也可獲得地下的電性構造模型。

空中 VLF-EM 測勘與陸地上的 VLF-EM 測勘都是量測地下導體感應出的次生磁場。但最大不同點在於，空中 VLF-EM 測勘是記錄單一塔台頻率之電磁波作用之下，磁場的三個分量，並據以獲得總磁場強度。而非某一磁場分量。此三互相垂直的磁場會包含許多與地表之下的構造異常有關的信息，可定性或定量的推測出其電性的分布。一般會記錄兩個以上的塔台信號作用之下的三互相垂直的磁場。由每個塔台的信號磁場，可得到對應到該塔台方向的磁力響應。除了可個別解釋外，也可整合兩個以上磁力分布圖做整體構造的解釋。



圖 3-1：幾種典型的空中地球物理探測載具

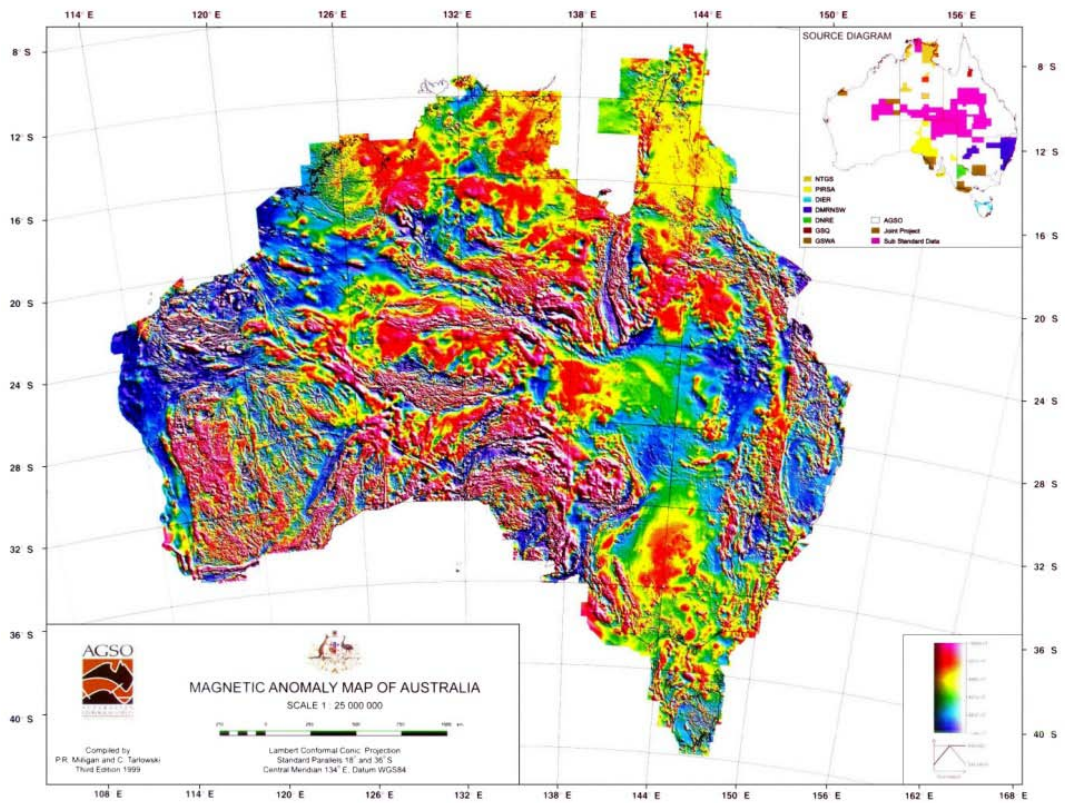


圖 3-2：澳洲空中磁力異常圖

(資料來源：澳洲 AGSO)

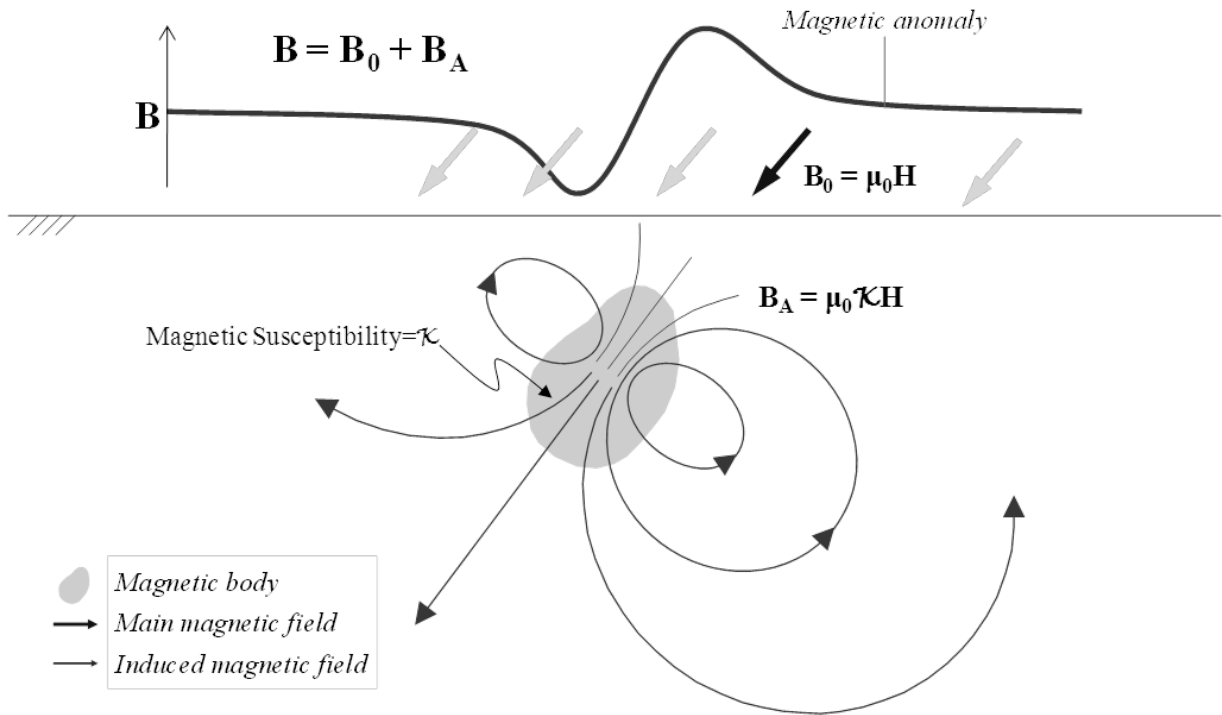


圖 3-3：磁力法施測原理示意圖

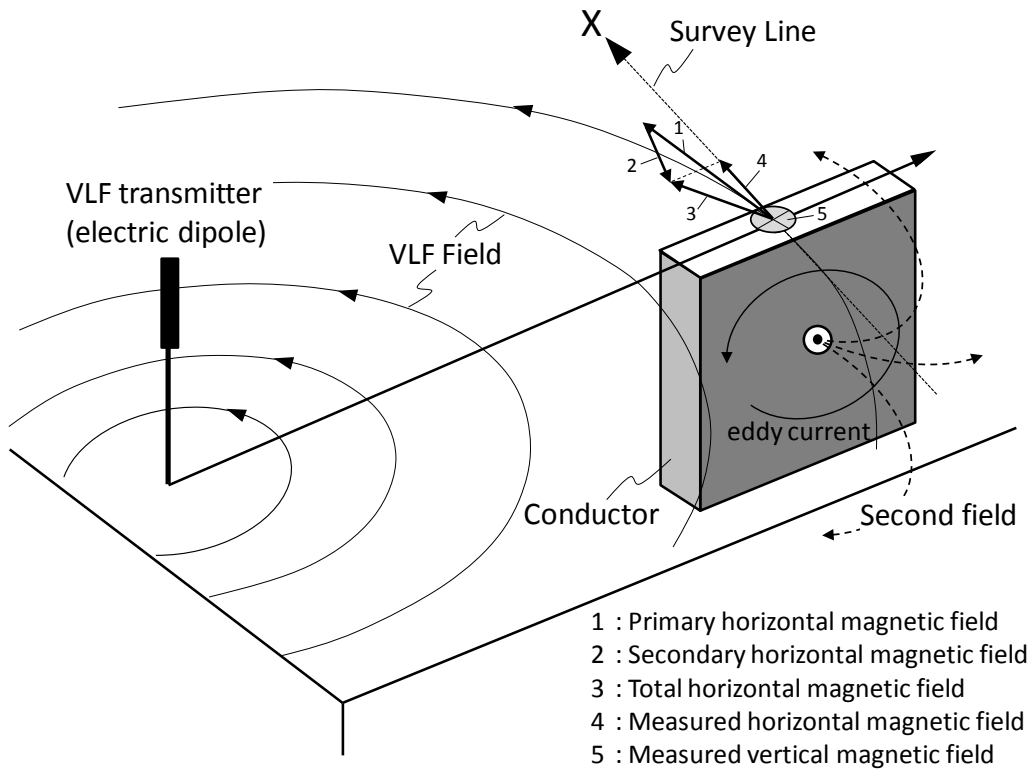


圖 3-4：甚低頻電磁法施測原理示意圖

表 3-1：空中磁測技術之演變

測勘參數	1990 年以前	現 在
測線間距	1000–4000 m	100–400 m
測點間距	150–300 m	7–15 m
飛行高度	80–1500 m	60–80 m
導航系統	100 m (radio)	5 m in height, 2 m in horizontal (dGPS)
磁力量測準確度	0.1 nT	0.01–0.001 nT

(資料來源：澳洲 AGSO)

表 3-2：幾種地質探測方法單位成本比較表

探測方法	單位成本	平均進度
空中磁測(平地)	2–5 US\$/Km	2000-3000 Km/day
空中磁測(山區)	10–40 US\$/Km	1000 Km/day
陸上震測	800 US\$/Km	100–200 Km/day
海上震測	10000 US\$/Km	10–20 Km/day
地質鑽探	10,000,000 US\$/hole	2–3 month/hole

(資料來源：澳洲 AGSO)

表 3-3：GSM-19 系列儀器所能接收的 VLF 發射台基本資料表

Location	Designation	Frequency (kHz)	Power (kW)
Bordeaux, France	FUO	15.1	500
Rugby, UK	GBR	16.0	750
Hegeland, Norway	JXN	16.4	350
Moscow, Russia	UMS	17.1	1000
Yosamai, Japan	NDT	17.4	500
Oxford, UK	GBZ	19.6	550
Annapolis, USA	NSS	21.4	400
NW Cape, Australia	NWC	22.3	1000
Lualualei, Hawaii	NPM	23.4	600
Cutler, USA	NAA	24.0	1000
Seattle, USA	NLK	24.8	125
Aguada, Puerto Rico	NAU	28.5	100



## 3.2 岩層物性量測

### (1) 岩層磁感率量測

本計畫使用捷克 ZH instruments 公司製造的 SM-30 手提式磁感率量測儀量測岩層的磁感率，提供磁力資料解釋時之參考。現場作業前，先參考地質圖之岩層分布據以規劃行動路線，挑選具代表性岩層露頭，每一露頭至少量測 30 組，以求取其平均值。

### (2) 岩層電阻率量測

本計畫使用日本 OYO 公司製造的 miniOhm 露頭電阻量測儀量測岩層電阻率，提供瞭解岩層電性之參考。現場量測時需挑選平順表面，令四根電極探棒均勻接觸岩層表面，若岩層表面乾燥造成無法導電情況時，需小量澆水使岩層表面潮溼，以利量測作業。每一露頭均需量測 20 組數據，以求其平均值。



圖 3-5：岩層物性量測現場作業情形

(a)量測岩層磁感率作業情形；(b) SM-30 手提式磁感率量測儀；(c)量測岩層電阻率作業情形；(d) miniOhm 露頭電阻量測儀。



## 4 研究成果

### 4.1 空中磁力探測設備購置

#### 4.1.1 設備規格與購置過程

依據合約要求，本計畫採購設備之詳細規格如下：

- (1) 「三軸拖鳥」(triaxial towed bird)一套
  - (A) 三個磁力感測器用以量測全磁場強度及水平與垂直磁力梯度。
    - (a) 磁力量測範圍：20,000–100,000 nT。
    - (b) 磁力梯度量測範圍： $\leq 30,000$  nT。
    - (c) 磁力量測準確度： $\leq 0.1$  nT。
    - (d) 磁力量測靈敏度： $\leq 0.0025$  nT @ 1 Hz。
    - (e) 磁力量測航向誤差： $\leq 0.05$  nT。
    - (f) 磁力量測取樣率： $\geq 20$  Hz。
  - (B) 一組甚低頻電磁接收器。
    - (a) 記錄頻率範圍：15.1–28.5 kHz。
    - (b) 感測線圈數量： $\geq 2$ 。
    - (c) 同時記錄之波道數： $\geq 2$ 。
    - (d) 量測項目：total field strength in pT, in-phase and out-of-phase components as %。
    - (e) 量測解析度：0.1% of total field。
    - (f) 取樣率： $\geq 10$  Hz。
    - (g) 數位羅盤：可同時記錄 heading, pitch, and roll。
  - (C) PVC Sensor Holders (orientation adjustable)
  - (D) 一個雷達高度計：TRA 系列以上或同級產品。
  - (E) 一個全球衛星定位接收器。
  - (F) 一台資料收集與記錄用個人電腦：CPU 1.6 GHz 以上或同級產品。

- (G) 一套資料收集記錄軟體。
  - (a) 具即時顯示數據功能。
  - (b) 具即時顯示航跡功能。
  - (c) 具即時儲存量測數據功能。
- (H) 二條吊索：長度 30 公尺。
- (I) 一個地面承架(landing pad)用以承放拖鳥。
- (2) 「移動式地面磁力儀」(portable ground based magnetometer)一台
  - (A) 磁力量測範圍：10,000–120,000 nT。
  - (B) 磁力量測準確度： $\leq 0.1$  nT。
  - (C) 磁力量測靈敏度： $\leq 0.022$  nT。
  - (D) 磁力量測取樣率： $\geq 5$  Hz。
  - (E) 記錄器容量： $\geq 32$  MB。
  - (F) 非磁性連桿：1 支。
  - (G) 免加水 12 VDC 電池：2 個。
  - (H) 電池充電器：1 個。
  - (I) 儀器箱：1 個。
- (3) 二套紙本操作手冊及一份電子檔。

本計畫之設備採購悉依照工研院採購管理辦法執行，採購程序與過程概述如下：

- (1) 依上述儀器規格提出請購申請。
- (2) 請購申請單經單位首長核准後，由工研院請購部門召開採購審議委員會，請購單位需於審議委員會中報告設備規格、用途、經費來源、驗收方式、工業安全衛生、教育訓練及保固及廠商資格等建議事項。各參與委員依其專業，提出規範及驗收等相關補強建議及要求，以確保採購規範之完整性，並兼顧各方之權利義務。
- (3) 請購案經採購審議委員會審核通過後，工研院請購部門即接手與廠商進行詢

價與議約程序，經詢價後由加拿大 GEM 公司得標，議價後本設備最終以台幣 540 萬購得。

- (4) 請購案完成訂約後，依照工研院採購管理辦法規定，由請購部門主管指定另一位驗收部門之承辦人員，負責後續驗收作業。
- (5) 所有設備於 2012 年 7 月 4 日送抵工研院，接收設備時由工研院驗收部門承辦員、廠商代表及計畫主持人三方共同進行開箱作業，切實記錄所接收設備之各項內容，並拍照存證，如圖 4-1 所示；工研院並於 2012 年 7 月 17 日完成設備驗收。

#### 4.1.2 空中磁力探測設備介紹

本計畫購置的空中磁力設備清單如表 4-1 所列，三軸拖鳥與移動式磁力儀組裝完成後照片及各組件名稱分別如圖 4-2 及圖 4-3 所示，介紹如下：

##### (1) 三軸拖鳥

圖 4-4 所示為三軸拖鳥設備之系統方塊圖，圖 4-5、圖 4-6 及圖 4-7 則分別為其外部尺寸及結構設計圖，各主要部分功能說明如下：

##### (A) 外殼由非磁性玻璃纖維構成，分成 5 大部分，如圖 4-1a 至圖 4-1e 所示。

各部分間的銜接均使用銅質螺絲，以避免干擾磁力量測，且維持所需之材料強度；在磁力感測器週圍則使用塑膠螺絲，以避免磁力量測時的微小影響。磁力感測器安裝在圖 4-1c 至圖 4-1e 支架尾端的可調式基座上(圖 4-1f)，其它所有記錄器與 GPS 接收器與雷達高度計等，全部安裝在圖 4-1a 管狀主體內，與磁力感測器維持適當距離，避免干擾磁力量測。

##### (B) 具有三個高敏感磁力感測器(圖 4-1f、圖 4-1g)，使用 GEM 公司先進的鉀蒸氣光泵(optical pump)原理設計，較一般常見的氬蒸氣或鈹蒸氣光泵感測器具有更高的靈敏度與穩定性。三個磁力感測器，分別安裝在三個支架尾端，故除可用以量測全磁場強度之外，經過計算亦能獲得水平與垂直的磁力梯度。

- (B) 具有一組 VLF-EM 接收器，可同時記錄二個波段之 VLF-EM 訊號，圖 4-1h 後方白色筒狀物為 VLF-EM 天線。
- (C) 具有雷達高度計，可連續記錄拖鳥的離地高度，圖 4-1i 為雷達天線，圖 4-1h 前方儀器為雷達高度計記錄器。
- (D) 具有衛星定位記錄器，可連續記錄拖鳥的空間座標，圖 4-1j 為 GPS 天線。
- (E) 與直升機間之聯結簡化成電源線及 RS-232 連接線，降低直升機改裝申請通過的門檻，RS232 及電源線收納在 30 公尺長的吊索內(圖 4-1k)。
- (F) 資料收集軟體安裝在一部手提電腦內(圖 4-1l)，使用長效電池與固態硬碟，以確保硬體穩定性。資料收集軟體具有即時控制、量測資料監視、航跡監視及資料異常警示等功能，提高資料收集的效率。

## (2) 移動式地面磁力儀

本計畫所購買的地面磁力儀(GSM-19 v7.0; 圖 4-3)是 GEM 公司已經開發多年的產品，利用奧佛(Overhauser effect)原理設計，其敏感度與取樣率雖然不如光泵式磁力感測器，但優於質子旋進(proton precession)式磁力感測器，且價格相對較低廉，故常被使用於地面磁力探測。國內亦有部分單位使用相同廠牌的磁力儀，做為固定式磁力基站(氣象局)及移動站(中正大學、中央大學、師範大學)使用。

### 4.1.3 儀器操作訓練

加拿大 GEM 原廠指派技術部門主管 Mr. Michael Wilson 於 2012 年 7 月 9 日至 13 日間，來台進行為期 5 日的組裝及操作訓練，課程內容列於表 4-2，訓練期間活動照片如圖 4-8 所示。除了在工研院室內進行儀器原理講解及問題於回答(圖 4-8a)，在室外進行多次三軸拖鳥組裝與儀器操作(圖 4-8b-d)之外，亦安排於 2012 年 7 月 10-11 日，在台北松山機場進行組裝及與直昇機之地面測試，現場作業照片如圖 4-9 所示。所有測試及訓練作業均圓滿完成，設備經測試後符合採購規範

要求。

#### 4.1.4 三軸拖鳥組裝程序

三軸拖鳥組裝詳細圖示列於附錄 7.3，重要步驟說明如下：

(1) 連接前段及後段管狀主體

- (A) 所有儀器都安裝在前段管狀主體內，故非常重，搬運時需特別小心。
- (B) 先將前後兩段管狀主體放在地上，固定前段不動，後段小心地與前段銜接，並逐次旋緊相接處的螺絲。
- (C) 先打開尾端的筒狀蓋子及靠近尾部下側的蓋子，以便步驟 B 時得以用手拉動磁力感測器的連接線。
- (D) 組裝完成後先安裝編號 1 的磁力感測器支架(參考步驟 2)。
- (E) 組裝好編號一的磁力感測器支架後，將主體搬到地面支架上，此時因重心還不穩定，故需有一人扶著避免傾倒。
- (F) 打開中間的蓋子，將內部的三個磁力控制盒取出。

(2) 依序連接三個磁力感測器支架

- (A) 先將短的支架伸入管狀物主體。
- (B) 再將長的支架伸入管狀物主體，注意連接線需連至管狀物主體前段。
- (C) 旋緊各支架的螺絲。
- (D) 打開長支架尾部的蓋子，調整磁力感測器的方向，使其大致為垂直方向，感測器上有連接線的一端需朝向下。
- (E) 蓋上蓋子，旋緊各螺絲，同時將一個靜電消除棒裝在蓋子外側。
- (F) 依序連接另外二個磁力感測器支架。

註：

- ✓ 每一個磁力感測器支架都有編號，需按編號次序組裝，編號 1 的支架需於步驟 1 時組裝比較方便。
- ✓ 若因需調整磁力感測器方向，而需調整磁力感測器雲台上螺絲時，

務需使用非磁性螺絲起子，以避免鐵屑掉落影響磁場量測的靈敏性。

(3) 連接穩定連桿

- (A) 穩定連桿共有三根，呈三角形連接三支磁力感測器支架。
- (B) 首先需完全放鬆磁力感測器支架上灰色連接器的螺絲。
- (C) 工作人員爬上梯子後，先連接 1 號磁力感測器支架上的連桿，共兩根。
- (D) 再依序連接其它連桿。
- (E) 調整連桿的位置，使三根磁力感測器支架呈現近等腰三角形。
- (F) 旋緊灰色連接器的所有螺絲

(4) 組裝穩定尾翼

- (A) 參考圖 4-10 將穩定尾翼各部分白色連桿以螺絲固定在後段管狀主體上，注意前後的編號要一致，共有三組，固定的位置參考磁力感測器支架的編號。
- (B) 參考圖 4-11 依序將軟塑膠布繫在前述白色連桿外側，需特別注意保持左右對稱性，並不需要將全部塑膠布都繫上去，需視實際狀況調整數量。經試飛後，若發現拖鳥的阻力不足，則需酌量增加塑膠布的數量，反之若阻力太大，則需酌量減少塑膠布的數量。

(5) 連接所有連接線

- (A) 比對磁力感測器連接線上的編號與控制器上標註的編號，將相同編號的連接線及磁力控制器連接起來(每一組共有三條連接線)。
- (B) 連接磁力控制器與 MUX 的連接線，這些連接線無需比編號，直接連接即可。
- (C) 將磁力控制器放回凹槽，並鎖上蓋面。
- (D) 鎖上管狀主體上的所有蓋子，在管狀主體前後端點，各裝一條靜電消除棒(總共要裝 5 條)。

(6) 平衡測試

- (A) 參考圖 4-8d，利用適當裝置(如三角架等)將拖鳥整個吊起懸空。

- (B) 觀察拖鳥軸向是否平衡，由於拖鳥在空中拖曳時係以高速度飛行，故靜止時需維持頭部略為向下傾，由於向下傾的角度與飛行速度有關，故沒有一定的角度標準。通常先依經驗概略調整前後吊索的長度，再依視飛結果再進行微整。
- (C) 當需要調整前後吊索長度時，需朝短的方向調整，避免前後吊索長度發生過長的現象。
- (D) 到拖鳥後側觀察拖鳥兩側是否平衡，若有不平衡/不對稱現象時，需調整步驟 1 所述之穩定性連桿的位置，直到拖鳥左右平衡為止。

註：

- ✓ 旋緊螺絲時不能一次將單一個螺絲旋緊，必需先將每一個螺絲都旋進螺絲孔後，再將每個螺絲逐一且分次旋緊。
- ✓ 組裝完成的拖鳥重量達 136 公斤，當需要移動時，必需確定有足夠人力，且每個人的負重概略相等後再進行搬運。

表 4-1：空中磁力設備交貨清單

客戶名稱：工業技術研究院

統一編號：02750963

送貨地址：新竹縣竹東鎮中興路四段195號77館

收件人：董倫道先生

連絡電話：03-591 6312

採購單號：K550002065

交貨單

101 年 7 月 4 日

箱號/購案項次	規格	材積/重量	備註
<b>Box 1</b>	<b>三軸拖鳥和磁力基站</b>		一式 (共9箱)
2A	Triaxial Gradiometer Bird - Main Body's Front Tube containing: GSMP-35GA(B) v8.0 Data Acquisition Console with RS-232, S/N:203234C	114"x19.5"x16.5" Gr. Wt.: 68.5kgs.	
2A	GSMP-35A v8.0 #1 Electronic's Box with RS-232, S/N:203234		
2A	GSMP-35A v8.0 #2 Electronic's Box with RS-232, S/N:203235		
2A	GSMP-35A v8.0 #3 Electronic's Box with RS-232, S/N:203236		
2B	GSM-90AV VLF System, S/N: 2014902 w/Sensor#1, S/N:050112 & Sensor#2, S/N: 040112 including Cables		
2D	RA-4500 Radar Altimeter, with Housing Mechanics/ Antenna& Cables, S/N: 1133M139		
2E	NovAtel GPS Receiver with Antenna& Cable		
<b>Box 2, 2A</b>	Triaxial Gradiometer Bird - Main Body's End Tube containing: Tail & Skirt, Riveter(tool)	125.5"x25.5"x17.5" Gr. Wt.: 57kgs.	
<b>Box 3, 2A</b>	Sensor#1 35mm-cell with 5m cables, S/N: 1202S224	100.5"x21.5"x16.5" Gr. Wt.: 28.5kgs.	
<b>Box 4, 2A</b>	Sensor#2 35mm-cell with 5m cables, S/N: 1202S225	100.5"x21.5"x16.5" Gr. Wt.: 28.5kgs.	
<b>Box 5, 2A</b>	Sensor#3 35mm-cell with 5m cables, S/N: 1202S226	100.5"x21.5"x16.5" Gr. Wt.: 28.5kgs.	
<b>Box 6, 2H</b>	Triaxial Gradiometer Bird Fittings-30m reinforced Tow cable with Power & Communication (jacketed)	18"x18"x18" Gr. Wt.: 19kgs.	
<b>Box 7, 2F &amp; 2G</b>	Panasonic Tough book laptop CF-53AAGHYDM S/N: 1KTSA 45168 Note: Data Logger Core Software installed	16"x7"x16" Gr. Wt.: 6kgs.	
<b>Box 8, 2H</b>	Spare Bird Tow Cable, 30m	18"x18"x18" Gr. Wt.: 16kgs.	
<b>Box 9, 3A</b>	GSM-19W v7.0 Magnetometer console, S/N: 2065372, Sensor with Sub-cable & Connector/s, S/N: 24526	24.5"x11.5"x17.5" Gr. Wt.: 21.5kgs.	
3I	Carrying Case		
其他,2I	地面架子 Landing Pad		
其他,3B	免加水12VDC電池 x 2		
其他,3C	電池充電器 x 1		



表 4-2：空中磁力設備儀器操作訓練課程表

日期	2012/07/09	2012/07/10	2012/07/11
時間	09:00-16:30	08:00-17:00	07:00-17:00
地點	ITRI/B24/Rm.211	台北國際機場	台北國際機場
內容	(1) 儀器原理介紹 (2) 設備功能介紹 (3) 設備設計介紹 (4) 三軸拖鳥組裝介紹 (5) 磁力基站操作訓練 (6) 磁力基站功能測試 (7) 資料下載操作訓練	(1) 三軸拖鳥組裝訓練 (2) 三軸拖鳥軟體操作訓練 (3) 三軸拖鳥功能測試	(1) 三軸拖鳥、導航系統及直升機聯合地面測試 (2) 三軸拖鳥功能測試 (3) 三軸拖鳥拆卸訓練
日期	2012/07/12	2012/07/13	
時間	09:00-16:30	09:00-16:30	
地點	ITRI/B24/Rm.208	ITRI/B24/Rm.208	
內容	(1) 三軸拖鳥組裝訓練 (2) 三軸拖鳥功能測試 (3) 三軸拖鳥平衡訓練 (4) 三軸拖鳥拆卸訓練	(1) 三軸拖鳥維護介紹 (2) 問題與回答 (a) ComPort 分流 (b) Optical pump (c) 數位羅盤安裝 (d) DGPS 安裝 (e) GPS 維修 (f) Data Format	



圖 4-1：空中磁力探測設備主要部分照片

(a)拖鳥主體前段；(b)拖鳥主體後段；(c)磁力感測器支架-1；(d)磁力感測器支架-2；(e)磁力感測器支架-3；(f)磁力感測器及可調式基座；(g)磁力感測器控制電路；(h)甚低頻電磁接收器(內部白色圓柱體為甚低頻接收器)，前方為雷達高度計控制器；(i)雷達高度計天線；(j) GPS 天線；(k) 吊索；(l) Panasonic ToughBook CF-53 個人電腦及資料記錄軟體；(m)地面磁力儀；(n) 免加水電池及充電器。



圖 4-2：三軸拖鳥組裝完成後照片及各部組件名稱



圖 4-3：移動式地面磁力儀組裝完成後照片及各部組件名稱



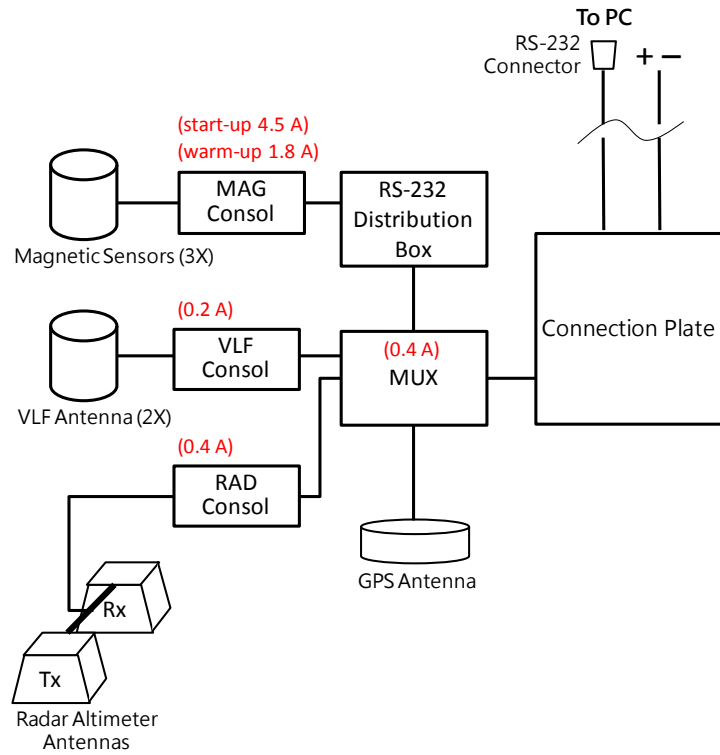


圖 4-4：GEM 三軸拖鳥系統功能方塊圖

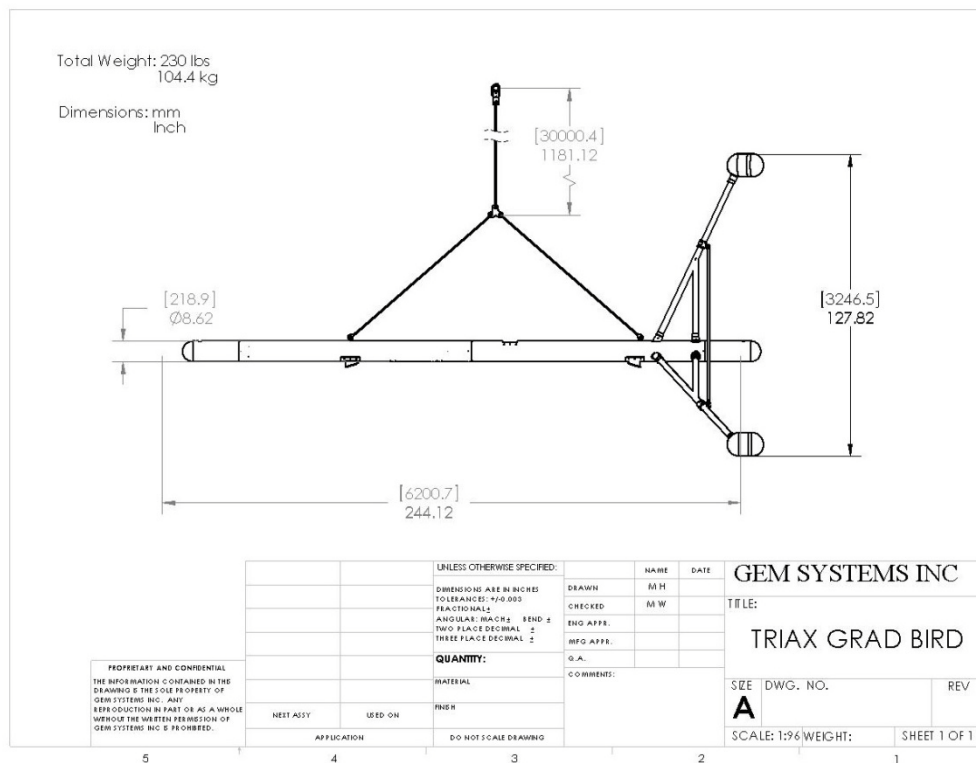


圖 4-5：GEM 三軸拖鳥外部尺寸構造圖

(加拿大 GEM 公司提供)

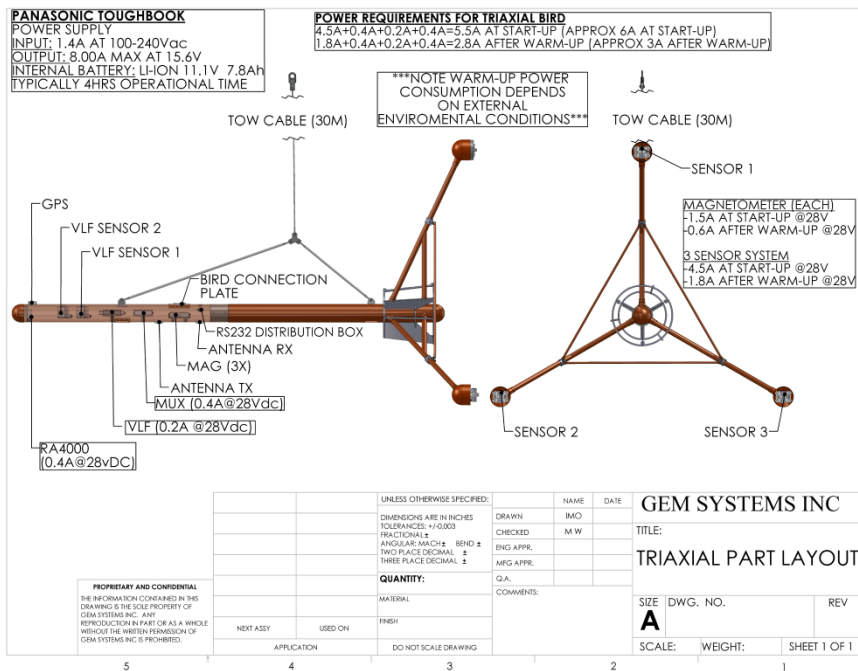


圖 4-6：GEM 三軸拖鳥設計圖  
 (加拿大 GEM 公司提供)

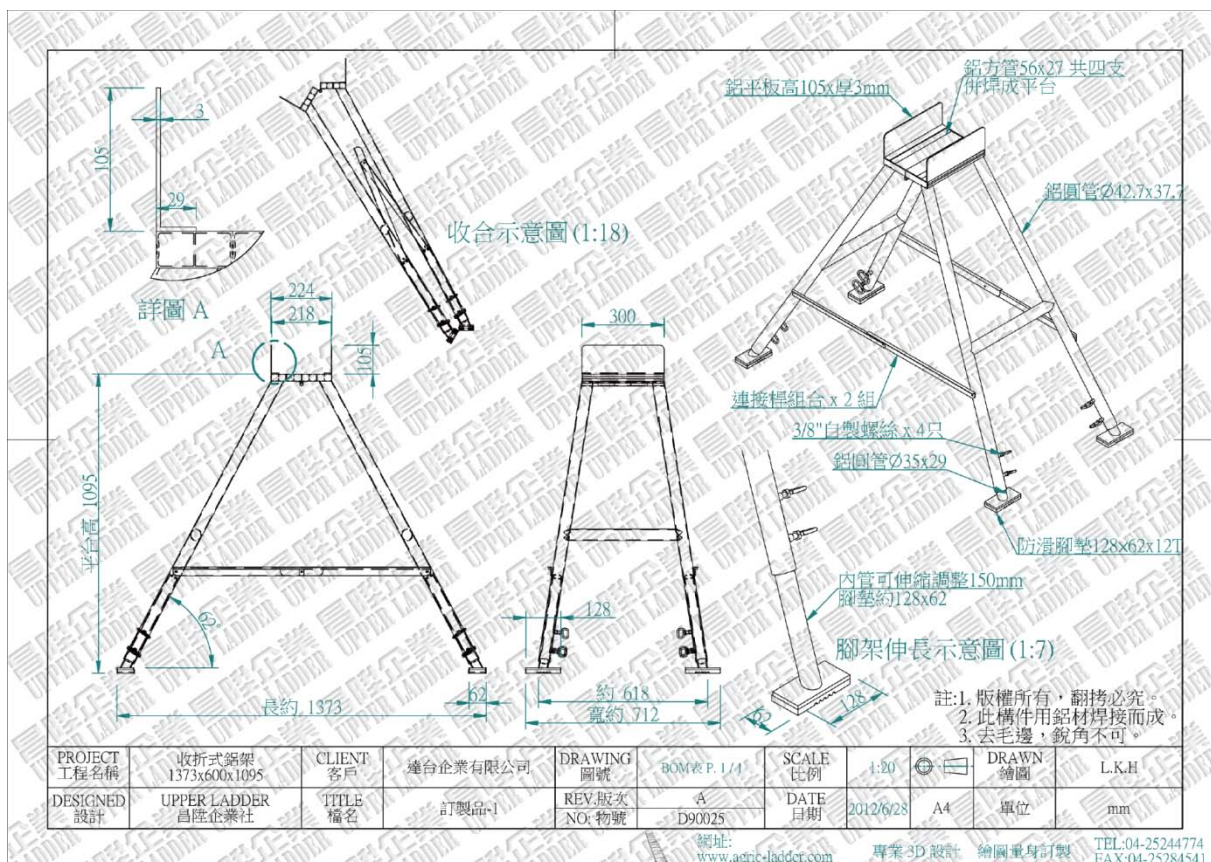


圖 4-7：GEM 三軸拖鳥地面支架設計圖





圖 4-8：在工研院進行儀器操作訓練情形

(a)室內儀器原理講解；(b)在松山機場進行儀器組裝訓練；(c)地面磁力儀操作訓練；(d)在工研院進行三軸拖鳥平衡測試。

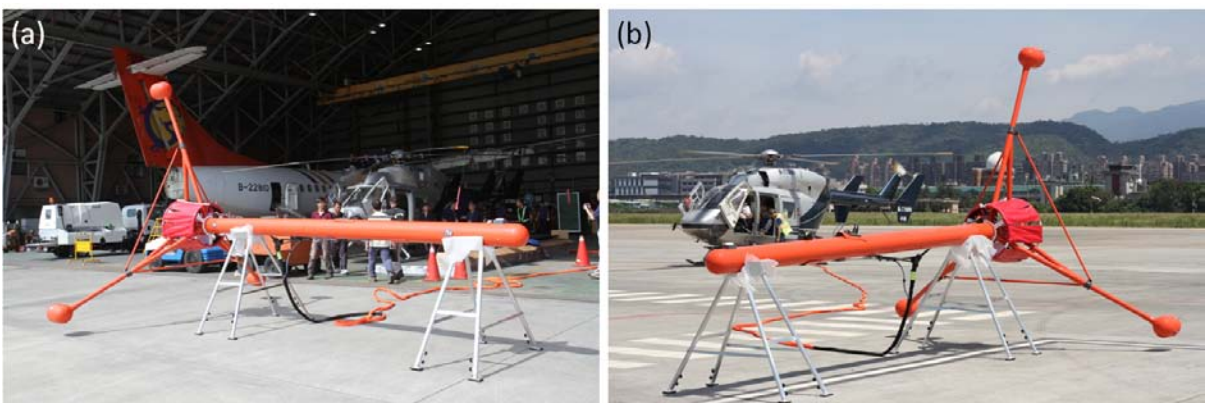


圖 4-9：在台北松山機場進行地面測試情形

(a)在台北松山機場進行三軸拖鳥組裝及直升機連接測試；(b)在台北松山機場停機坪進行正式地面測試。

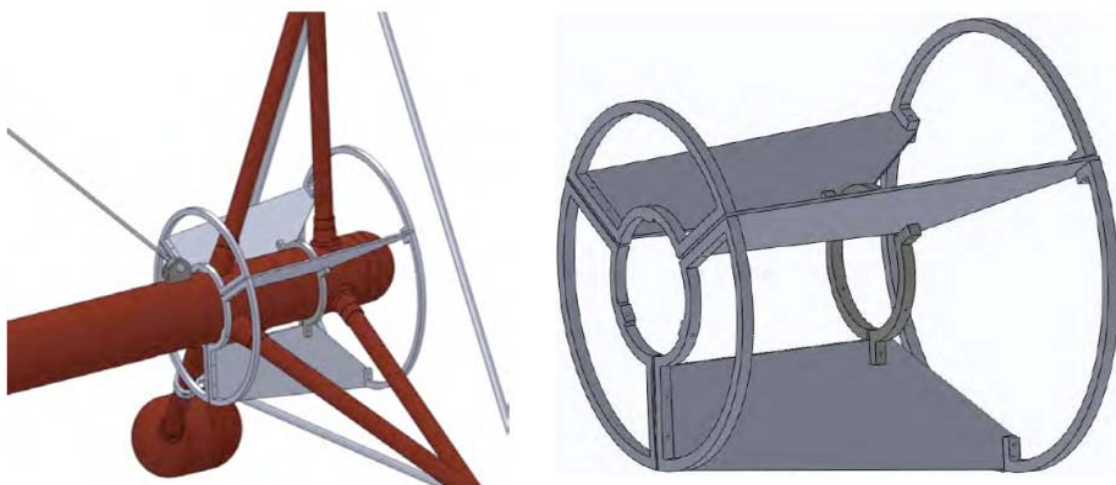


圖 4-10：穩定尾翼組裝圖



圖 4-11：穩定尾翼組裝完成圖

## 4.2 空中磁力探測作業

### 4.2.1 航線規劃

本年度計畫調查面積約 364 平方公里，介於龜山島及宜蘭市間之陸海域地帶，測線規劃如圖 4-12 所示，說明如下：

- (1) 本計畫以測線間距為 500 公尺設計測線(survey line)，測線方向為 N30°W，概略垂直於區域地質構造方向，並可避免飛行時日光直射駕駛員，影響飛行安全，測線總長度約 741 公里，共計 57 條測線。
- (2) 檢核線(tie line)與測線方向垂直，檢核線間距一般為測線間距之十倍，但考量本計畫調查範圍東南-西北方向較窄，故縮小檢核線間距為 4000 公尺，以提高後續檢核線修正的功效，因此每條測線將與 4 條檢核線相交，檢核線總長度約 112 公里。
- (3) 磁力及 VLF-EM 採樣間格設定為 10 Hz，以飛行速度 150 km/hr 推算，沿測線採樣間格約為 4.17 m。
- (4) 考量航空導航作業時，直升機不太可能一進入特定航線即能沿著設計航線飛行，故在進入測線端點前，需要一段緩衝區間，讓直升機駕駛有足夠時間調整飛行方向與姿態，穩定地沿規劃測線飛行。故本計畫規劃於每條航線前後各預留 500 公尺緩衝區間，以飛行速度 150 km/hr 推算，直升機駕駛約有 12 秒用以調整飛行方向。
- (5) VLF-EM 測勘所量測的次生磁場強度，與所接收 VLF 塔台的方向有關，故若只接收一個 VLF 塔台訊號，對於走向與 VLF 塔台方向垂直的導體，其次生磁場強度較弱，會降低對該異常體的描繪效果，這種現象稱為方向性傾向(directional bias)。故 VLF-EM 測勘時常需要同時接收兩個約略相互垂直的 VLF 塔台，以便補償因方向性傾向所造成的解釋死角；同時也避免若其中一個 VLF 塔台因例行維護等因素停止發射電磁訊號時，可以維持至少仍能記錄一個 VLF 塔台的訊號。透過三軸拖鳥 VLF-EM 控制功能，掃描各 VLF 塔台頻道(表 3-3)，發現 GBZ (19.6 Hz)及 NWC (22.3 Hz)兩塔台接收的訊號強度



最大，兩塔台位置如圖 4-13 所示，GBZ 塔台位於英國坎布里亞(Cumbria)北方海濱，NWC 塔台位於澳洲西北岸艾克斯茅斯(Exmouth)，兩塔台與測區間夾角接近垂直(圖 4-13)，故本計畫乃設定記錄該兩頻率。

## 4.2.2 限航區分布

由圖 1-1 顯示本年度測試範圍內涵蓋 R30 限航區，該限航區屬國防部管理，限航基本資訊如表 4-3 所示，顯示在不向國防部提出飛航許可前提下，每週六、週日及週一連續三天都是可以飛航的。基於前節概估本年度總測線長度約為 853 公里，依據工研院過去執行直昇機空載磁力探測的經驗，推估約 2 個工作天可以完成現場飛航作業，故利用每週六起連續三天的非限航時段，應可完成本年度飛航工作，故本計畫未向國防部特別提出飛航申請。

表 4-3：R30 限航區基本資訊

編號	管理單位	限航範圍	限航內容
R30	國防部	N24 48 00.0 E121 49 00.0 N24 50 00.0 E121 50 00.0 N24 50 00.0 E121 55 00.0 N24 40 00.0 E121 55 00.0 N24 42 00.0 E121 50 00.0 N24 44 00.0 E121 49 00.0	海面至 5000 呎(軍備局 039306873 同意) 週二至週五

## 4.2.3 適航申請

### (1) 申請流程

依據我國民航法規(交通部民航局，2012)，一架民用直升機加掛其它裝備後，必需先取得適航證明，才能據以提出飛航申請。其中適航申請是主要關鍵步驟。圖 4-14 所示為適航申請流程圖，說明如下：

(A) 所有需要使用直升機載運的大小酬載，如果是固定式的就必需提出改裝

計畫書，本計畫以吊掛或使用於直升機上的設備，包括：三軸拖鳥、個人電腦、航空導航器等，其中個人電腦與航空導航器屬非固定物品，且無連接電纜，故無需列入改裝申請。但三軸拖鳥及個人電腦等設備將使用航機電源，依規定需向民航局提出申請。為縮短作業時間，本計畫於完成設備訂購後，立即向原廠索取用電及系統設計等正式證明文件，撰寫「BK117 磁測機外吊掛載裝備升級計畫」，據以向民航局溝通計畫書內容及申請的程序。

- (B) 改裝計畫書經民航局書面審查通過，始得據以進行航機之加改裝作業，故本計畫將於三軸拖鳥運抵台灣並完成組裝後，向民航局提出改裝後測試。
- (C) 改裝後測試申請提出後，需通過地面測試與空中測試，始能取得該航機的「加改裝適航證明」。

## (2) 直升機加改裝申請

本計畫三軸拖鳥上所安裝儀器設備需使用航機電力，雖然用電量不高，且未涉及加裝其它固定式裝備。但根據民航局規定，加改裝如涉及外型變更、艙外裝載重量超過最大起飛重量 0.5%，或需飛機上電力，皆視為重大加改裝，必需通過地面測試與試飛後始能申請飛行。

為求慎重，本計畫參照前次工研院執行空中磁測之經驗，並參考 BK-117 原廠出廠設定規範及 GEM 公司三軸拖鳥相關設計圖等，擬定「空中磁測 BK-117 型直升機改裝計畫書」，向民航局提出書面申請，改裝計畫書主要內容包括：

- (A) 概述/目的
- (B) 執行方式
- (C) 驗證法規
- (D) 符合說明
- (E) 改裝安全評估
- (F) 相關驗證文件

(G) 操作及持續試航要求

(H) 三軸拖鳥設計藍圖

(I) 預計時程

(J) 參考附件

(3) 地面測試

本計畫於空中磁力設備進行組裝訓練期間，透過中興航空公司向民航局提出地面測試申請，2012年7月11日在松山機場停機坪進行地面測試，測試時之配置如圖4-9b所示。三軸拖鳥組裝完成並置於距離直昇機約30公尺處，模擬實際飛航作業時三軸拖鳥與直昇機間的作業距離，在民航局審核教官同意下，由駕駛員啟動引擎並提高轉速至一般飛行作業情況，啟動三軸拖鳥設備後，由正副駕駛員依規定逐項檢查航機上各儀表讀值，相關紀錄詳見附錄7.4。

經過地面測試後，雖然民航局要求改善三軸拖鳥的支架，並於進行飛行時通知民航局前往覆驗，但許可三軸拖鳥與直昇機間的聯結方式，並做成無需進行進一步試飛之結論，同意本計畫可以使用中興航空公司編號B77099直昇機，以吊掛方式進行空中磁力探測作業。

#### 4.2.4 飛航申請

由於進行空中磁測作業時，必需降低直升機往返測區所需時間，以節省飛行作業成本，故需要在最接近作業區之適當位置，設置臨時起降場，做為航機起落及加油之場所。臨時起降場之使用條件，必需滿足民航局的相關規定，倘若租用民地做為臨時起降場，必要時需經民航局派員現勘同意後才得使用。但若使用既設的直昇機起降場，由於已經具有合格使用條件，故大多僅需通過書面審查，無需進行現勘。

基於臨時起降場之設置為飛航申請中重要一環，且為縮短相關申情之行政程序，本計畫乃優先尋找公有且曾經被使用於直昇機臨時起降場之地點，透過地調

所承辦人員的協助，本計畫選擇宜蘭市運動公園體育場東側草地上既有的直升機臨時起降場，位置如圖 4-15 所示。取得宜蘭市運動公園體育場之土地使用同意後，併相關飛航申請文件，於 2012 年 7 月 17 日以中興航公司名義向民航局提出正式申請(附錄 7.5)，民航局於 101 年 8 月 6 日函覆同意申請(附錄 7.6)，自 2012 年 8 月 8 日起至 2012 年 11 月 1 日期間，使用宜蘭運動公園做為臨時起降場，以進行宜蘭及龜山島地區之空中磁力探測作業。

#### 4.2.5 磁力基站選取

為了事先尋找合適場所設置磁力基站，本計畫於 2012 年 7 月 17 日以宜蘭運動公園臨時起降場為中心，自近而遠搜尋合適的場所，先以目視挑選遠離道路、電力線及房舍等足以干擾磁場量測的地點，設置一台磁力儀連續紀錄地球磁場達 30 分鐘，以分析該地點磁場是否受鄰近建物或車輛等干擾。

經初步篩選後，挑選兩處作為候選磁力基站，分別以 MBa 及 MBb 代號表示，其位置如圖 4-16 所示，鄰近照片如圖 4-17。MBa 位於一果園內，與臨時起降場相距約 700 公尺，自臨時起降場僅需約 3 分鐘車程便能抵達，四週為稻田，距離鄰近大馬路約 253 公尺，但 45 公尺遠處有一條約僅能供機車及農用搬運車行駛的產業道路。MBb 位於蘭陽溪堤外沙洲上，與臨時起降場相距較遠約 2400 公尺，自臨時起降場約需 15 分鐘車程才能抵達，與堤防旁大馬路相距約 153 公尺。

圖 4-18 為兩候選磁力基站各連續紀錄 30 分鐘的磁場紀錄，顯示在記錄期間 MBa (圖 4-18a)磁場有 3 個明顯的突波，而 MBb 則無明顯突波雜訊(圖 4-18b)。因此，雖然 MBa 距離臨時起降場較近，但考量磁力基站的品質，本計畫選擇以 MBb 做為飛航期間之臨時性磁力基站。

#### 4.2.6 飛航現調作業

本計畫於 2012 年 8 月 6 日接獲民航局核准飛航申請與使用宜蘭運動公園臨時

起降場(附錄 7.6)，期間因天候因素影響，最後於 2012 年 9 月 8-10 三日，完成飛航現調作業，作業流程如圖 4-19 所示，作業期間代表性現場照片列於圖 4-20，說明如下：

(1) 臨時性磁力基站設置

本計畫於臨時起降場南方蘭陽溪堤外沙洲上設置臨時性磁力基站，位置如圖 4-16 中標示 MBb 處，共設置兩台磁力儀，兩磁力儀間距離約 30 公尺。其中一台為本計畫新購之 GSM-19 磁力儀，另一部為工研院自有之 GSMP-35A 磁力儀，以每間格 1 秒的取樣率，連續記錄地球磁場變化。設置完成後並於現場設置告示牌(圖 4-20a)，說明設置目的、設置期間及聯絡人電話，提醒民眾不要任意移動磁力儀。

(2) 全球衛星定位參考站設置

為提高空中磁測作業定位精度，本計畫於三軸拖鳥內部加裝一台 GPS 記錄器，並於臨時起降場旁透空良好空地(圖 4-20b)，架設一部 GPS 接收器，連續記錄 GPS 原始訊號，供後續衛星差分定位處理。

(3) 組裝拖鳥及平衡測試

由於三軸拖鳥體積龐大，故需拆解後自新竹運送至臨時起降場，現場組裝完成後，使用三角架將三軸拖鳥吊起(圖 4-20c)，以測試其平衡性，必要時調整前後吊索長度，使三軸拖鳥在靜態時維持頭部輕微下傾的狀況。

(4) 行前飛航安全講解

依據民航法規定，起飛前必需由機長或副機長向每位乘客說明飛航安全需知(圖 4-20d)，特別是有關發生緊急事故時的疏散路線及相關逃生裝備之使用。

(5) 飛航通報

確認各項儀器設備功能正常後，由直升機駕駛員向航空管制單位通報當日預計飛航範圍與飛行高度，經獲准後駕駛員才能啟動直升機引擎，開始進行飛航作業(圖 4-20e)。

(6) 導航及機上資料監視

本計畫使用工研院開發的導航系統，由機上技術員設定預計飛行測線，機長依據導航畫面(圖 4-20f；圖 4-21)進行地貌飛行，副機長則負責觀察流籠及高壓電線等障礙物位置，提醒機長作為飛航操控的參考。

#### (7) 航偏管控

偏航距(cross-track error)代表實際航線與規畫航線間的水平距離，是空中地球物理探測中重要的品質控制指標，當“偏航距”大於容許值且連續達一段特定長度時，該測線需進行重飛。本計畫參考大陸國土資源部制定的「航空磁測技術規範」中對“偏航距”的容許值，以本次飛行測線間距 500 公尺為例，歸屬為 1:50000 比例尺，故容許之偏航距應不大於 150 m，若連續偏航大於 150 m 且長度達 5 km 以上時，該測線應予以重飛。

圖 4-22 所示為本次飛航 2012 年 9 月 8 日第一條航線 L14，因係機長首次依據導航系統操控直昇機做此特殊飛行，除了進入測線時發生偏航距過大情形之外，該測線其餘部分的偏航距則維持在可接受範圍內。雖然本測線偏航距大於 150 m 的連續長度不到 4 km，低於前述 5 km 的門檻值，但為求妥善起見，本條測線仍規劃於後續進行重飛。本次飛行現調工作，除了前述 L14 測線發生偏航過大情形之外，其餘測線的偏航距均維持在合理可接受範圍內。

#### (8) 測試飛航

本計畫於 2012 年 9 月 9 日即完成了合約要求的測線長度，但是為了解磁力紀錄的重覆性，並收集航向效應等資訊，本計畫乃於 2012 年 9 月 10 日，規劃進行測試飛航，說明如下：

##### (A) 航向效應測試

測試主要目的在於瞭解磁力量測受航向影響的程度，測試時需選擇磁力變化相對平緩的區域，在高空進行不同方向的飛行測試，藉以分析因航向差異造成的磁力變化。本計畫選擇 L30 及 T903 兩條相互垂直的測線(圖 4-23)，在平均 1580 m 高度進行各測線之來回飛行測試。

##### (B) 重覆測試



測試主要目的在於瞭解磁力紀錄的再現性；此外，為了瞭解不同飛行高度時，地表建築物及來自地層磁力訊號的關係，藉以做為下年度在蘭陽平原區飛行時的參考。如圖 4-24 所示，本計畫共選擇 L3, L5, L30, L41 及 T903 進行重覆測試，各測試內容如表 4-5 所示。

- (9) 完成所有飛行工作後，表 4-6 所列為相關統計資料，顯示完成測線總長度達 944 公里，平均約每小時產率約為 90 km/hr。

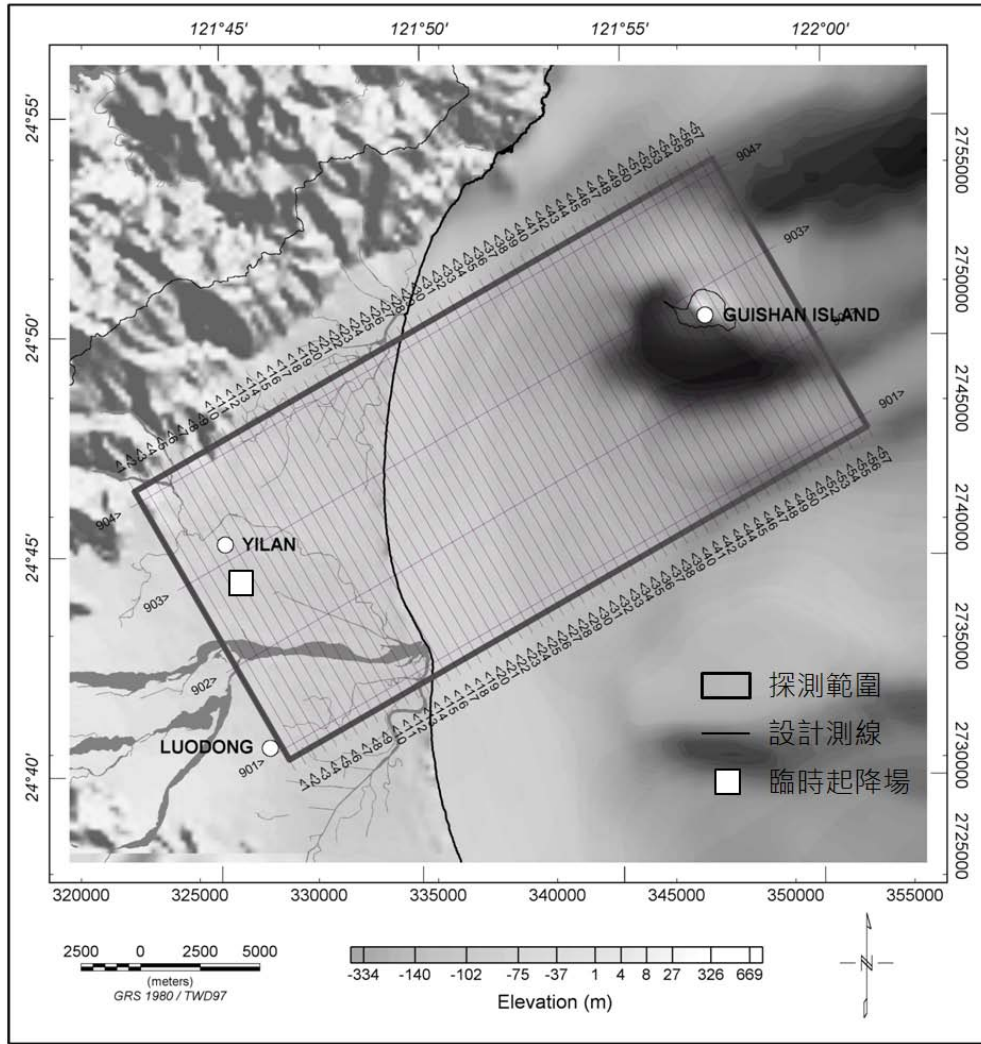


圖 4-12：測試範圍航線規劃圖

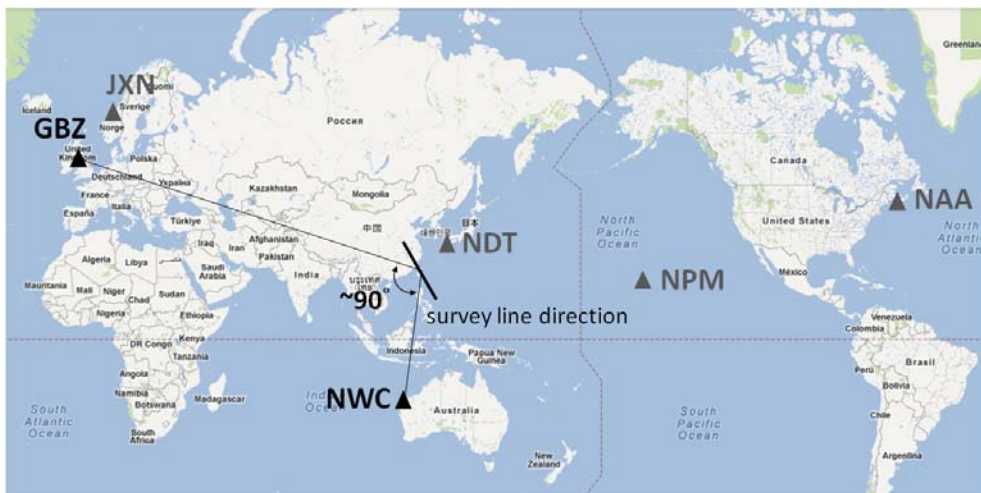


圖 4-13：本計畫 VLF-EM 接收塔台位置圖  
(本計畫接收 GBZ 及 NWC 兩塔台訊號)

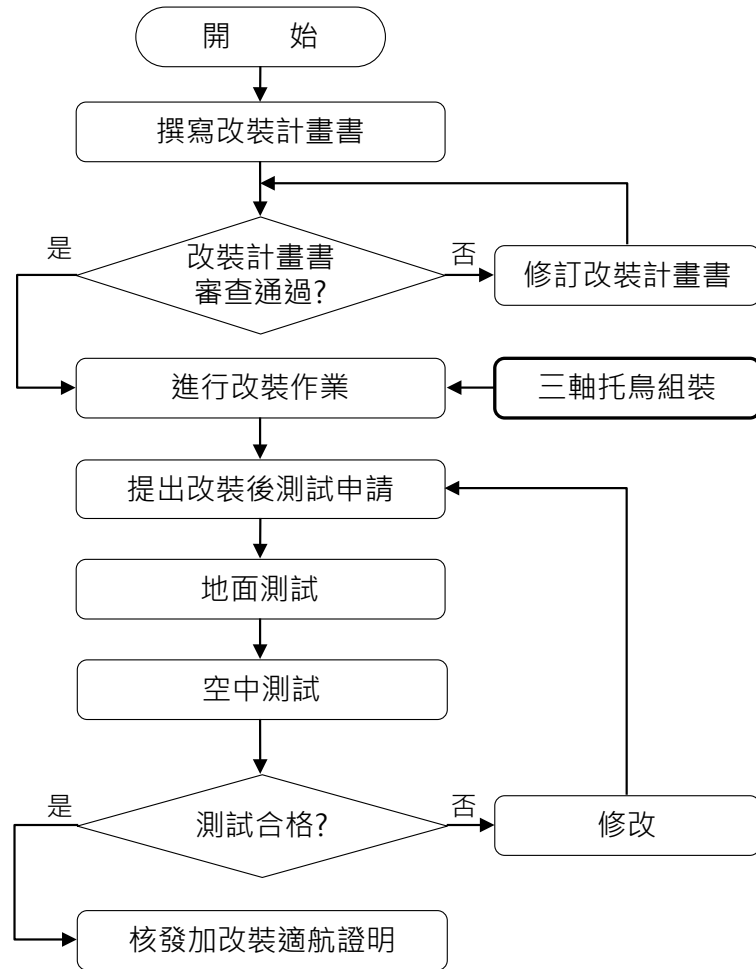


圖 4-14：航空器適航申請流程圖



圖 4-15：宜蘭運動公園臨時起降場位置圖

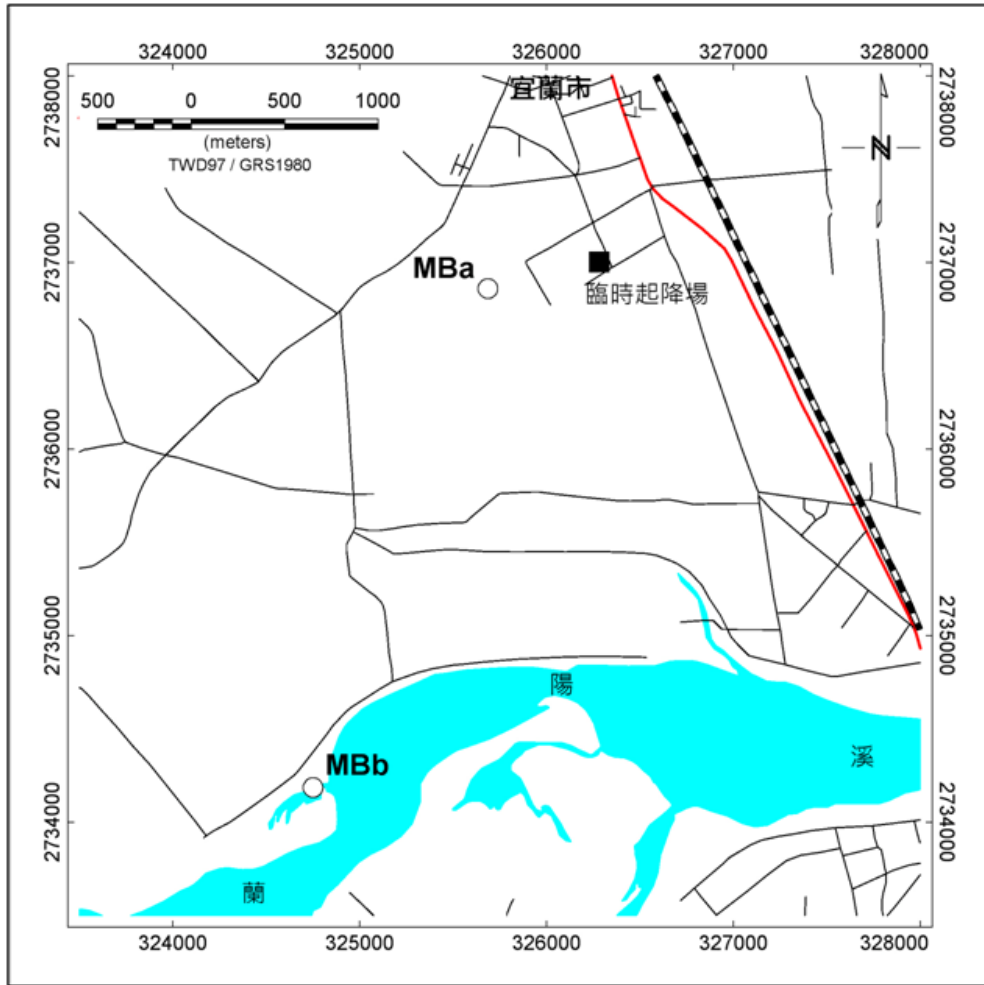


圖 4-16：候選磁力基站位置圖

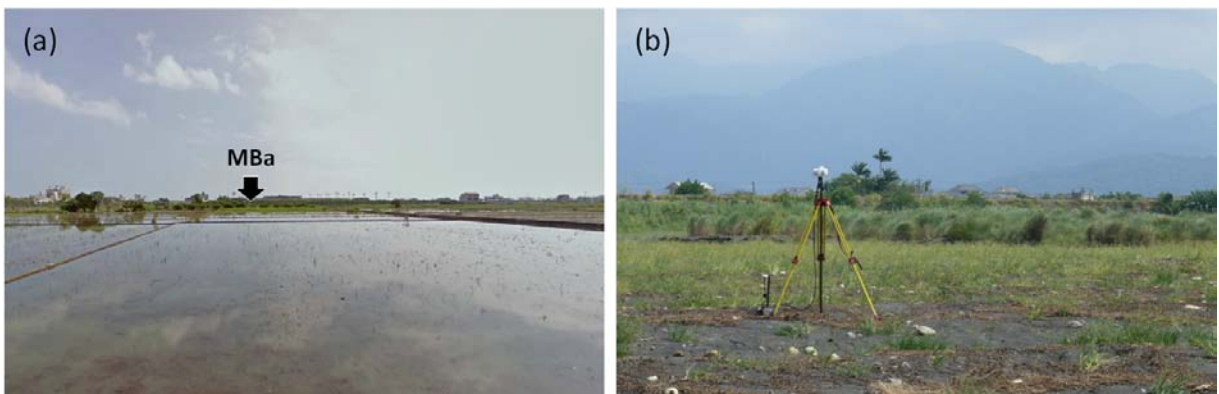


圖 4-17：候選磁力基站現場照片

(a)候選磁力基站 MBa；(b)候選磁力基站 MBb。

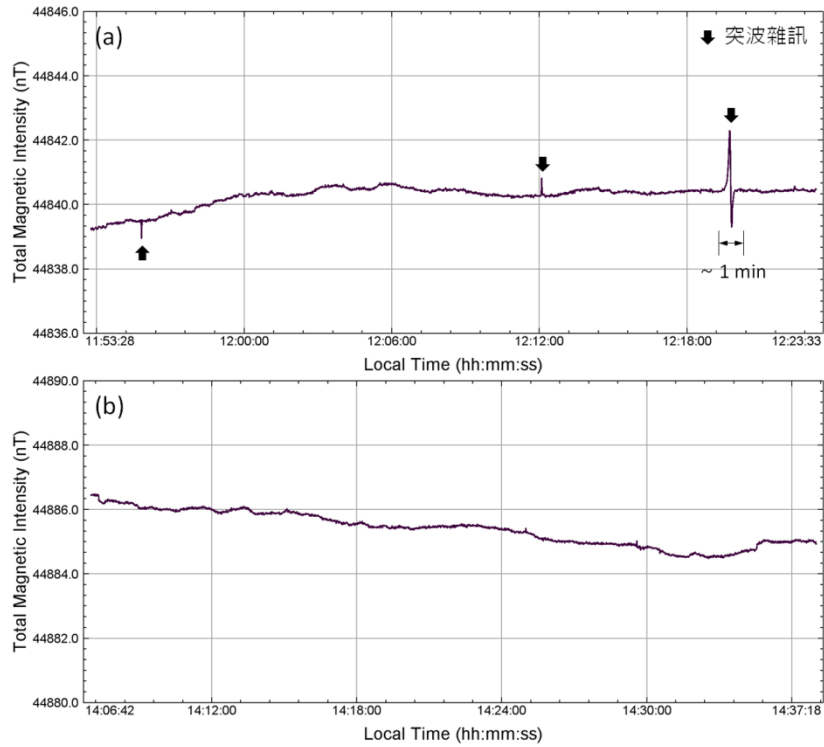


圖 4-18：磁力基站之地球磁場紀錄

(a)磁力基站 MBa 之地磁紀錄，(b)磁力基站 MBb 之地磁紀錄；測試日期為 2012/7/18，磁力基站位置請參照圖 4-16。

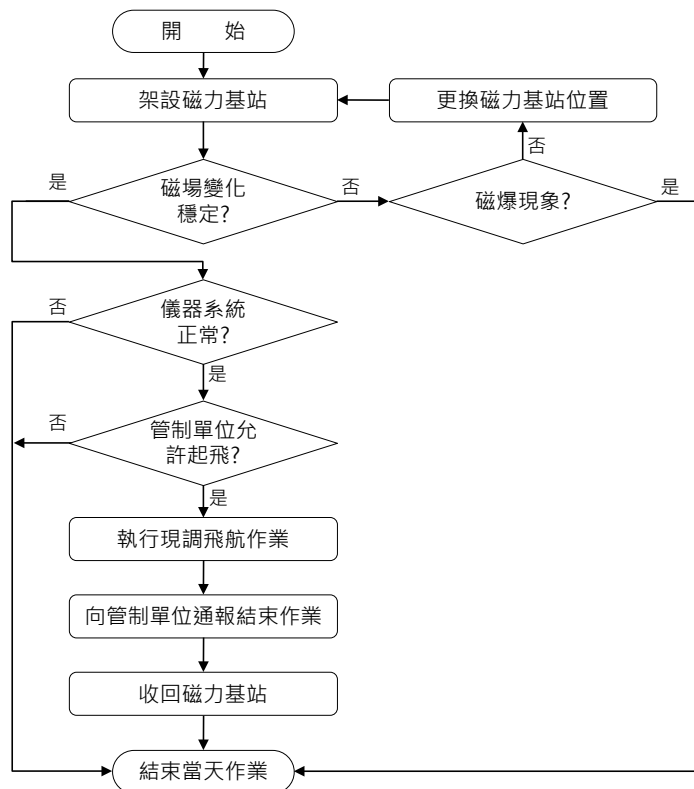


圖 4-19：飛航現調作業流程圖



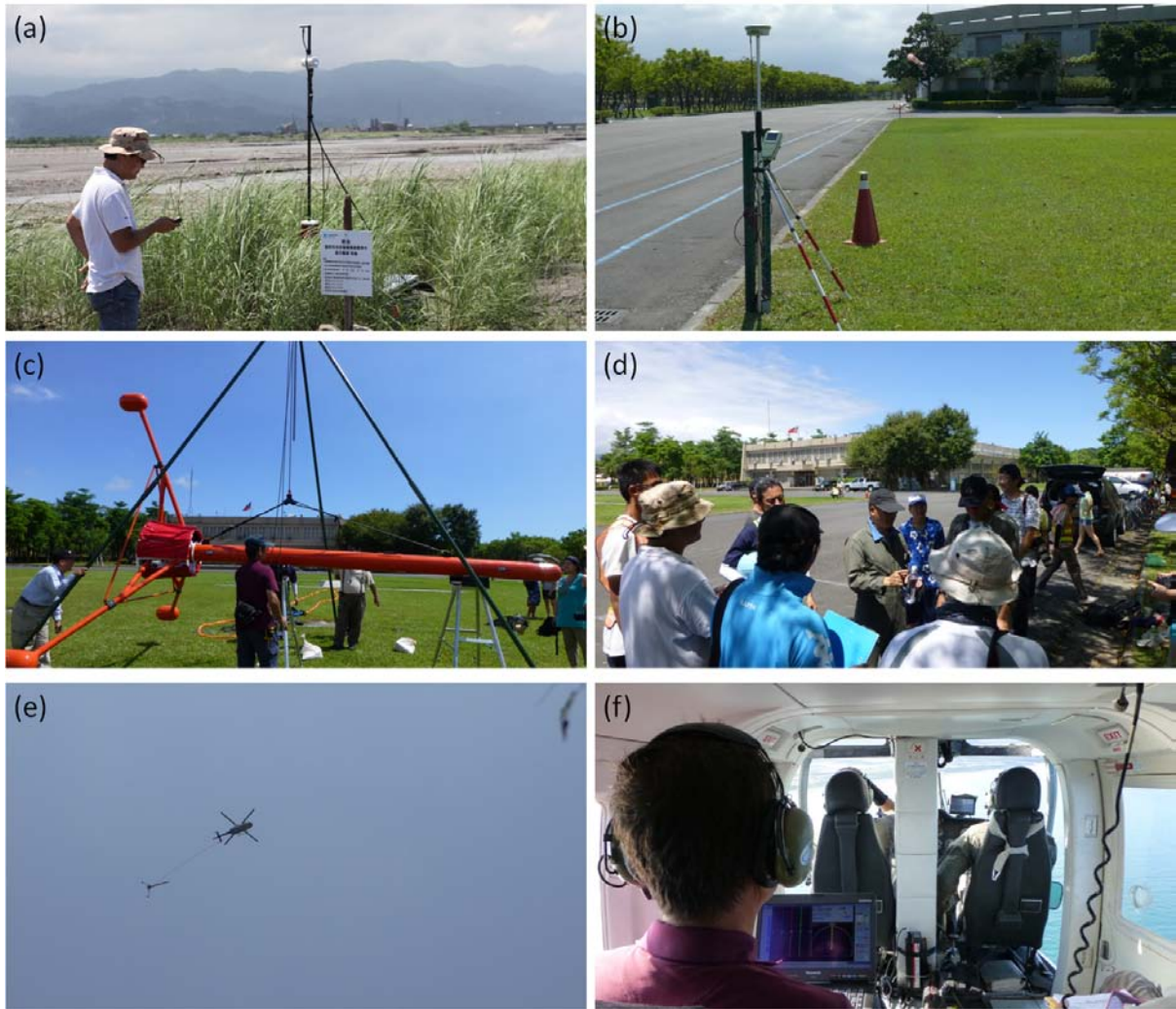


圖 4-20：飛航現調作業照片

(a)磁力基站與告示牌；(b) GPS 參考站；(c)組裝完成後進行平衡測試；(d)飛航前機長講解飛安相關規定；(e)吊掛三軸拖鳥的航機劃過晴空；(f)機上導航及資料監控作業情形。

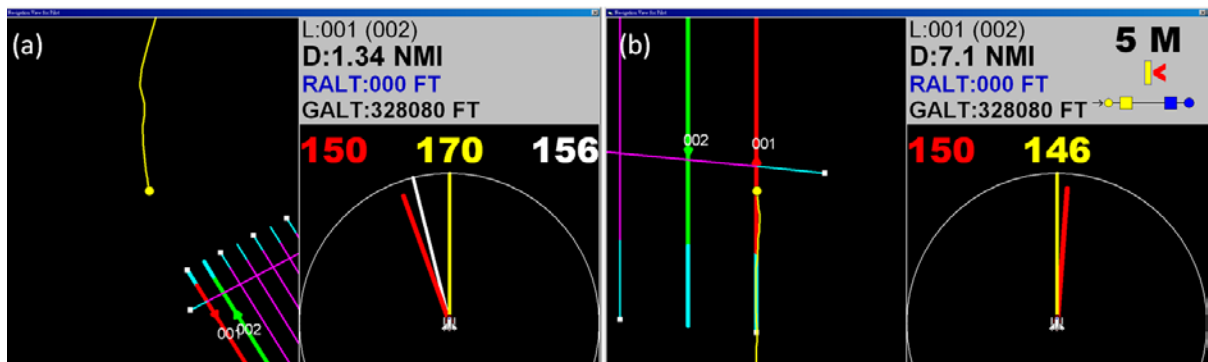


圖 4-21：工研院研發的空中地球物理導航系統機長前方導航畫面

(a)導引飛行進入測線畫面；(b)沿測線飛行之導航畫面。

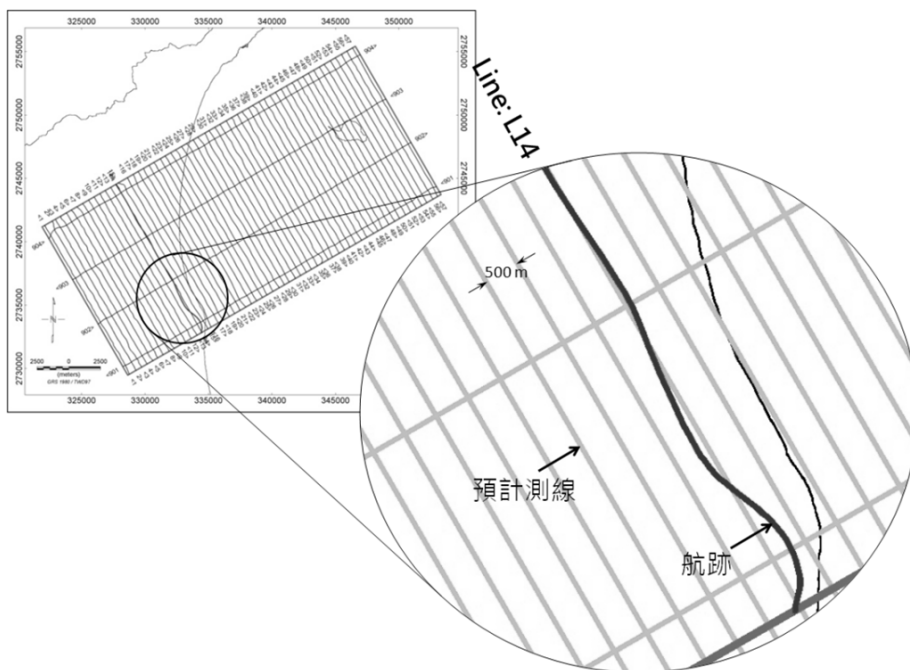


圖 4-22：偏航距誤差過大之測線航跡圖

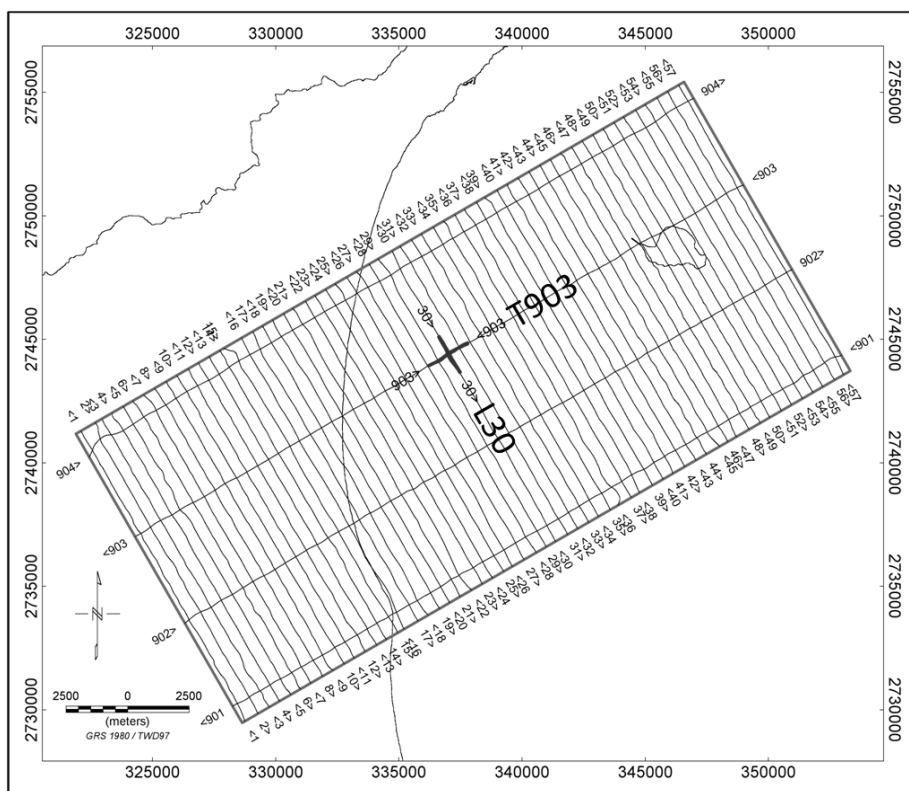


圖 4-23：航向測試航線圖



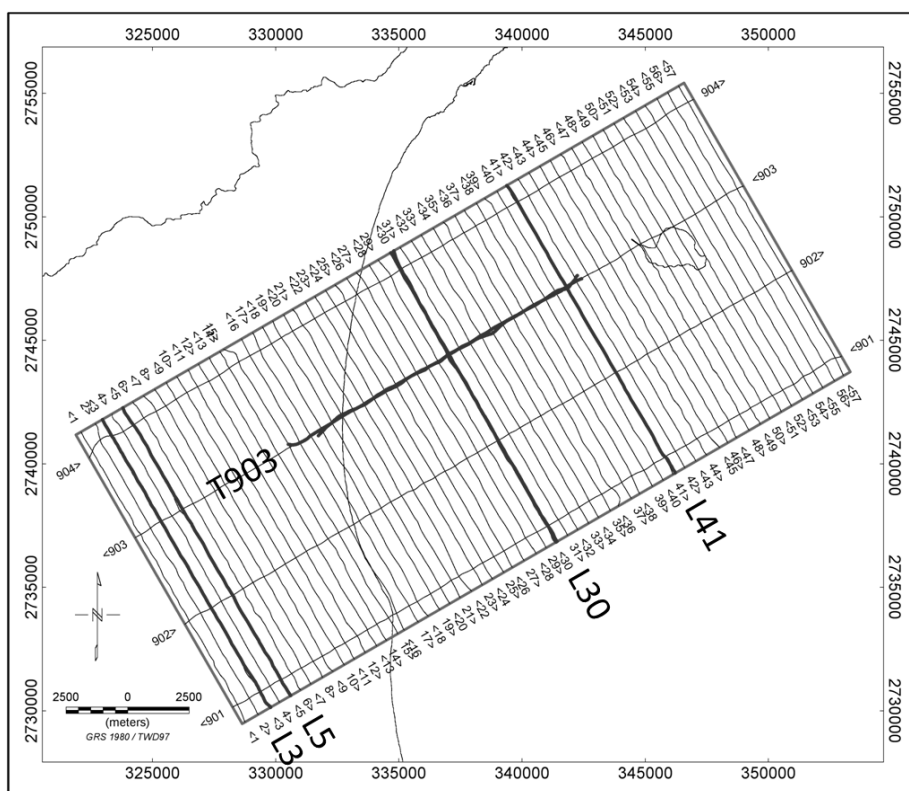


圖 4-24：重覆測試航線圖

表 4-4：空中磁測飛航作業允許之最大偏航距與不同測量比例尺間對照表

測量比例尺	偏航距	最大連續偏航長度
$\leq 1\ 200\ 000$	$\leq 250\ \text{m}$	20 km
1:100 000	$\leq 200\ \text{m}$	10 km
1:50 000	$\leq 150\ \text{m}$	5 km
1:25 000	$\leq 80\ \text{m}$	2.5 km
$\geq 1:10\ 000$	$\leq 1/3$ 測線間距	1 km

(資料來源：航空磁測技術規範，中國國土資源部，2010)

表 4-5：重覆測試內容一覽表

測線編號	飛行高度 (m)	與原測線飛行方向是否一致
L3	590	是，飛行方向相同
L5	632	否，飛行方向相反
L30	1570	兩方向都有
L41	171	是，飛行方向相同
T903	1591	兩方向都有

註：測線平均飛行高度為 284 m。

表 4-6：飛航現調飛時與完成測線長度統計表

項目	統計結果	備註
航機總使用時數	12.03 小時	包括航機往返松山機場時間
航機總飛行時數	10.45 小時	僅計算航機用於測線飛行時間
完成測線總長度	944 公里	包括測試飛行長度
平均產率	90 km/hr	完成測線總長度除以航機總飛行時數
平均飛行速率	157 km/hr	不包括測試飛行且僅統計航線部分
平均離地高度	284 m	不包括測試飛行

## 4.3 資料處理

### 4.3.1 測線整編

本計畫總共進行了 6 個航次之飛行，飛行軌跡如圖 4-25a 所示，經過整編後的測線圖如圖 4-25b 所示。測線整編是進行後續資料修正與處理的首要工作，本計畫主要透過加拿大 Geosoft 公司開發的 Oasis montaj 軟體進行測線整編及後續相關資料處理工作。測線整編並未應用特殊技術，但需仔細對各測線進行空間及屬性編輯，以維持資料庫的正確性。主要內容概述如下：

- (1) 剔除測線以外多餘的航跡。
- (2) 將單一航跡依測線予以分段。
- (3) 編輯各測線的屬性，包括：航線編號、航線型態、施測日期、航次及版次。

其中航線型態主要分為測線(L)、檢核線(T)、基站(B)及測試線(S)等四大類。

### 4.3.2 資料品質分析

#### (1) 測線雜訊水平

雜訊水平(noise level)常用來表現一組紀錄的整體品質，由於磁力訊號慣常以nT為單位，且其變動幅度相對大，故空中磁測紀錄多以第 4 階差(4<sup>th</sup> difference)的均方根(room mean square,  $S_L$ )代表一條測線整體的雜訊水平，並作為評估一條測線整體品質好壞的依據，定義如下：

$$S_L = \frac{1}{\sqrt{70}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})^2} \dots\dots\dots(1)$$

其中

$$B_i = T_{i-2} - 4T_{i-1} + 6T_i - 4T_{i+1} + T_{i+2} \dots\dots\dots(2)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i \dots\dots\dots(3)$$

$N$  代表某條測線上參與計算的紀錄點數， $T_i$  代表第  $i$  點的磁場強度紀錄， $B_i$  代

表第*i*點的第四階差；上述計算需預先扣除水平磁力梯度大於 600 nT/km 的測點。測線的雜訊水平依表 4-7 可分為四級(中國國土資源部，2010)，若歸類為第四級，則表示該條測線紀錄為不合格紀錄，應該安排重飛。

表 4-8 所列为各測線的雜訊水平高低及其等級，顯示 61 條測線，每條測線 3 組磁力紀錄，合計 183 組紀錄中，除了其中 4 組紀錄為 2 級外，其餘紀錄均為品質良好的第 1 級，顯示資料品質良好。

## (2) 磁力基站雜訊水平

磁力基站由於量測時係固定位置，且取樣率相對較慢，其雜訊水平的定義如下：

$$S_B = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (B'_i - \overline{B})^2} \dots\dots\dots(4)$$

其中

$$B'_i = \frac{T_{i-2} - 4T_{i-1} + 6T_i - 4T_{i+1} + T_{i+2}}{16} \dots\dots\dots(5)$$

$$\overline{B} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B'_i \dots\dots\dots(6)$$

*N* 代表某條參與計算的紀錄點數，*T<sub>i</sub>* 代表第*i*點的磁場強度紀錄，*S'<sub>i</sub>* 代表第*i*點的第四階差。磁力基站的雜訊水平依表 4-9 可分為四級，若磁力基站雜訊水平為第四級，應考慮更換磁力基站位置。

表 4-10 所列为飛行作業期間，每日磁力基站地磁紀錄的雜訊水平高低及其等級，顯示第 1 天及第 2 天均為第 2 級，第 3 天為第 1 級，表示資料品質良好。

## (3) 重覆測試

空中磁測的重覆測試主要目的在於瞭解磁力紀錄的再現性，本計畫選擇部分測線在不同高度進行測試，測試結果列於圖 4-26 至圖 4-29，分述如下：

(A) 圖 4-26 為測線 L41 之重覆測試結果，本條測線位於海域且鄰近龜山島，測試時飛行方向與原測線飛行方向相反，但飛行高度控制在 180 m 上下

(圖 4-26b)，比較圖 4-26a 兩次飛行的磁力紀錄，顯示二者間的磁力特徵一致，代表磁力記錄系統功能正常。

- (B) 圖 4-27 及圖 4-28 分別為測線 L3 及 L5 之重覆測試結果，重覆測試時之飛行高度控制在 600 m 上下，較原測線之飛行高度 400 m 為高(圖 4-27b 及圖 4-28b)，比較圖 4-27a 及圖 4-28a 兩次飛行的磁力紀錄，顯示仍然維持相同的磁力特徵，但由於飛行高度較高，故磁力紀錄傾向低頻。在圖 4-28a 中距離約介於 9500–10000 m 間，當飛行高度約為 260 m 時，顯示在磁力低區內有一局部之磁力高區，如圖 4-28a 中箭頭所指處，當飛行高度比較高時，則未見前述之局部磁力高區，表示該處之垂直磁力梯度相對很大，反映淺層的磁體，推測有可能為地表建築物的反應。此結果暗示當在蘭陽平原進行空中磁測時，飛行高度規劃可考量調高至 600 m，以避免地表人造建物的影響。
- (C) 圖 4-29 為測線 L30 之重覆測試結果，重覆測試時之飛行高度控制在 1600 m 上下，比較兩次飛行的磁力紀錄，亦顯示二者間的磁力特徵一致。

表 4-7：測線的雜訊水平分級標準

等 級	標 準
第一級	$S_L \leq 0.08 \text{ nT}$
第二級	$0.08 \text{ nT} < S_L \leq 0.14 \text{ nT}$
第三級	$0.14 \text{ nT} < S_L \leq 0.20 \text{ nT}$
第四級	$S_L > 0.20 \text{ nT}$

註：(1) 資料來源：航空磁測技術規範，中國國土資源部，2010  
 (2) 預先扣除水平磁力梯度大於 600 nT/km 的測點

表 4-8：各測線磁力紀錄之雜訊水平

編號	紀錄總數	磁力感測器#1			磁力感測器#2			磁力感測器#3		
		脫鎖數	雜訊水平	等級	脫鎖數	雜訊水平	等級	脫鎖數	雜訊水平	等級
L1	3475	0	0.0009	1	0	0.0009	1	0	0.0156	1
L2	3276	1	0.0441	1	0	0.0009	1	0	0.0010	1
L3	3760	0	0.0009	1	0	0.0008	1	30	0.0102	1
L4	3424	0	0.0011	1	0	0.0009	1	0	0.0009	1
L5	3374	0	0.0029	1	0	0.0029	1	0	0.0029	1
L6	3258	24	0.0018	1	0	0.0010	1	0	0.0010	1
L7	3218	0	0.0012	1	0	0.0012	1	0	0.0012	1
L8	3245	0	0.0010	1	0	0.0009	1	0	0.0009	1
L9	3275	0	0.0008	1	0	0.0008	1	0	0.0008	1
L10	3354	0	0.0018	1	0	0.0017	1	0	0.0017	1
L11	3208	0	0.0009	1	0	0.0008	1	0	0.0008	1
L12	3261	0	0.0016	1	0	0.0014	1	0	0.0015	1
L13	3211	0	0.0013	1	0	0.0012	1	0	0.0012	1
L14	3244	0	0.0011	1	0	0.0009	1	0	0.0010	1
L15	3546	0	0.0013	1	0	0.0012	1	0	0.0012	1
L16	2247	0	0.0010	1	0	0.0010	1	0	0.0010	1
L17	3351	0	0.0013	1	0	0.0011	1	0	0.0011	1
L18	2291	0	0.0008	1	0	0.0008	1	0	0.0008	1
L19	3230	0	0.0013	1	0	0.0011	1	0	0.0011	1
L20	2280	0	0.0011	1	0	0.0011	1	0	0.0011	1
L21	3318	0	0.0013	1	0	0.0012	1	0	0.0012	1
L22	2257	0	0.0010	1	0	0.0010	1	0	0.0010	1
L23	3216	0	0.0013	1	0	0.0011	1	0	0.0011	1
L24	2255	0	0.0006	1	0	0.0006	1	0	0.0006	1
L25	3187	0	0.0011	1	0	0.0009	1	0	0.0009	1
L26	2158	0	0.0006	1	0	0.0006	1	0	0.0006	1
L27	3068	0	0.0011	1	0	0.0008	1	0	0.0009	1
L28	2308	0	0.0006	1	0	0.0005	1	0	0.0006	1
L29	3145	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0009	1
L30	2348	0	0.0005	1	0	0.0005	1	0	0.0005	1
L31	3018	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0009	1

表 4-8：各測線磁力紀錄之雜訊水平(續)

編號	紀錄總數	磁力感測器#1			磁力感測器#2			磁力感測器#3		
		脫鎖數	雜訊水平	等級	脫鎖數	雜訊水平	等級	脫鎖數	雜訊水平	等級
L32	2227	0	0.0005	1	0	0.0005	1	0	0.0005	1
L33	3217	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0009	1
L34	2189	0	0.0005	1	0	0.0005	1	0	0.0005	1
L35	2915	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0009	1
L36	2348	23	0.1295	2	0	0.0006	1	30	0.1079	2
L37	2948	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0009	1
L38	2245	0	0.0005	1	0	0.0005	1	0	0.0005	1
L39	2922	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0009	1
L40	2171	0	0.0005	1	0	0.0005	1	0	0.0005	1
L41	2949	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0009	1
L42	3119	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0008	1
L43	3213	0	0.0007	1	0	0.0006	1	0	0.0006	1
L44	3429	0	0.0010	1	0	0.0007	1	0	0.0008	1
L45	3073	0	0.0007	1	0	0.0006	1	0	0.0006	1
L46	3424	0	0.0010	1	0	0.0007	1	0	0.0008	1
L47	3354	41	0.0072	1	49	0.0808	2	48	0.0821	2
L48	4002	0	0.0009	1	0	0.0006	1	0	0.0007	1
L49	3112	0	0.0007	1	0	0.0006	1	0	0.0148	1
L50	4031	0	0.0008	1	0	0.0006	1	0	0.0007	1
L51	3170	0	0.0007	1	0	0.0006	1	0	0.0006	1
L52	3504	0	0.0010	1	0	0.0007	1	0	0.0008	1
L53	3283	0	0.0007	1	0	0.0006	1	0	0.0006	1
L54	3349	0	0.0010	1	0	0.0007	1	0	0.0008	1
L55	2972	1	0.0099	1	0	0.0006	1	0	0.0254	1
L56	3283	0	0.0010	1	0	0.0007	1	0	0.0008	1
L57	3047	0	0.0007	1	0	0.0006	1	0	0.0006	1
T901	7428	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0009	1
T902	7310	0	0.0185	1	0	0.0014	1	0	0.0014	1
T903	7030	0	0.0010	1	0	0.0008	1	0	0.0008	1
T904	7111	24	0.0018	1	0	0.0012	1	0	0.0012	1



表 4-9：磁力基站的雜訊水平分級標準

等 級	標 準
第一級	$S_B \leq 0.01 \text{ nT}$
第二級	$0.01 \text{ nT} < S_B \leq 0.03 \text{ nT}$
第三級	$0.03 \text{ nT} < S_B \leq 0.10 \text{ nT}$
第四級	$S_B > 0.10 \text{ nT}$

(資料來源：航空磁測技術規範，中國國土資源部，2010)

表 4-10：磁力基站磁力紀錄之雜訊水平

日期	紀錄 總數	磁力感測器#3		
		脫鎖數	雜訊水平	等級
2012/09/08	22322	0	0.01489	2
2012/09/09	37358	0	0.01148	2
2012/09/10	7888	0	0.00952	1

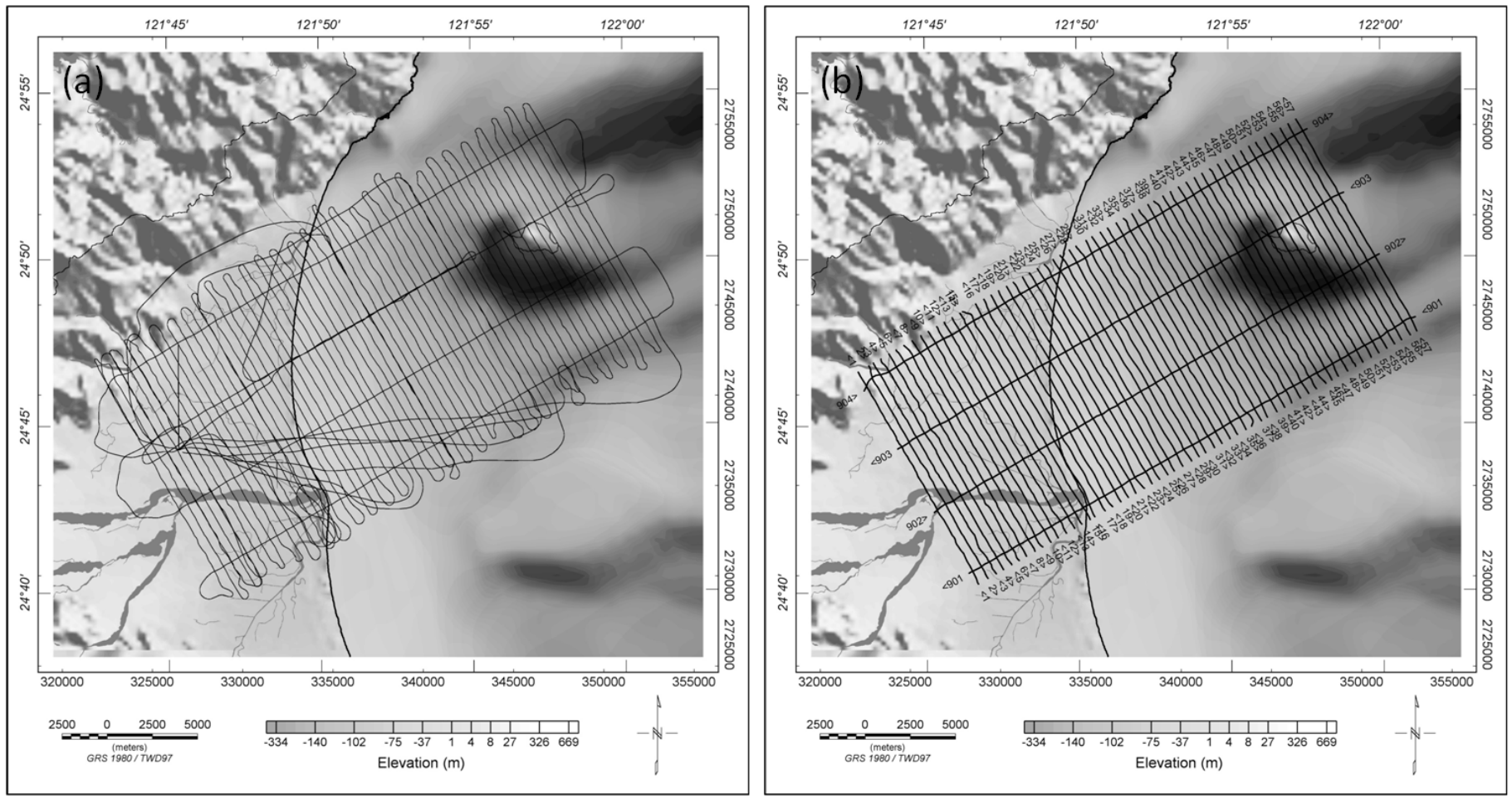


圖 4-25：航跡圖與整編後測線分布圖

(a)航跡圖，(b)剔除多餘航跡後之測線圖。

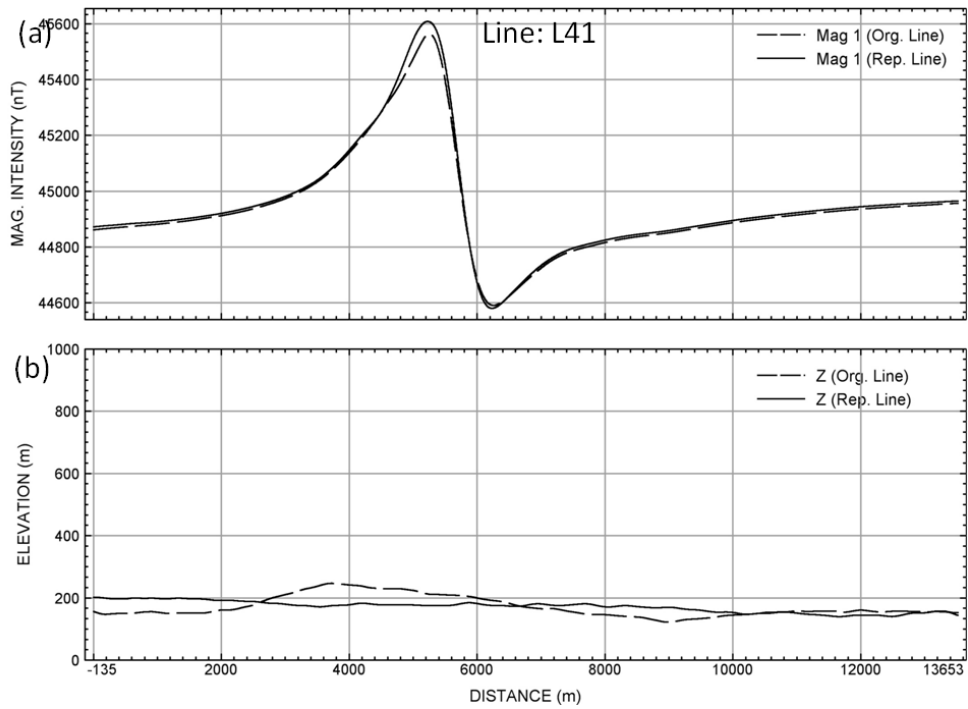


圖 4-26：測線 L41 重覆測試結果

(a)磁力紀錄；(b)飛行高度。重覆測試之飛行方向與測線飛行方向相同，且飛行高度概略相同。

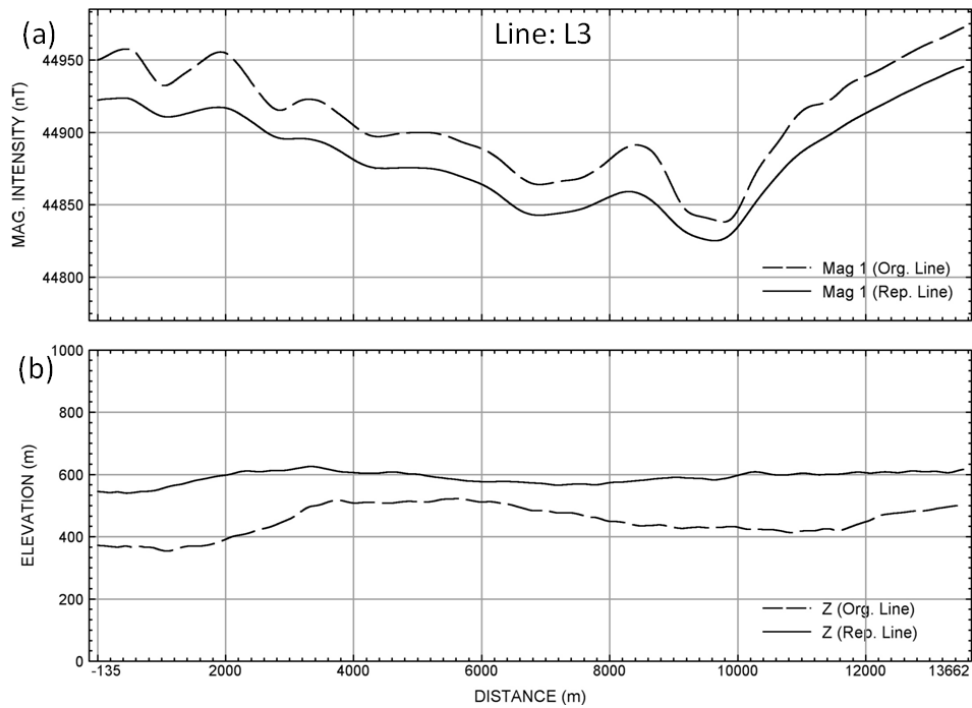


圖 4-27：測線 L3 重覆測試結果

(a)磁力紀錄；(b)飛行高度。重覆測試之飛行方向與測線飛行方向相同，且飛行高度較高。

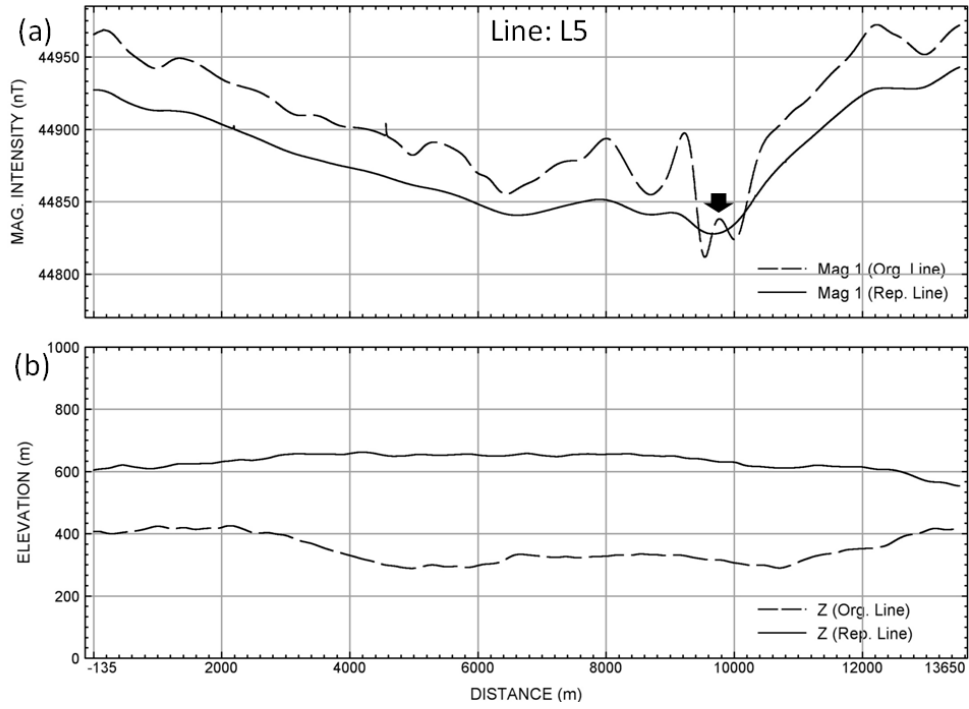


圖 4-28：測線 L5 重覆測試結果

(a)磁力紀錄；(b)飛行高度。重覆測試之飛行方向與測線飛行方向相反，且飛行高度較高。

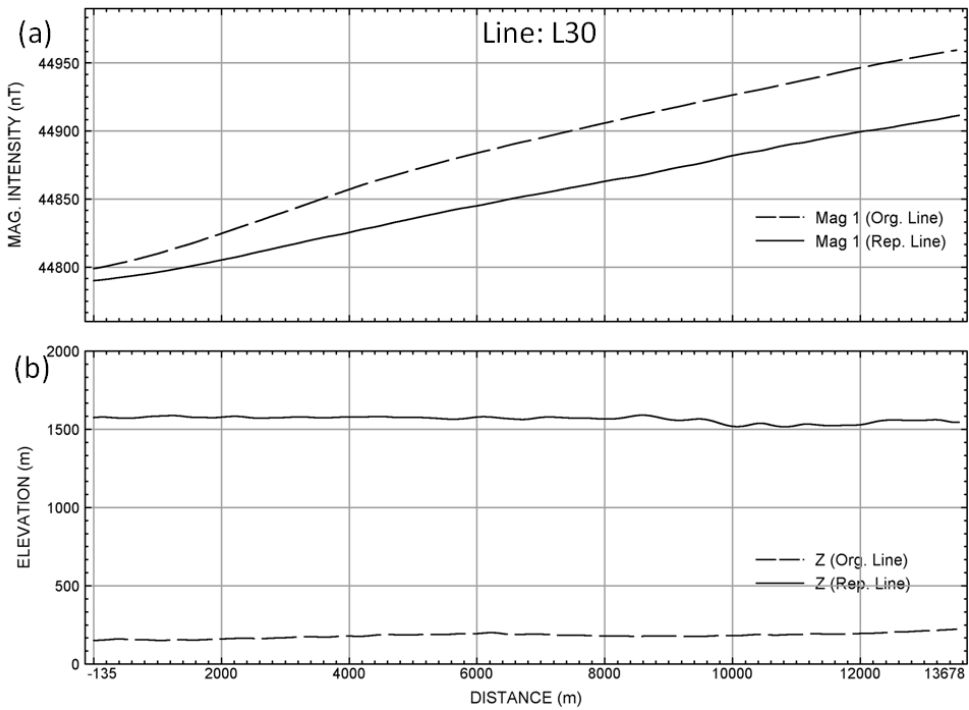


圖 4-29：測線 L30 重覆測試結果

(a)磁力紀錄；(b)飛行高度。重覆測試之飛行方向與測線飛行方向相反，且飛行高度較高。

### 4.3.3 磁力資料處理

地球磁場在地球表面不同位置具有不同的磁傾角(magnetic inclination)與磁偏角(magnetic declination)，磁力強度之高低異常特性受量測所在地之磁傾角影響，當磁傾角等於 $\pm 90$ 度或 $0$ 度時，磁力異常的高區或低區可對應地下磁體的位置，但當磁傾角介於 $\pm 90$ 度與 $0$ 度之間時，磁力異常的高區或低區，並不對應地下磁體的位置(圖 4-30)，此外在地表量測的全磁力強度，係各深度地下磁體感應磁場的總合，不容易分辨來自不同深度地層的磁力響應。

資料處理之目的在於克服前述因磁傾角與磁偏角所造成磁力異常高低區的偏移影響，適度地分離來自不同深度的磁力訊號，以便掌握區域性構造與淺部構造等特徵，是磁力構造解釋的前置作業。

#### 4.3.3.1 網格化

網格化(gridting)是磁力資料處理中最基本的步驟之一，為方便後續電腦運算處理，以規律的網格點數值來表現全區的磁力變化情形，這種計算的過程稱為網格化。常用的網格化方法包括：距離反比法(inverse distance method)、雙向法(bi-directional method)、最小曲率法(minimum curvature method)及克里格法(Kriging method)等。概要介紹如下：

##### (1) 距離反比法

適用於測點分布均勻的情況，以各網格點為中心搜尋設定範圍內的測點，並以各測點與網格點間之距離反比為加權係數，推算各網格點的數值。計算時間視測點數量、網格尺寸及所設定之搜尋範圍大小而異，是相當常用的一種網格化方法。

##### (2) 雙向法

適用於各測線相互平行的測勘型態，不同測線資料以“航線編號”(line number)加以區分，計算時只能納入相互平行的測線。沿測線及垂直測線方向各選用一種內插(interpolation)法，計算時先沿測線方向內插各網格點的數

值，再內差測線間各網格點的數值。當觀測點數量龐大時，其計算時間是所有網格化方法中最短的。

### (3) 最小曲率法

適用於測點分布均勻的情況，其計算原理有別於前述兩種使用內插的網格化方法，其基本概念是透過疊代計算，推算儘量符合各測點之量測值且最平順的曲面，再依該曲面計算各網格點數值。本方法廣泛地應用在地球科學類資料的網格化，計算所需時間約僅次於雙向法。

### (4) 克里格法

適用於不規則或網格狀分布的測點，其計算原理係以機率統計的概念，由任意兩測點間距離與量測值間的關係，以適當的變差函數(variation function)模型進行擬合，並據以計算各網格點的數值。計算時間相對較長，但對於如地球化學探勘，當測點分布不規則時，使用克里格法常能獲得相對比較合理的結果。

由於空中地球物理探測的測線係平行分布，故本計畫將採用慣用的雙向法進行網格化。網格大小通常為測線間距之 1/8 至 1/4，由於本計畫磁力紀錄品質良好，經過嘗試測試後，本計畫設定網格大小為 100×100 m 進行後續各步驟的網格化。

## 4.3.3.2 磁力資料修正

原始磁力量測數據需經一連串資料修正後，才能獲得全磁力網格(total magnetic intensity grid; TMI grid)，並據以進行後續資料處理與解釋等工作，磁力資料前處理主要包括以下項目(Luyendyk, 1997)：

### (1) 突波移除(spike removal)

突波雜訊主要導因於磁力感測器在量測過程中，因陣風或拖鳥姿態劇烈變化，導致磁力感測器劇烈震盪所致，本計畫依以下步驟移除磁力紀錄上的突波：

- (A) 剔除所有脫鎖(un-locked)的磁力紀錄，包括脫鎖紀錄之前後各一個資料點。
- (B) 搭配第 4 階差檢視磁力紀錄，剔除明顯的突波。
- (C) 以非線形濾波(non-linear filtering)法，濾除不規則的小突波。

檢視本次空中磁力紀錄，顯示絕大多數的突波訊號係因磁力感測係脫鎖造成，且均發生在測線端點，參照表 4-8 所列各測線脫鎖的紀錄點數量，佔整體紀錄之比例非常少(小於 0.06%)。測線上唯一的一個突波雜訊如圖 4-31 所示，位於測線 L5 上，由第 4 階差更容易觀察到該雜訊，推測可能因突然陣風造成拖鳥位態變化，故造成突波雜訊。

圖 4-32 為未經突波移除前，以磁力原始量測紀錄進行網格化後所獲得的全磁力異常圖，圖中箭頭所指處為因突波導致的異常高或低之異常。圖 4-33a 則為經過突波移除後，以相同繪圖參數顯示之全磁力異常圖，與圖 4-32 比較，顯示在圖 4-32 上的異常振幅已經去除，且由圖 4-33a 彩色等值圖，未發現其它顯著的異常資料。

然而，相同網格圖若以彩色陰影(color-shaded)方式顯示，則如圖 4-33b 所示，可觀察到顯著與測線方向一致的高低振幅變化，顯示經過突波移除後，雖已剔除了極端異常的不合理雜訊，但磁力紀錄內仍然含有系統性雜訊。

## (2) 基站修正(base correction)

基站修正又稱日變化修正(diurnal correction)，目的在於去除磁力探測作業期間，地球磁場的日變化效應。首先，移動式地面磁力基站的連續地磁紀錄，需先進行突波移除並濾除高頻雜訊後，始能用於後續之日變化修正。圖 4-34 為 2012 年 9 月 8 日的原始地磁紀錄及經突波移除後的紀錄，比較對應的第 4 階差，顯示經突波移除後資料品質明顯改善許多，圖 4-35 為本計畫飛行作業期間磁力基站每日的地磁紀錄。

基站修正需先經內插對應測點在地磁紀錄中相同時間的地球磁場強度，並自磁力量測紀錄中直接扣除前述內插的地球磁場強度。圖 4-36 為經基站修正後的全磁力異常圖，與修正前(圖 4-33)的全磁力異常圖相比，有些許



改變但變化不大。

(3) 國際地磁參考場移除(IGRF removal)

地球的主磁場(main field)強度隨地點不同而異，故若要凸顯測區內地層的磁性異常，需扣除區域性的主磁場強度。本計畫採用 IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy)所發佈的國際地磁參考場(International Geomagnetic Reference Field; IGRF)計算公式，先計算每一測點的理論主磁場強度後，再自量測資料中予以扣除。國際地磁參考場計算地球主磁場之公式如下：

$$V = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) p_n^m(\cos\theta) \dots\dots\dots(7)$$

式中  $V$  為地球主磁場強度， $a$  為地球平均半徑， $r$  為距地球中心之距離， $\phi$  為經度(longitude)， $\theta$  為地心餘緯度(geocentric colatitude)， $p_n^m$  為  $m$  次方  $n$  次幕之函數 Legendre function，及為高斯係數(Gauss coefficients)，而  $N$  為高斯係數展開時最大次幕數；於地球主磁場模型中，通常取  $N=10$ ，則共有 120 組高斯係數。

本計畫使用 IAGA 發佈之 2010 年 IGRF 模型，經外插推算各測點的 IGRF 值。經 IGRF 修正後的全磁力異常如圖 4-37 所示，與修正前的全磁力異常圖(圖 4-36)相比，顯示調查區的東南側變化相對比較顯著，但整體仍維持相同的異常特徵。

(4) 航向修正(heading correction)

航向修正主要目的在於修正航機在不同航向時對磁力量測的影響，本計畫擷取航向效應測試測線 L30 及 T903 (相關位置請參考圖 4-23)交點處的磁力量測紀錄，計算各磁力感測器在不同航向的修正值如表 4-11 所示。

經航向修正後的全磁力異常如圖 4-38 所示，與修正前的全磁力異常圖(圖 4-37)相比，改變並不顯著，暗示由於採用吊掛方式進行空中磁測，航機與磁力感測器間距離較大，故航機對磁力量測值的影響很小。

(5) 延遲修正(lag correction)

因衛星定位感測器與磁力感測器的位置不同，故若將磁力紀錄直接套用衛星定位座標，將沿測線方向產生延遲效應(lag effect)，因延遲效應與飛航方向有關，故常在磁力等值圖上顯現「Z」型的異常等值線。延遲修正係依據平均飛行速率，計算延遲的資料點間隔，再將磁力紀錄向該次飛航方向之相反方向，平移前述之資料點間隔。

經延遲修正後的全磁力異常如圖 4-39 所示，與修正前的全磁力異常圖(圖 4-38)相比，仍維持相同的磁力特徵，但觀察圖 4-39 黑色箭頭所指處之等值線，顯示經延遲修正後等值線相對較平滑。

#### (6) 調平(leveling)

前述 5 種磁力修正方法均有明確的修正依據，但觀察圖 4-39 仍能發現許多與測線方向平行的線形雜訊，此類雜訊主要係由於空中磁力探測是在連續變化的環境中進行資料收集，因此兩相鄰測線的磁力紀錄，往往顯現出不一致的基準(level)，而形成與測線平行的雜訊，稱為系統性雜訊(systematic noise)。消除系統性雜訊的過程稱為調平，包括：普通調平(normal leveling)及微調平(micro-leveling)兩個主要步驟。「普通調平」係透過相互垂直的檢核線，計算測線與檢核線交點處的磁力紀錄差異，據以調整各測線的磁力值，使測線與檢核線交點處的磁力紀錄差異最小化。「微調平」則主要透過方向濾波(directional filtering)，濾除沿測線方向的雜訊。

圖 4-40 所示為微調平過程中，自圖 4-39 分離出來與測線平行的雜訊，圖 4-41 為經微調平處理後的全磁力異常圖，是本計畫空中磁測之重要產出網格之一，圖 4-42 為其等值圖，由圖 4-42 顯示龜山島東南方具有顯著高磁力異常，應與火山岩分布有關，該高磁力異常分布位置，與 Hsu (1998; 圖 4-43) 及江協堂(2010; 圖 4-44)所提出的磁力異常位置一致，但本計畫所獲得的磁力異常圖之解析度明顯提高許多。但是，由於受到磁傾角與磁偏角影響，故不能將前述龜山島東南方的高磁力異常範圍，解釋為地下火山岩的分布範圍，需經後續處理才能確切地指出火山岩的空間分布。

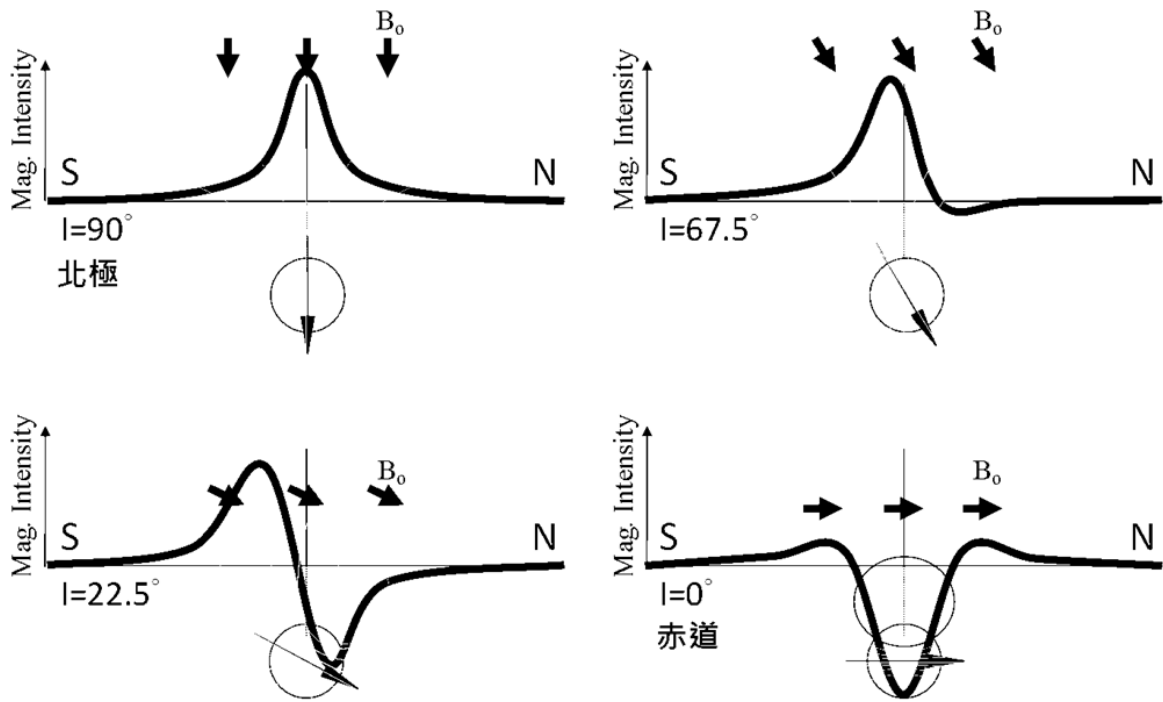


圖 4-30：全磁場強度高低異常區與磁傾角及磁體位置間關係圖  
 ( $B_0$ 代表地球主磁場及其方向； $I$ 代表磁傾角)

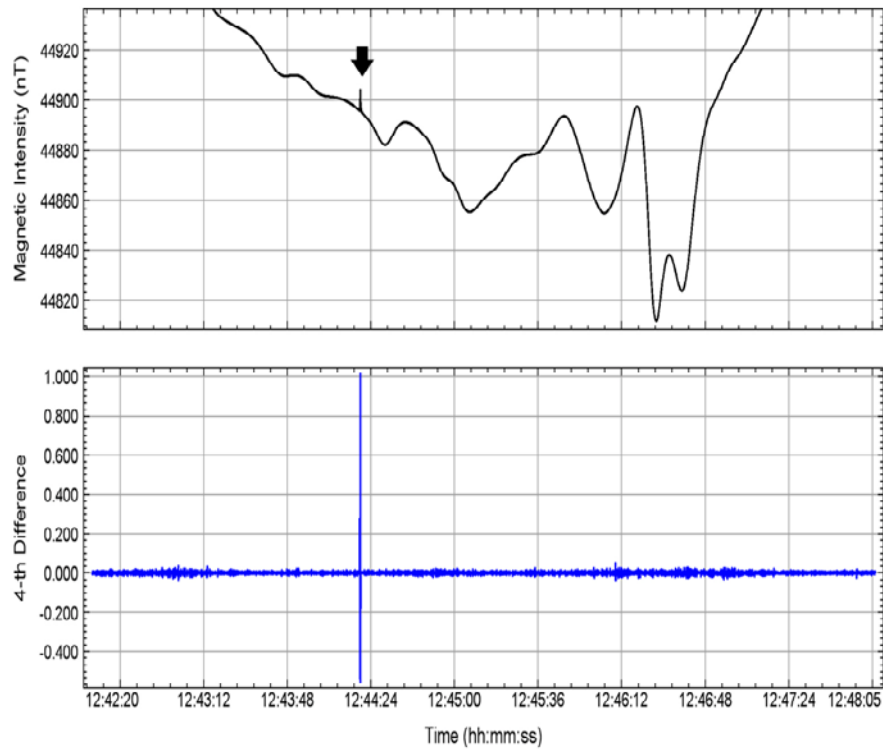


圖 4-31：測線 L5 上典型的突波磁力紀錄  
(箭頭所指為突波雜訊，上圖為原始磁力紀錄，下圖為其第 4 階差)

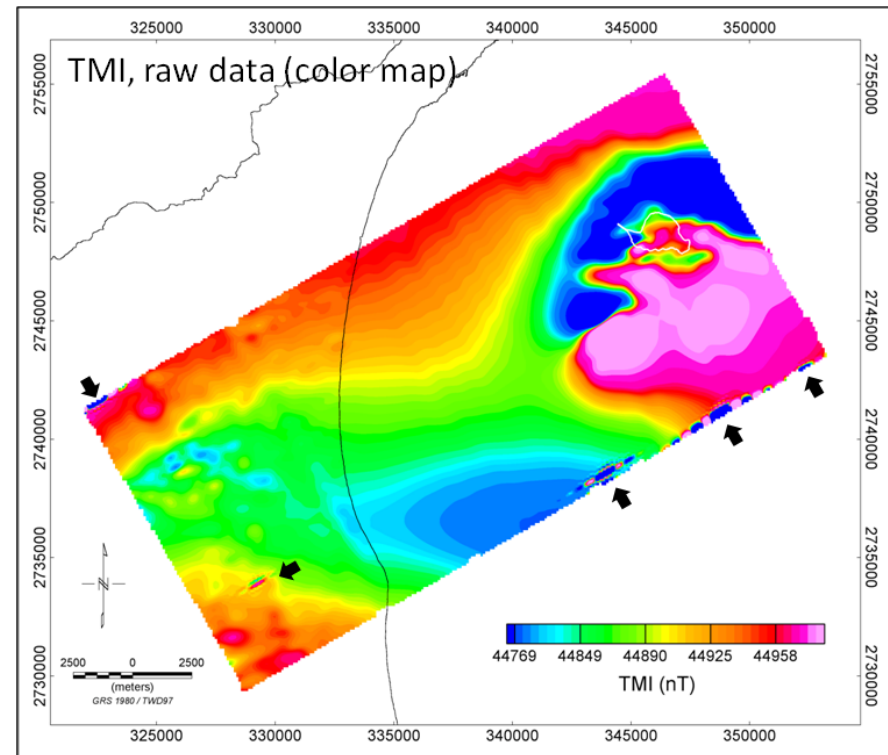


圖 4-32：原始全磁力異常圖  
(箭頭所指處反映突波造成的異常)

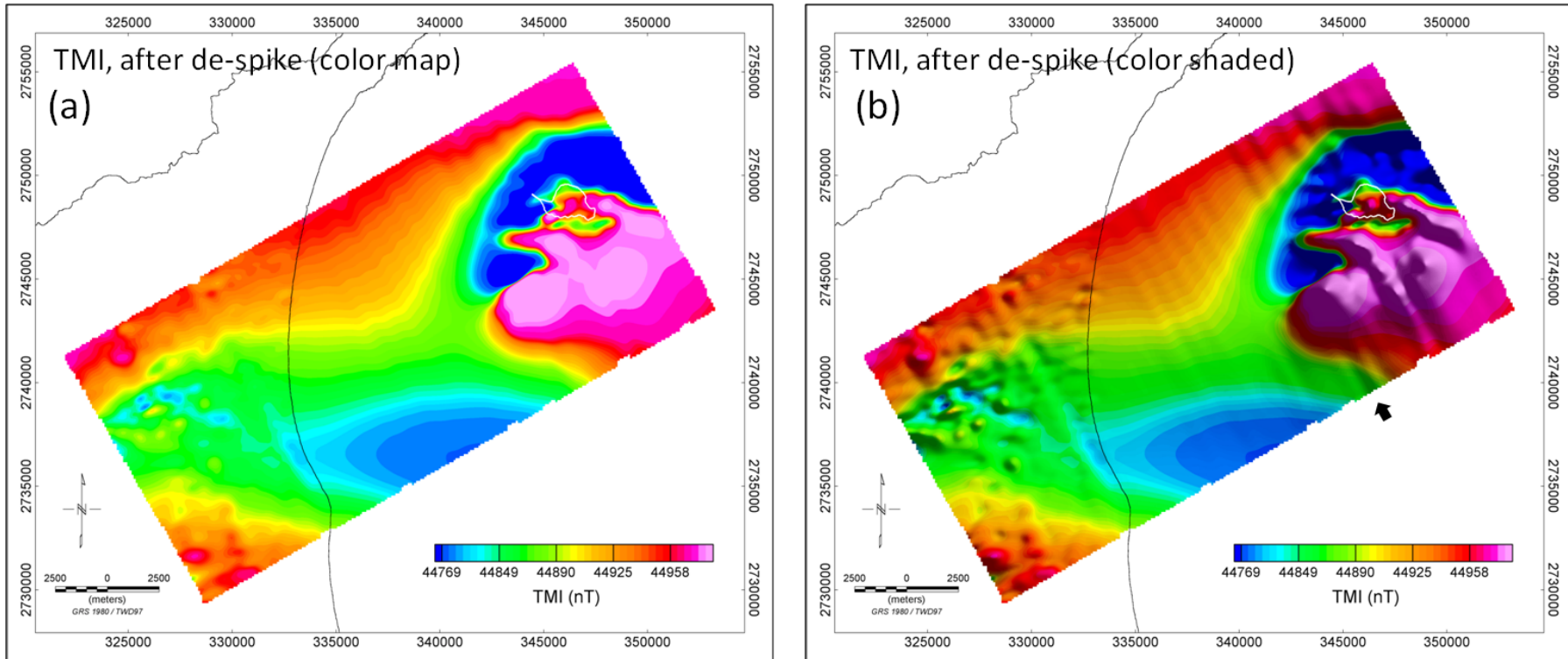


圖 4-33：經突波移除後之磁力異常圖

(a)以一般彩色等值法呈現；(b)以彩色陰影法呈現，箭頭所指處反映系統性誤差造成的條狀異常。

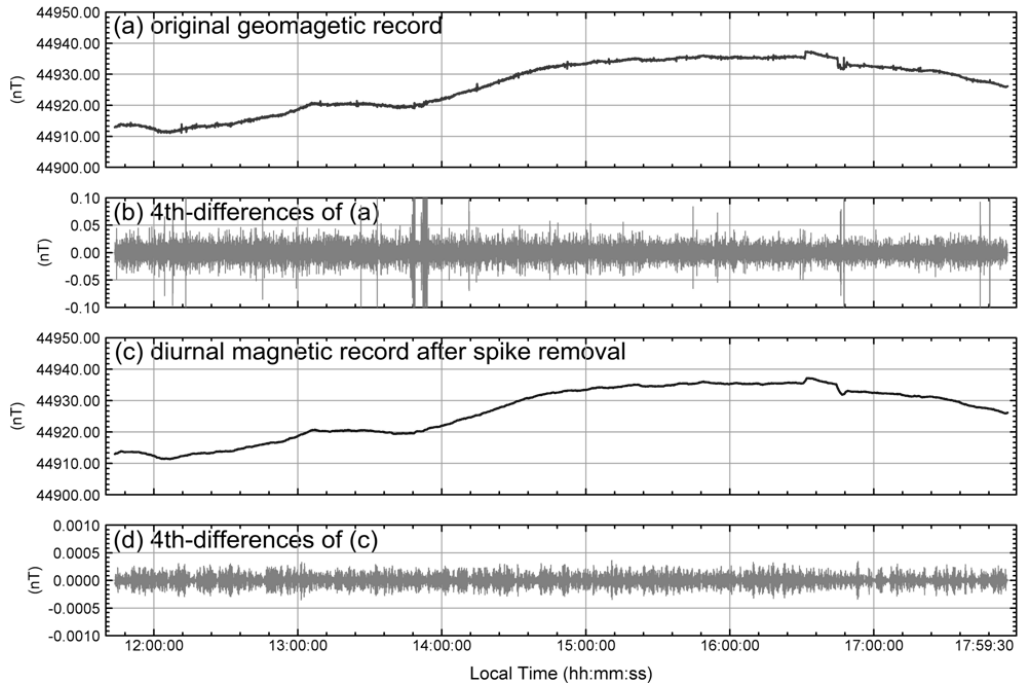


圖 4-34：2012/9/8 磁力基地原始紀錄與經突波移除後之紀錄

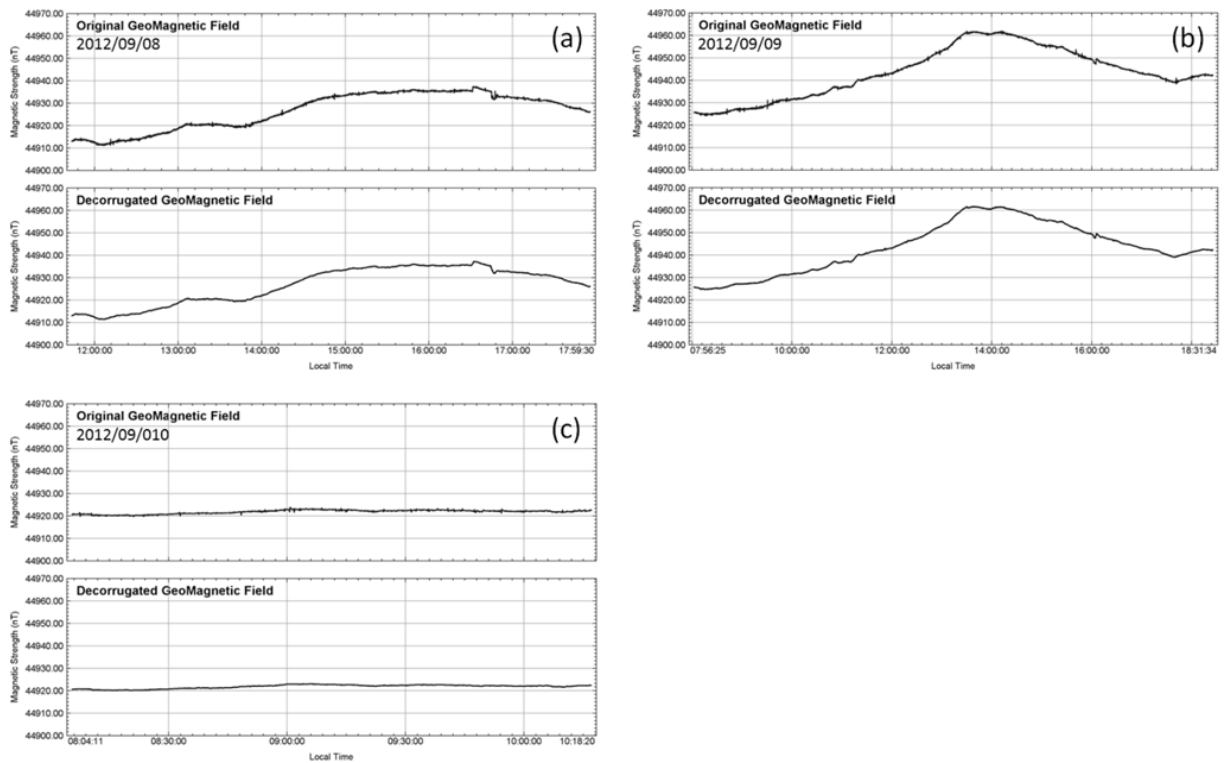


圖 4-35：磁力基地每日之地磁紀錄

(a) 2012/9/8 地磁紀錄；(b) 2012/9/9 地磁紀錄；(c) 2012/9/10 地磁紀錄；每日地磁紀錄中，上圖為原始地磁紀錄，下圖為經突波移除與低通濾波之地磁紀錄。

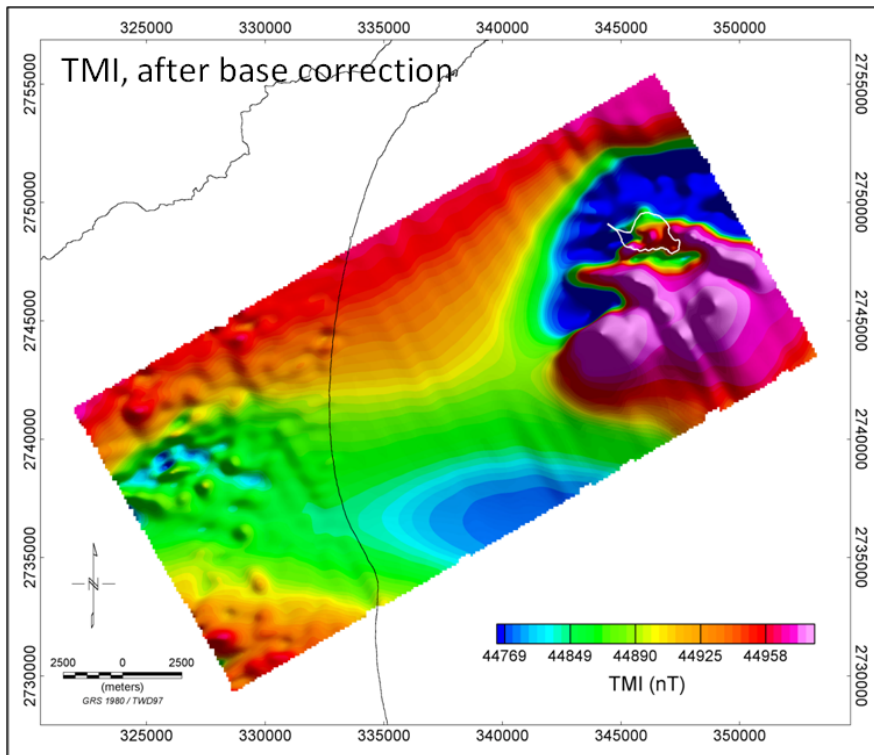


圖 4-36：經基站修正後之全磁力異常圖  
(依序經過以下修正：突波移除及基站修正)

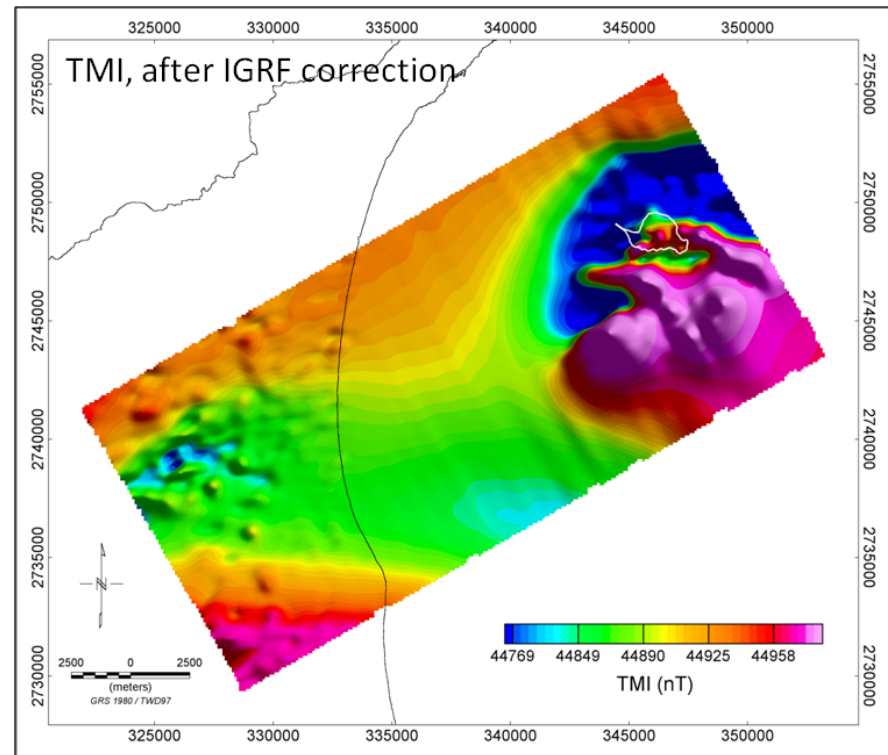


圖 4-37：經國際地磁參考場修正後之全磁力異常圖  
(依序經過以下修正：突波移除、基站修正及國際地磁參考場修正)

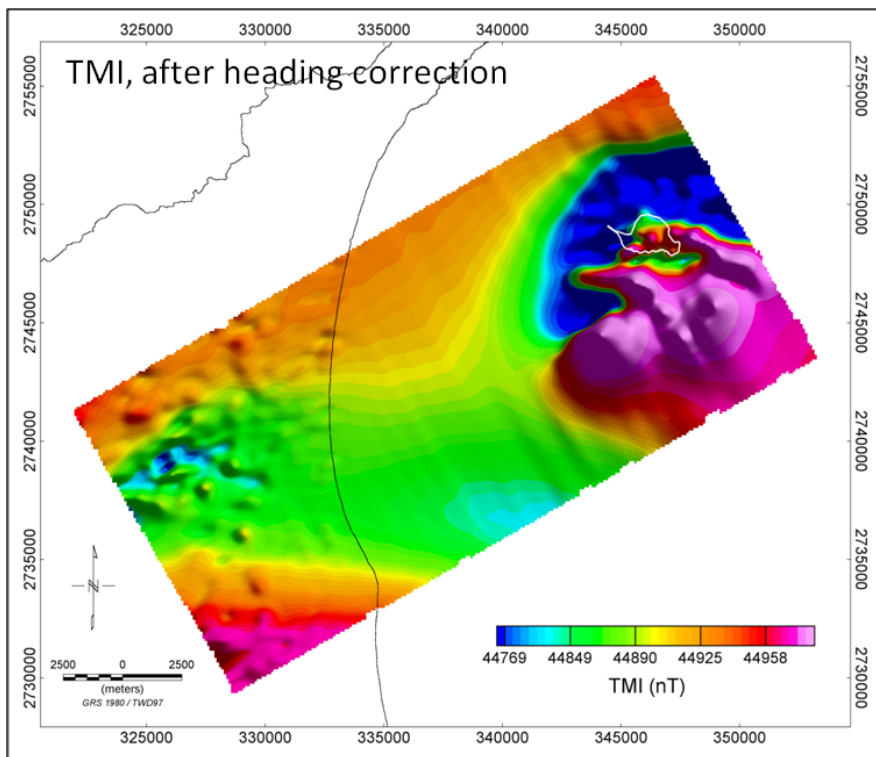


圖 4-38：經航向修正後之全磁力異常圖

(依序經過以下修正：突波移除、基站修正、國際地磁參考場修正及航向修正)

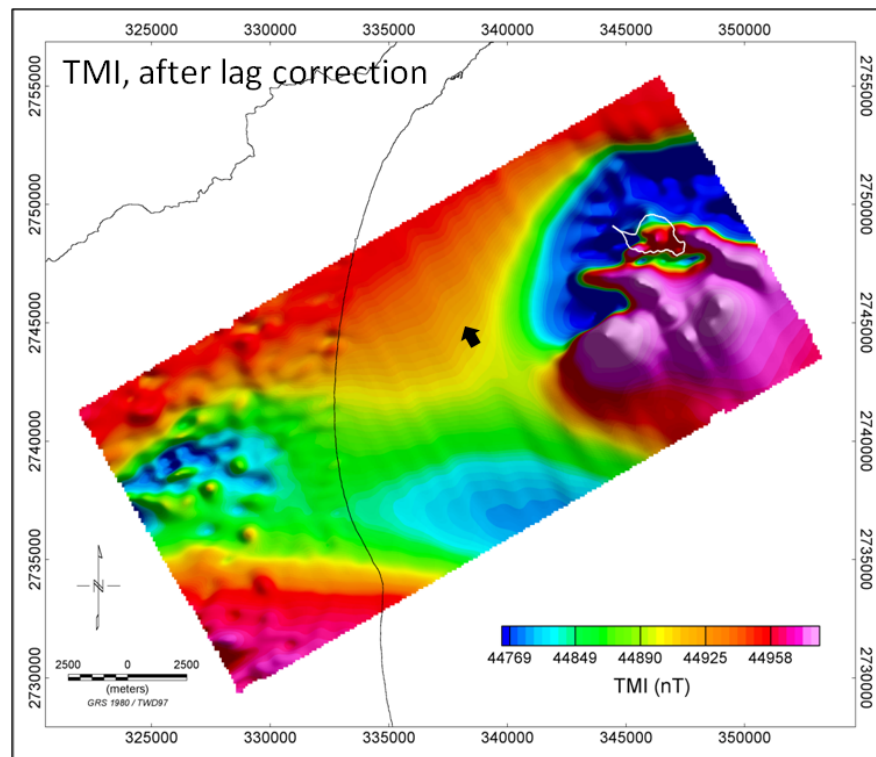


圖 4-39：經延遲修正後之全磁力異常圖

(依序經過以下修正：突波移除、基站修正、國際地磁參考場修正、航向修正及延遲修正；箭頭所指處顯示經各項修正後仍存在系統性誤差)



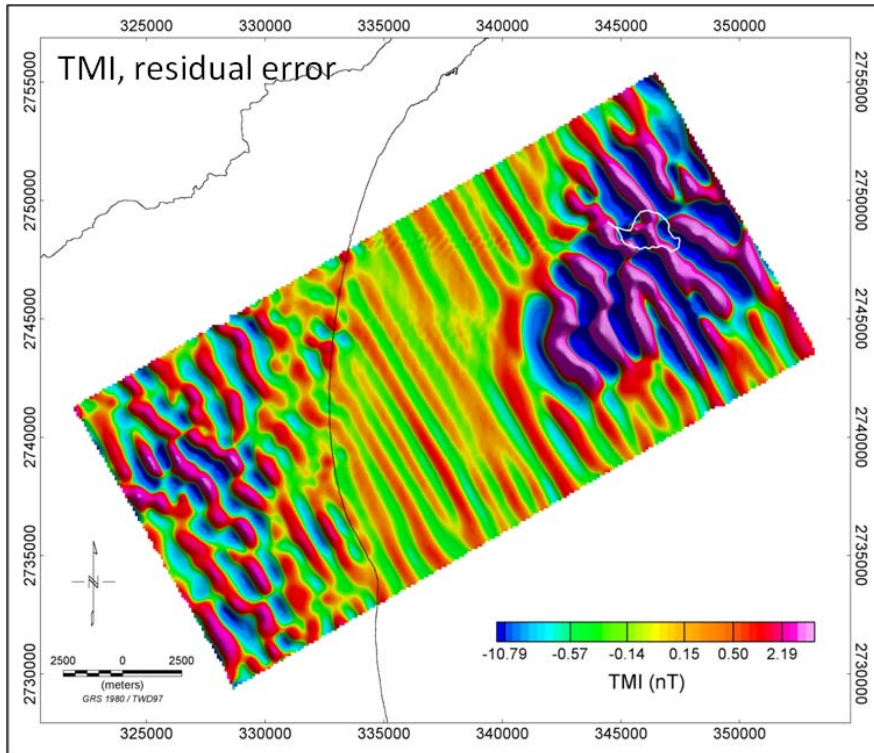


圖 4-40：系統性雜訊

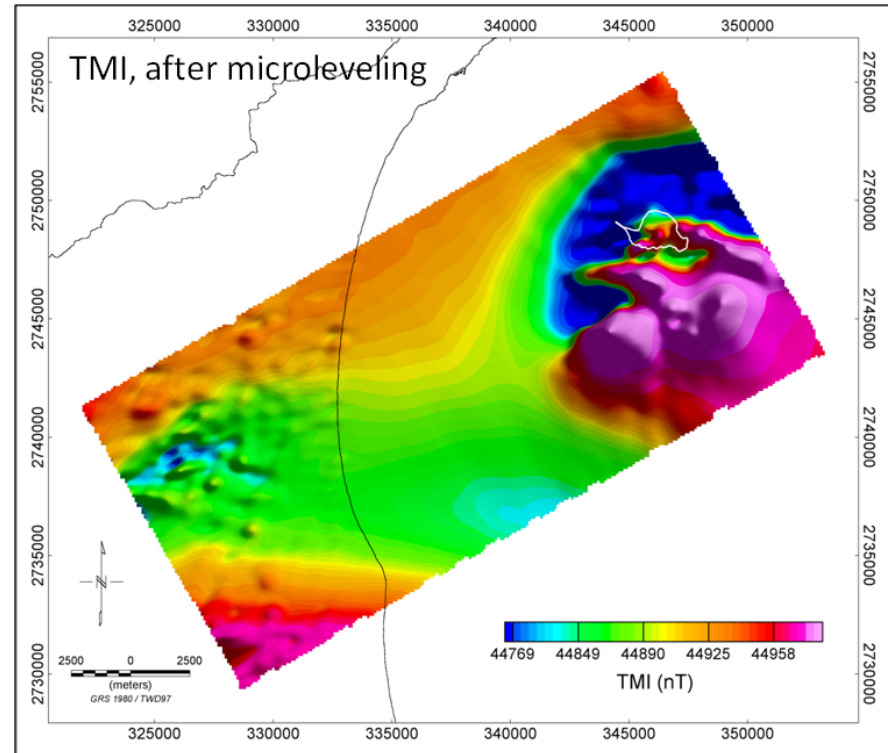


圖 4-41：經微調平後之全磁力異常圖

(依序經過以下修正：突波移除、基站修正、國際地磁參考場修正、航向修正、延遲修正及微調平修正)

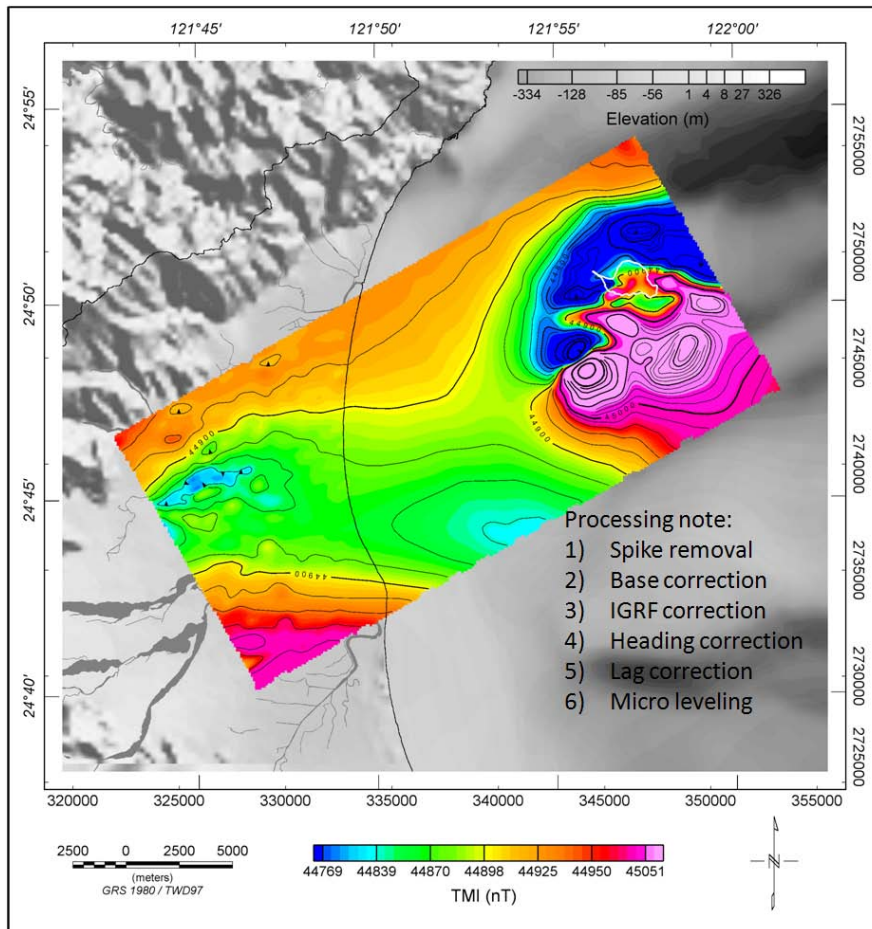


圖 4-42：本計畫研究區域全磁力異常圖

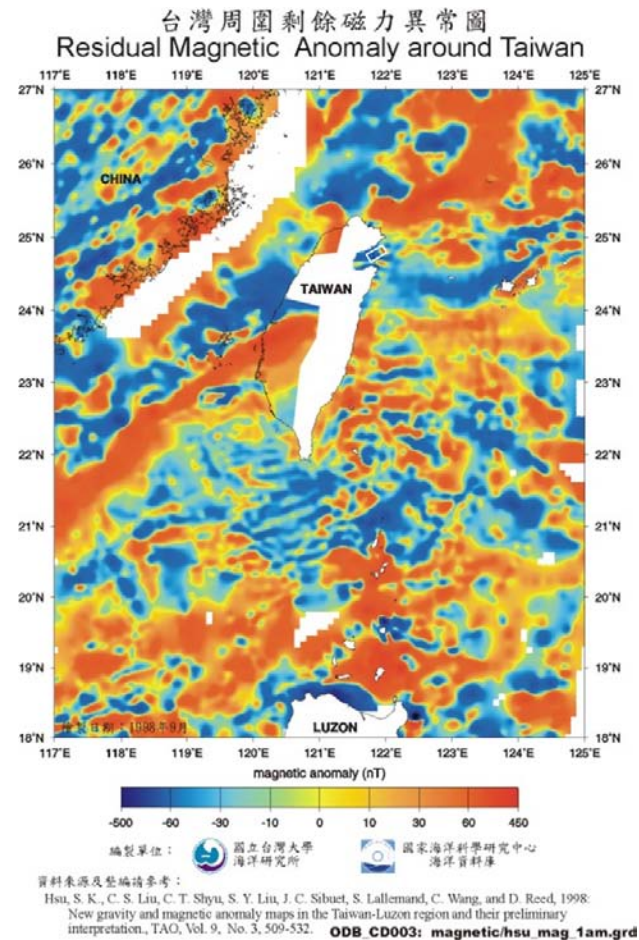


圖 4-43：Hsu et al. (1998)編修之台灣周圍剩餘磁力異常圖  
(摘自：Hsu et al., 1998；國科會海洋學門資料庫提供。白色框線為本年度計畫範圍)

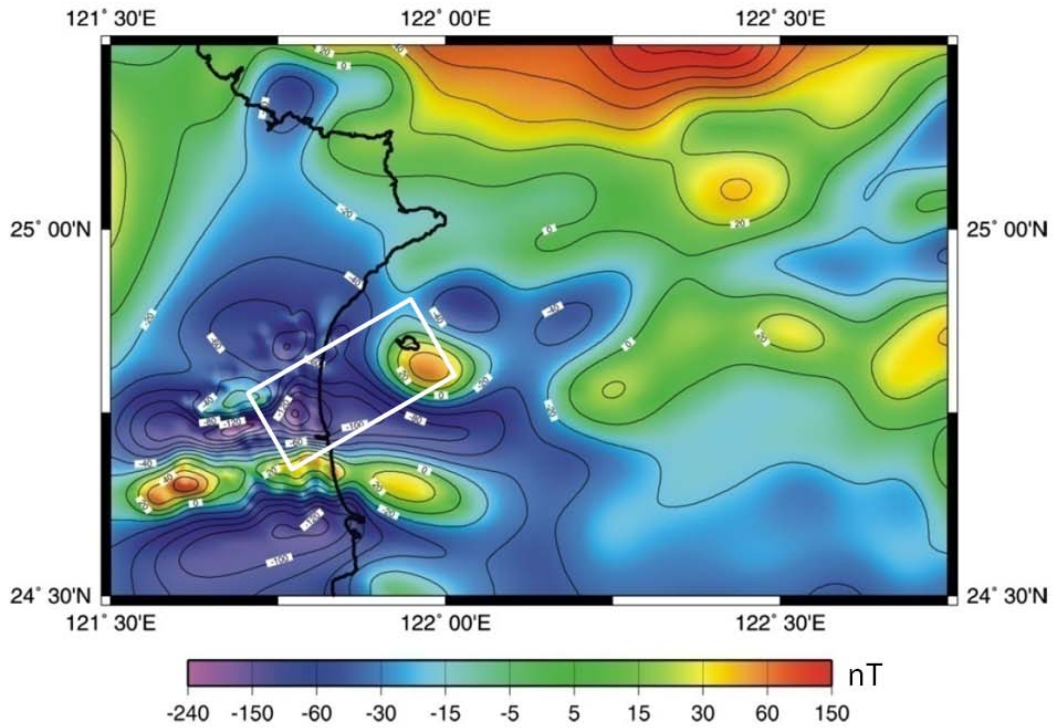


圖 4-44：江協堂(2010)編修之蘭陽平原鄰近區域剩餘磁力異常圖  
(摘自：江協堂，2010。白色框線為本年度計畫範圍)

表 4-11：三軸拖鳥各磁力感測器的航向修正量

航向 (N°E)	各磁力感測器之航向修正值(nT)		
	Mag1	Mag2	Mag3
060	0.5675	0.2512	0.4801
150	-0.0471	-0.0066	-0.1582
240	-0.2901	-0.0535	-0.3111
330	-0.2301	-0.1912	-0.0108

### 4.3.3.3 網格處理

網格處理係透過二維處理方式，強化磁力異常的影象，本計畫進行以下處理：

(1)歸極換算(reduction to the pole; RTP)、(2)濾波(filtering)、(3)向上延伸(upward continuation; UC)、與(4)微分(derivative)等，說明如下：

#### (1) 歸極換算

歸極換算之主要目的，在於將磁傾角小於 90 度區域所獲得的磁力異常圖，轉換成磁傾角等於+90 度或-90 度時的磁力異常圖。為避免當磁傾角較小或雜訊較高情況下，可能引起計算過程之不穩定，本報告採用 MacLeod et al. (1993)所提出的換算公式進行計算，如下：

$$L(\theta) = \frac{[\sin(I) - i \cos(I) \cdot \cos(D - \theta)]^2}{[\sin^2(Ia) + \cos^2(Ia) \cdot \cos^2(D - \theta)] \cdot [\sin^2(I) + \cos^2(I) \cdot \cos^2(D - \theta)]} \dots\dots\dots(8)$$

上式中  $\theta$  為波數域極座標之方位角， $I$  為測區主磁場之磁傾角， $D$  為測區主磁場之磁偏角， $Ia$  為使用者設定的擬似磁傾角(pseudo-inclination)，通常介於  $\pm 20$  度，用以提高計算結果的穩定性。本計畫以調查範圍內各測點的理論平均磁傾角(36.2 度)及平均磁偏角(-3.9 度)，輸入公式 8 用以進行歸極換算處理。

#### (2) 濾波

訊號與雜訊通常具有不同的波長(wave length)，在空間域(space domain)裡因各種波長的訊號及雜訊混雜在一起，故並不容易在空間域中直接將不同波長的訊號加以分離。若先將空間域的序列(series)，經快速傅氏變換(Fast Fourier Transformation, FFT)至波數域(wavenumber domain)後，則在波數域可以直接對特定波長進行刪除或保留，再經逆快速傅氏變換(Inverse Fast Fourier transformation, IFFT)回空間域，則能達到濾除或保留特定波長訊號之目的。

假設空間域內一離散(discrete)序列  $X$  共有  $N$  個取樣點，依快速傅氏變換公式 9 可將其變換至波數域  $x$ ：

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{\frac{2\pi i}{N} kn} \dots\dots\dots(9)$$

其中， $N$  為總取樣點數， $k$  為波數。在波數域裡藉由一個反應函數(L; response function)，與  $x$  相乘以達到濾波之目的，如下：

$$X' = X \cdot L \dots\dots\dots (10)$$

依濾波目的差異，常用的濾波器(filter)包括：低通濾波(low-pass filtering)、高通濾波(high-pass filtering)與帶通濾波(band-pass filtering)，其對應典型的反應函數如圖 4-45 所示，圖中  $W_C$  為低通濾波與高通濾波的截切波數(cut-off wave number)， $W_1, W_2$  則為帶通濾波的低切與高切波數。低通濾波器保留波數小於  $W_C$  的訊號，低通濾波器保留波數大於  $W_C$  的訊號，帶通濾波器則保留波數介於  $W_1$  與  $W_2$  的訊號。 $X'$  再經逆快速傅氏變換公式 11，可變換回空間域  $x'$ ：

$$x'_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X'_k e^{\frac{2\pi i}{N} kn} \dots\dots\dots (11)$$

濾波處理有兩個主要目的：(a)濾除雜訊(noise)提高信噪比(S/N ratio)、(b)分離深部與淺部磁力異常。雜訊濾除通常於資料前處理過程中使用，應用高通濾器並設定較高的截切波數，以達到濾除高頻雜訊之目的。進行資料解釋之處理時，則主要透過設定適當的截切波數，將磁力異常圖分離為區域磁力異常(regional magnetic anomaly)與剩餘磁力異常(residual magnetic anomaly)；區域磁力異常用以反映較深的構造，剩餘磁力異常則用以反映相對較淺的構造，前述之「深」、「淺」並無確切之定義，與所採用截切波數(或習慣稱：截切波長)之長短有關。一般而言，若截切波數之對應波長為 1 公里，則經低通濾波處理後之區域磁力異常圖，視為反映深度約 0.25–0.5 公里以下之構造，經高通濾波處理後之剩餘磁力異常圖，視為反映深度 0.25–0.5 公里以上之構造。

### (3) 向上延伸

向上延伸(簡稱：UC)的功能在於透過解迴旋(convolution)運算，將磁力量測基準面向上提升至某特定高度。二維向上延伸可以透過快速傅氏變換達成，在波數域向上延伸的反應函數如下所示：



$$L(k) = e^{-2\pi kh} \dots\dots\dots (12)$$

上式中  $k$  為波數， $h$  為欲延伸的高度。如同前述濾波處理，在波數域與反應函數作用後，再以逆快速傅氏變換轉回空間域。相由於基準面高度提高，量測點與地下磁體間的距離加大，故磁力異常較不受淺部局部磁體影響，而能反映出大區域的構造形貌。

#### (4) 微分

微分處理可以使細微的變化更顯著，故透過微分處理可以加強地下磁體邊界的對比(Bruno et al., 2004)，使地下磁體的邊界更易於辨認；垂直微分(Vertical Derivative; *VDR*)、全水平微分(Total Horizontal Derivative; *THDR*)、傾角微分(Tilt Derivative; *TDR*)、解析訊號(*Analytic Signal*; *AS*)等是較常使用的方法。所使用公式如下：

$$VDR = \frac{\partial T}{\partial z} \dots\dots\dots (13)$$

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \dots\dots\dots (14)$$

$$TDR = \tan^{-1} \left[ \frac{VDR}{THDR} \right] \dots\dots\dots (15)$$

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \dots\dots\dots (16)$$

其中  $T$  代表磁力強度。上述微分處理方法中，一次垂直微分(1<sup>st</sup> vertical derivative; *IVD*)，*TDR*及*AS*常用於輔助解釋地下磁體分布與特徵。

#### 4.3.3.4 磁力異常圖

依前節所述網格處理，本計畫產出之主要磁力異常圖如圖 4-46 至圖 4-52 所示，說明如下：

##### (1) 全磁力強度異常圖

圖 4-46 係圖 4-42 經歸極換算後之磁力異常圖，圖上高磁力異常可用以

定性地解釋地下磁體的分布，顯示龜山島四週為高磁力異常。

## (2) 區域磁力異常圖

區域磁力異常用以反映相對深層的磁力特性，通常將 TMI 網格透過低通濾波或向上延伸後獲得。圖 4-47 為以截切波長等於 5000 m 對圖 4-42 進行低通濾波後，再經歸極換算後獲得的磁力異常圖；圖 4-48 為以延伸高度為 1000 m 對圖 4-42 進行向上延伸後，再經歸極換算後獲得的磁力異常圖。圖 4-47 及圖 4-48 均顯現龜山島及蘭陽溪出海口附近為磁力高區。

## (3) 剩餘磁力異常圖

剩餘磁力異常用以反映相對淺層的磁力特性，通常將 TMI 網格透過高通濾波、扣除區域趨勢面(regional trend)或扣除向上延伸磁力異常圖等方式獲得。圖 4-49 為以截切波長等於 5000 m 對圖 4-42 進行高通濾波，再經歸極換算後獲得的磁力異常圖。將圖 4-42 扣除延伸高度等於 250 m 的磁力異常後，再經歸極換算後獲得如圖 4-50 的磁力異常圖。圖 4-49 及圖 4-50 在龜山島附近，均顯現出東南東—西北西方向的線型。

## (4) 微分磁力異常圖

磁力異常經微分處理後能強化磁力特徵，用於輔助磁力構造解釋。圖 4-51 為圖 4-46 經一次垂直微分後獲得的磁力異常圖，用以凸顯地層構造。圖 4-52 為圖 4-46 經傾角微分後的磁力異常圖，圖中虛線代表角度等於 0 度的等值線，通常用來輔助解釋磁體的邊界。

### 4.3.3.5 磁力異常圖幅製作

參考國外相關磁力異常圖幅配置與本計畫需求，本計畫之圖幅版面設計如圖 4-53 所示。圖幅版面主要分為左、右兩區，左側版面範圍較大，用以展示主題圖，右側版面則用以展示相關圖說及比例尺等資訊，包括以下內容：

- (1) 圖名。
- (2) 施測參數。



- (A) 調查區域。
  - (B) 施測單位。
  - (C) 施測期間。
  - (D) 計畫代號。
  - (E) 飛行載具。
  - (F) 測線間距。
  - (G) 檢核線間距。
  - (H) 測線方位。
  - (I) 檢核線方位。
  - (J) 離地高度。
- (3) 使用設備。
- (A) 磁力儀型號。
  - (B) 解析度。
  - (C) 取樣頻率。
  - (D) 取樣間格。
  - (E) 衛星定位系統。
  - (F) 導航系統。
  - (G) 磁力基站。
- (4) 圖幅座標系統。
- (A) 參考橢球體。
  - (B) 投影方法。
- (5) 資料處理步驟。

說明主題圖檔產生過程中所採用的資料處理步驟，以產製經歸極換算之磁力異常圖為例，其經過的處理步驟如下：

- (A) 突波移除。
- (B) 基站修正。
- (C) IGRF 修正。

- (D) 航向修正。
  - (E) 延遲修正。
  - (F) 微調平修正。
  - (G) 歸極換算處理。
- (6) 彩色圖例。
- (7) 比例尺及坐標系統。

本計畫共完成 4 幅十萬分之一圖幅，縮圖列於附錄 7.8，為方便後續磁力資料解釋，並以 300 dpi 產出 Arcview TIFF 格式圖檔，採用 GRS80/TWD97 座標系統，故可以載入各類地理資訊軟體使用。

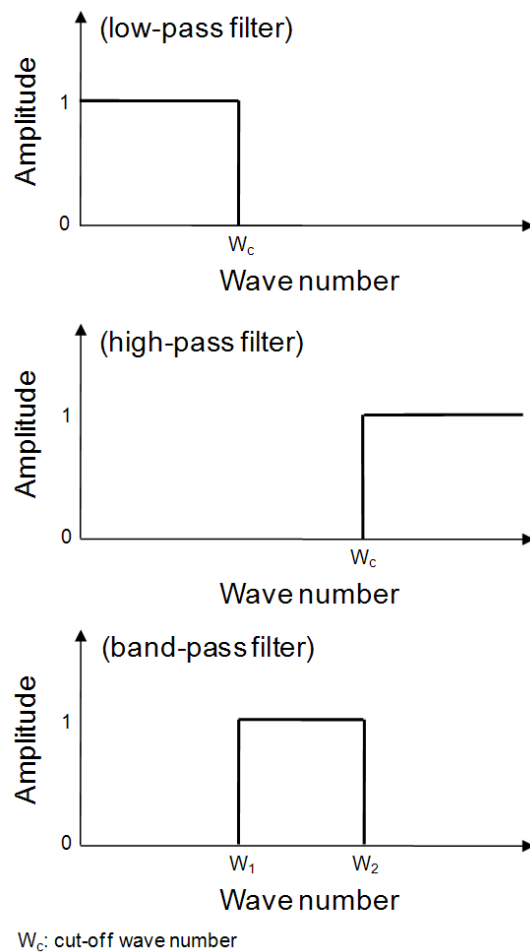


圖 4-45：常用濾波器之反應函數

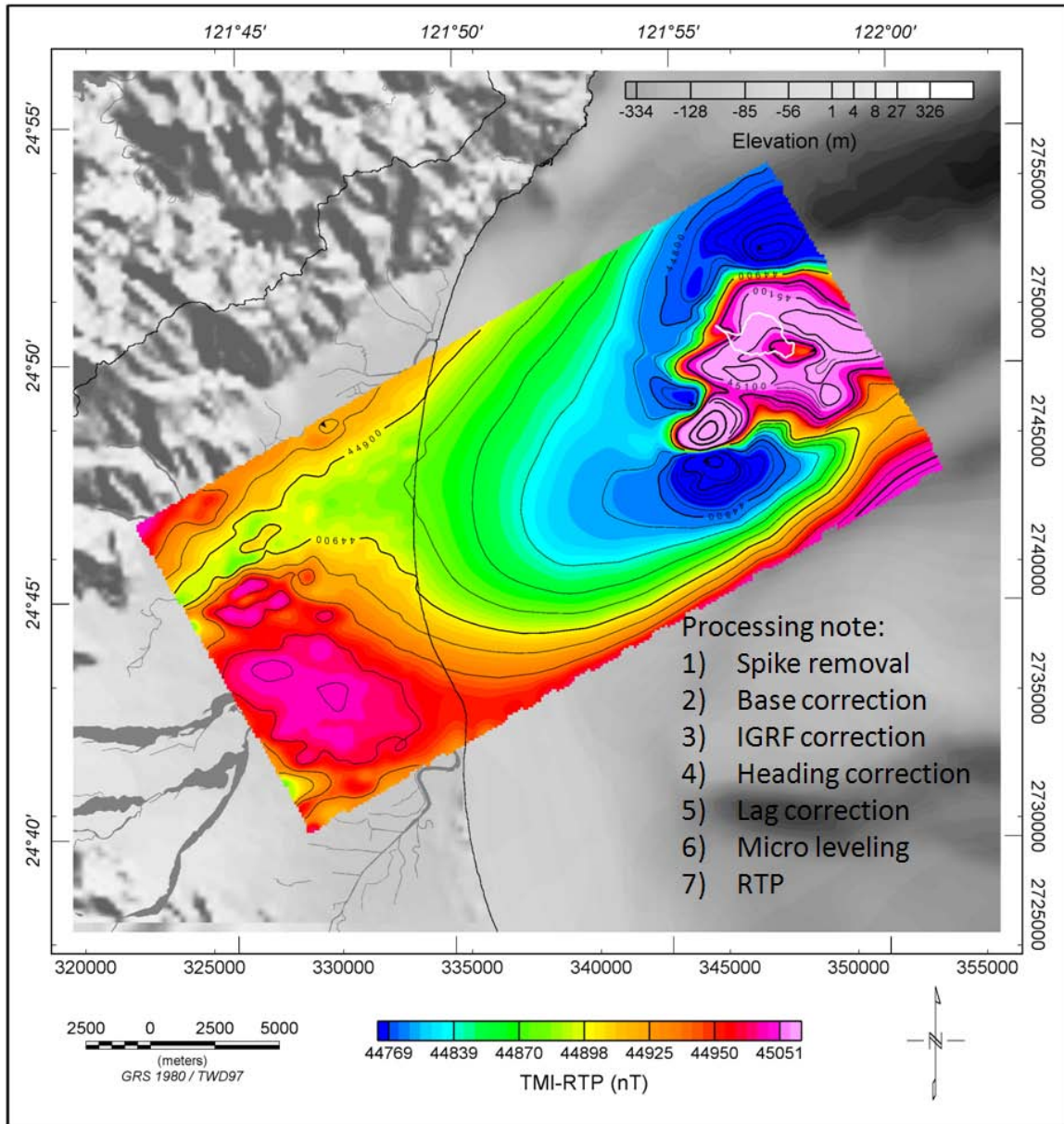


圖 4-46：經歸極換算處理後之全磁力異常圖

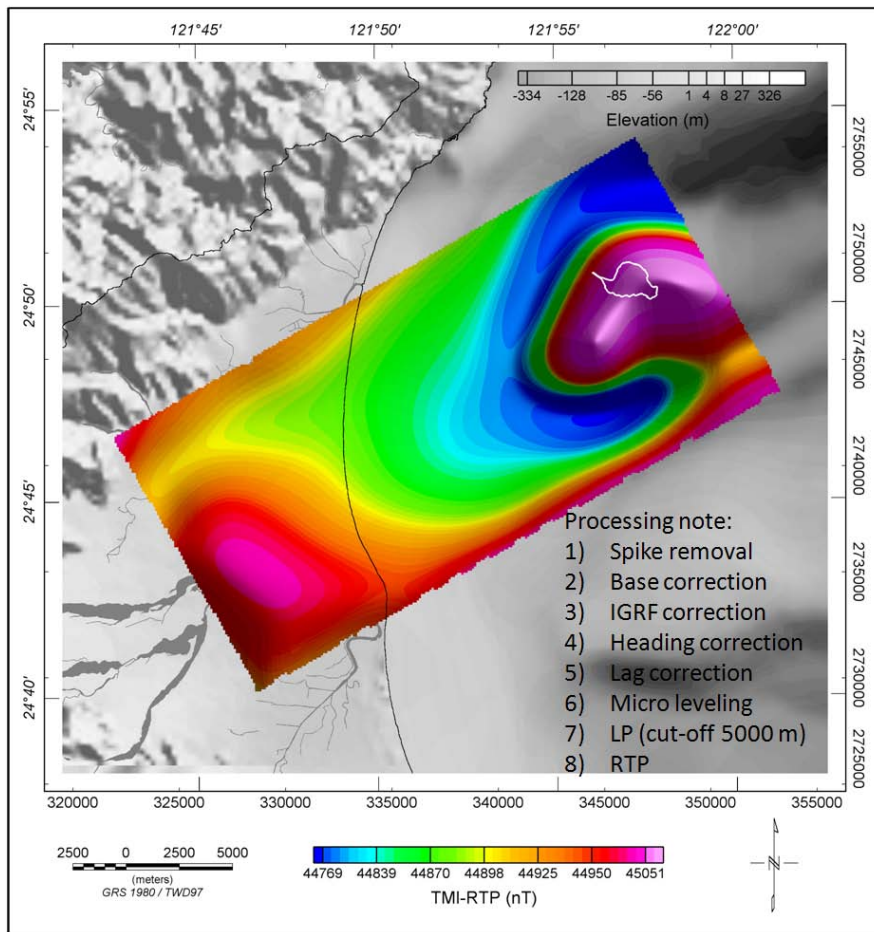


圖 4-47：經低通濾波及歸極換算處理後之區域磁力異常圖  
(截切波長為 5000 m)

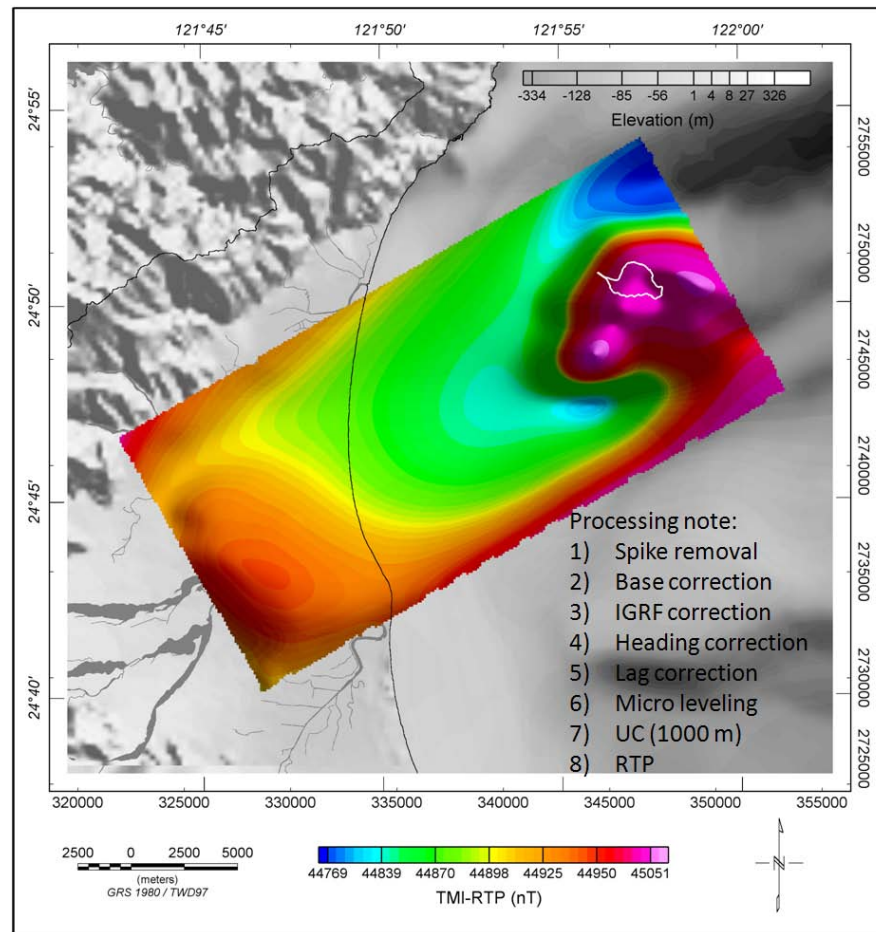


圖 4-48：經向上延伸及歸極換算處理後之區域磁力異常圖  
(延伸高度為 1000 m)

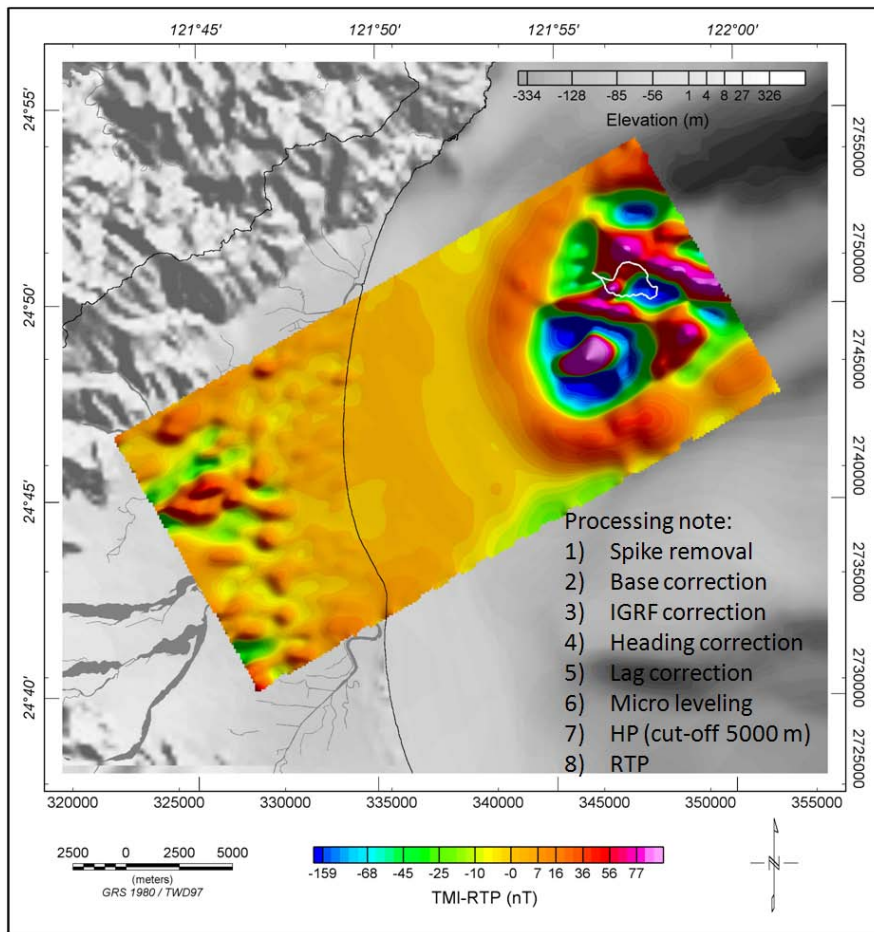


圖 4-49：經高通濾波及歸極換算處理後之剩餘磁力異常圖  
(截切波長為 5000 m)

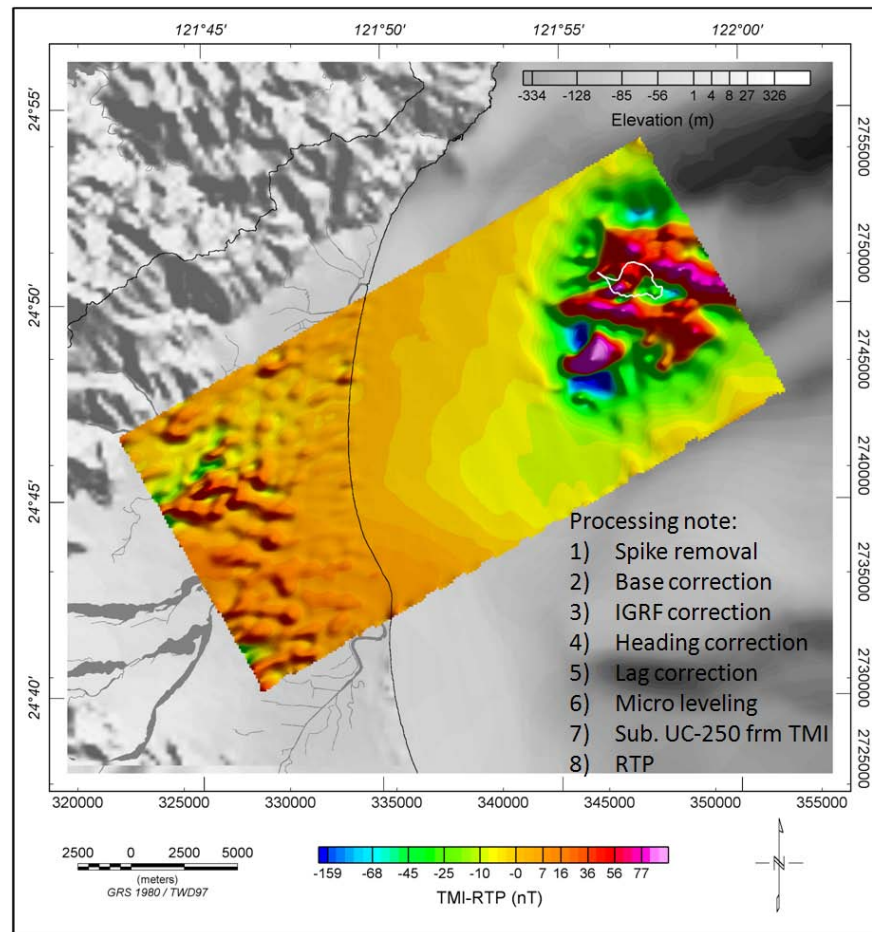


圖 4-50：扣除向上延伸磁力值後之剩餘磁力異常圖  
(TMI 網格扣除向上延伸 250 m 之 TMI 網格後獲得)



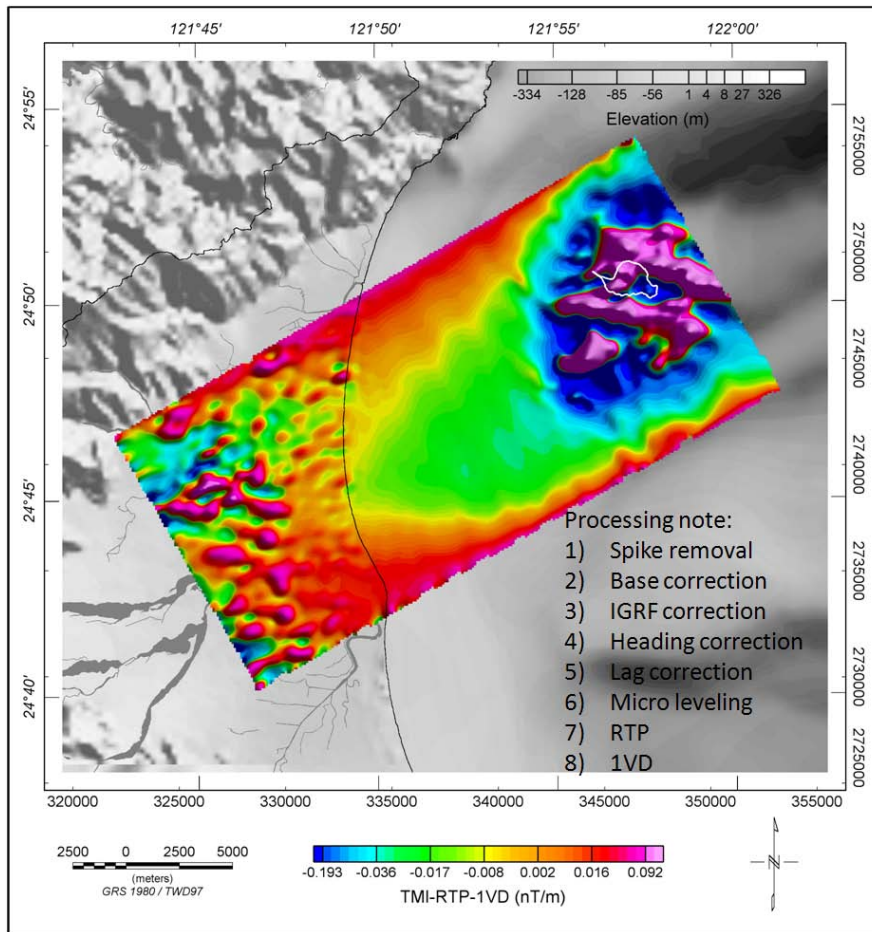


圖 4-51：經一次垂直微分及歸極換算處理後之磁力異常圖

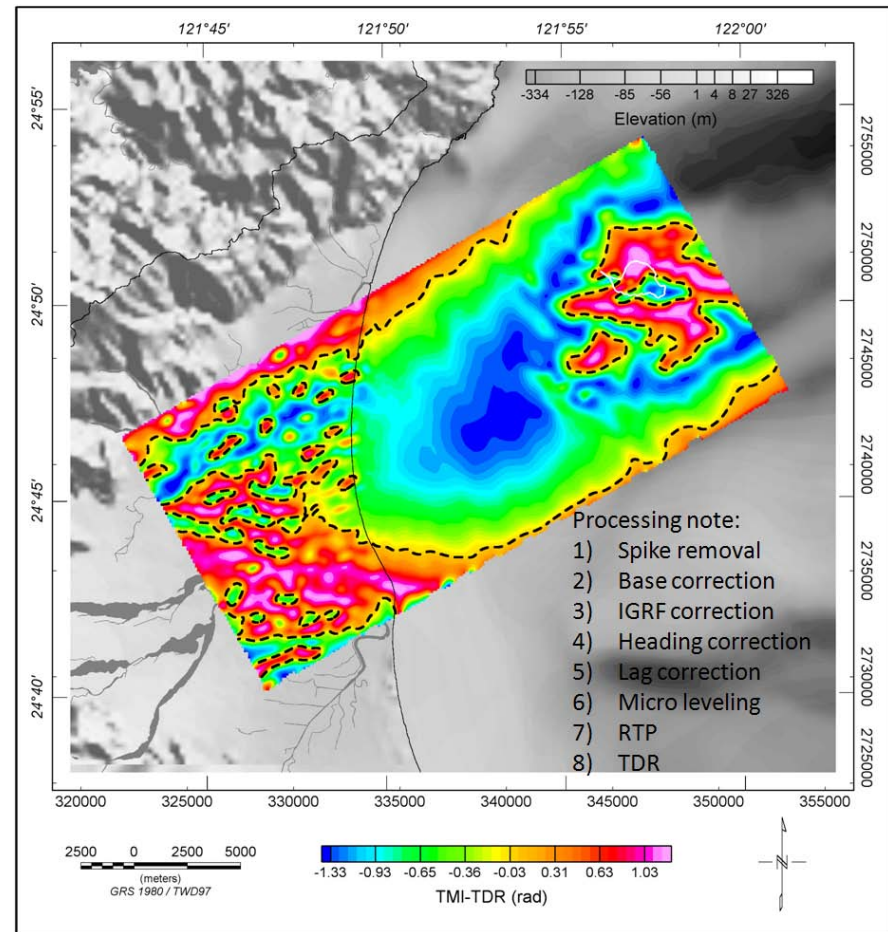


圖 4-52：經傾角微分處理後之磁力異常圖  
(黑色虛線為角度等於零之等值線，反映地下磁體邊界)

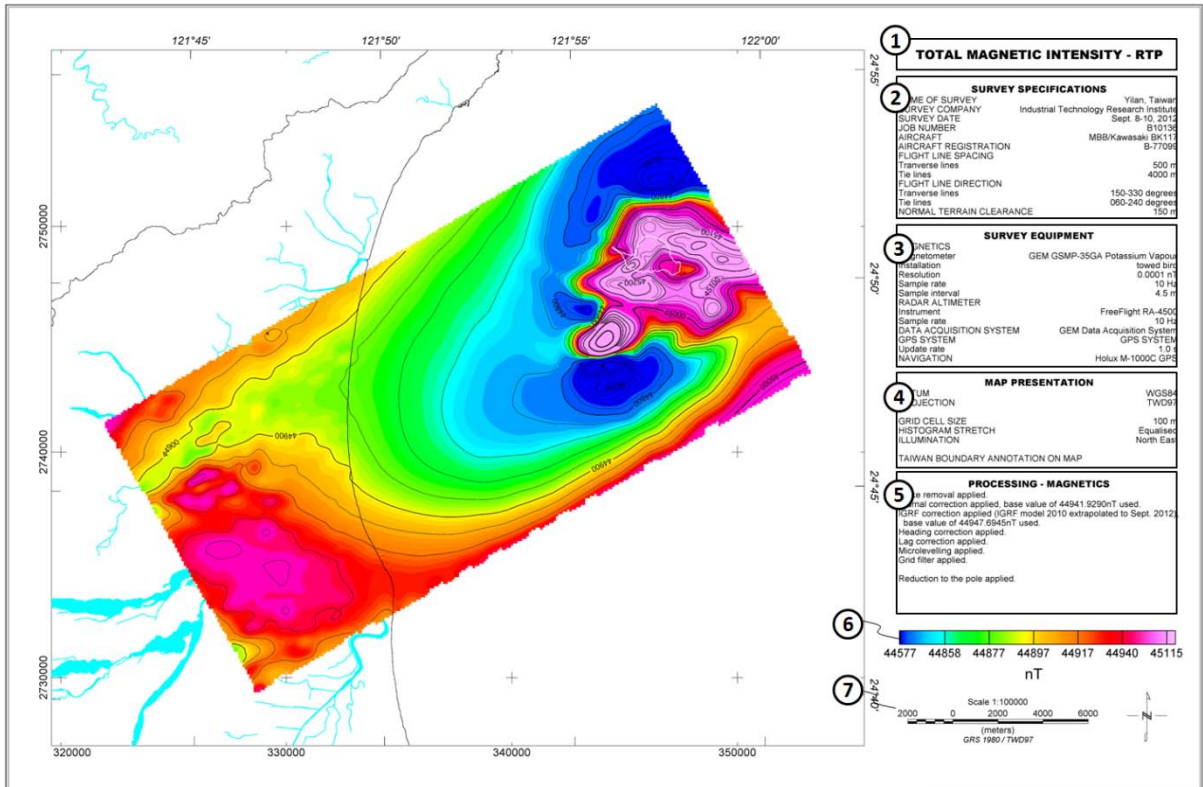


圖 4-53：磁力異常圖幅版面設計示意圖

### 4.3.3.6 三維逆推

#### (1) 逆推原理

在地表所量測的磁力值，是地下各不同深度磁體的磁力總合，故在地表量測到的磁力值是地下磁體之深度與磁感率的函數。逆推(inversion)技術係依據地表量測之磁力值，反推地下磁體的空間分布及其磁感率。

假設在地表有  $M$  個磁力量測值，以  $B$  表示觀測矩陣，如下：

$$B = [b_1, b_2, \dots, b_M] \dots \dots \dots (17)$$

其中  $b_i$  代表第  $i$  個觀測值，假設此  $M$  個磁力量測值可以地下  $N$  個磁體來匹配，令  $G$  與  $S$  分別代表地下磁體的幾何(geometry)參數與磁感率，令此  $N$  個磁體包含了  $N_g$  個幾何參數與  $N_s$  個磁感率，以  $X$  表示模型參數矩陣，如下：

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_{N_g+N_s}] = [g_1, g_2, \dots, g_{N_g}, s_1, s_2, \dots, s_{N_s}] \dots \dots \dots (18)$$

$$G = [g_1, g_2, \dots, g_{N_g}] \dots \dots \dots (19)$$



$$S = [s_1, s_2, \dots, s_{Ns}] \dots\dots\dots(20)$$

$g_i$ 與 $s_i$ 代表第 $i$ 個磁體的幾何參數與磁感率，令 $T$ 代表量測磁力值與模型參數(model parameter)間的數學函數關係，如下：

$$B = T(G, S) \dots\dots\dots(21)$$

公式 21 是一非線性函數，為使問題簡單化，以線性化處理公式 21 可寫成一個包含 $Ng + Ns$ 個未知參數的 $M$ 組聯立方程式，以矩陣方程式表示如下：

$$Error = (B - T) = AdX \dots\dots\dots(22)$$

上式 $(B-T)$ 稱為誤差矩陣(error matrix)， $dX$ 代表參數改進矩陣(parameter improvement matrix)， $A$ 稱為雅氏式矩陣(Jacobian matrix)，為一 $M \times (Ng + Ns)$ 的矩陣，代表磁力理論值 $T$ 對模型參數 $X$ 的偏微分，定義如下：

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,Ng+Ns} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{M,1} & \dots & a_{M,Ng+Ns} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(23)$$

$$a_{i,j} = \frac{\partial T_i}{\partial X_j} \dots\dots\dots(24)$$

由於公式 22 具有非唯一解的特性，故可透過最小二乘法(least square method)或馬魁達法(Marquardt method)等方法求解 $dX$ ，並以疊代(iteration)方式求得收斂後的模型參數。

二維逆推(2D inversion)與三維逆推(3D inversion)因維度不同，故在模型參數的設定上有所差異。二維逆推因將地質構造簡化為二維構造，故求解過程相對單純，通常可同時求解磁體的幾何參數與磁感率。進行三維逆推時，慣常先將地下地層劃分為規律的立體網格，藉以固定幾何參數(Denisso et al., 2009; Dutra and Marangoni, 2009)，於求解公式 22 過程中，解算各立體網格對應的磁感率，並依據磁感率的空間分布進行解釋。

## (2) 三維逆推處理

本計畫以圖 4-42 之原始全磁力異常圖作為三維逆推之觀測網格(observe grid; 圖 4-54)，共有 10,501 個量測值。由於觀測網格的格點大小為 100 m，

為方便計算，故本計畫在設計磁感率模型時，將研究範圍內，東西、南北及垂直等方向的網格間距均設為 250 m，包括向外延伸的網格，總計 2,186,250 個網格。經過 309 次疊代後，均方根誤差由起始的 221.6 nT 降至 17.6 nT (圖 4-55)，獲得的地下磁感率模型(magnetic susceptibility model)如圖 4-56 所示。圖 4-57 為依據圖 4-56 重新計算的理論全磁力異常圖，圖 4-58 代表圖 4-57 與圖 4-42 間的誤差網格。比較圖 4-54、圖 4-57 及圖 4-58，平均誤差為 0.07%，觀測網格與理論網格間的差異很小，主要誤差集中在龜山島鄰近地區，顯示經三維逆推獲得的地下磁感率模型(圖 4-56)，可用以反映地下磁性構造。

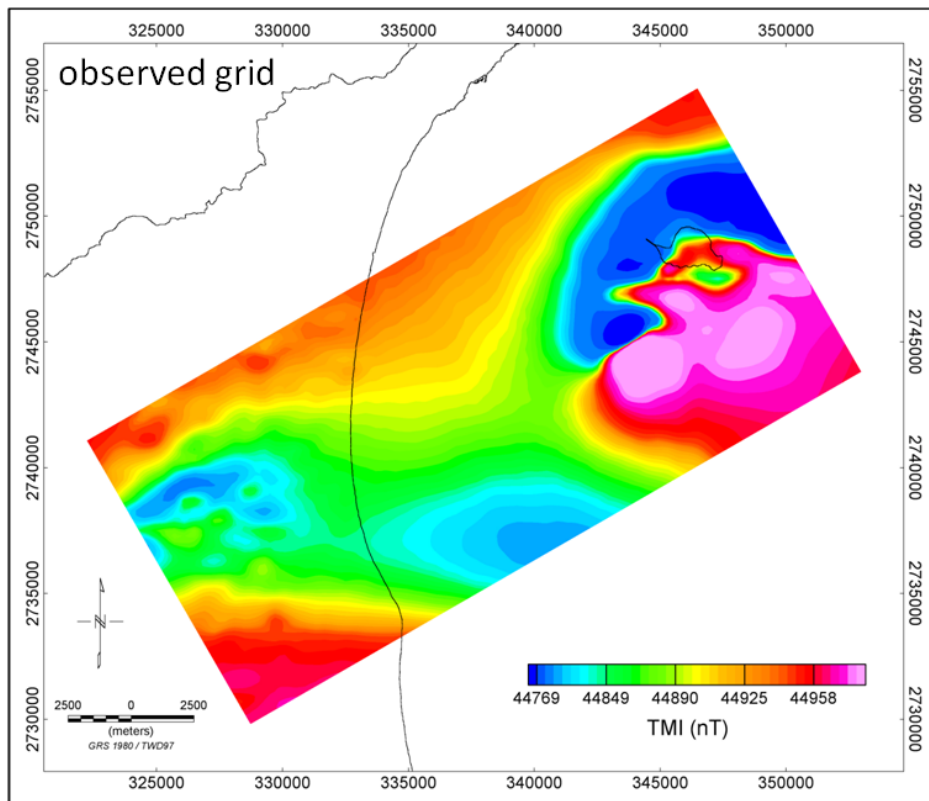


圖 4-54：三維逆推之輸入觀測網格

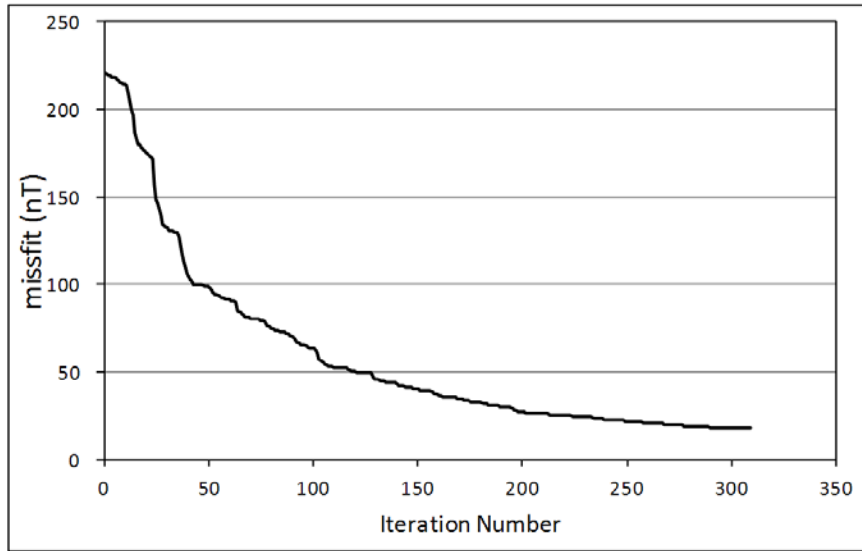


圖 4-55：三維逆推疊代次數與均方根誤差關係圖

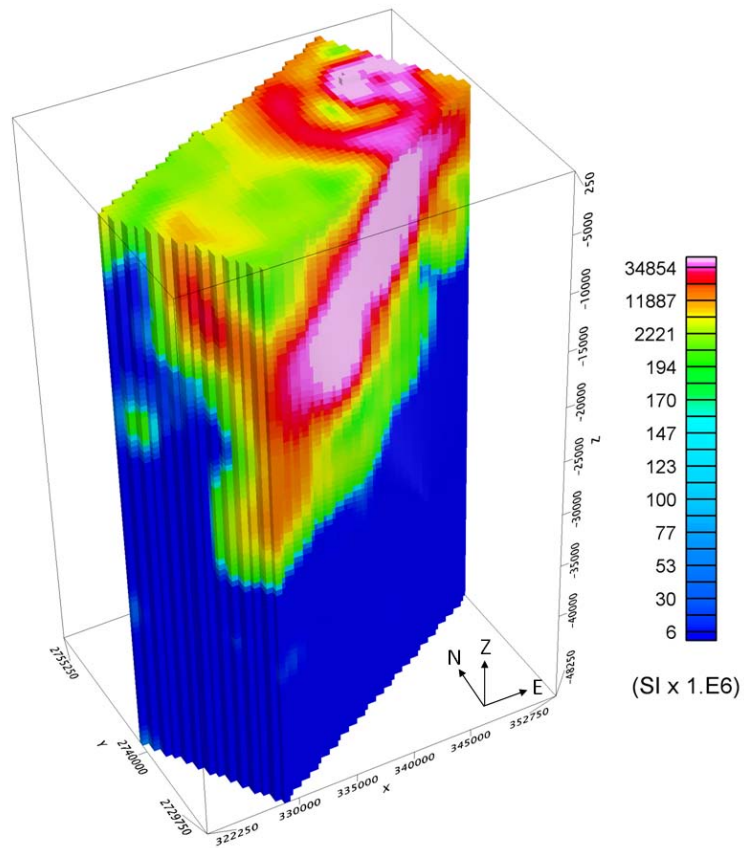


圖 4-56：經三維逆推獲得之三維磁感率模型

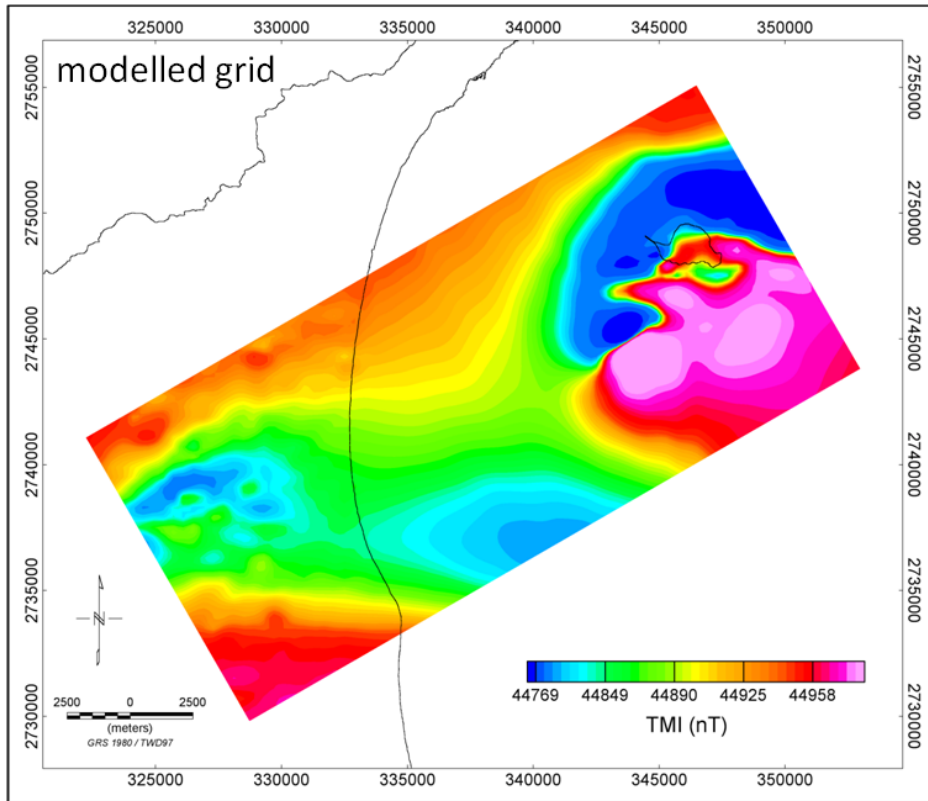


圖 4-57：經三維逆推處理後重新計算之理論網格

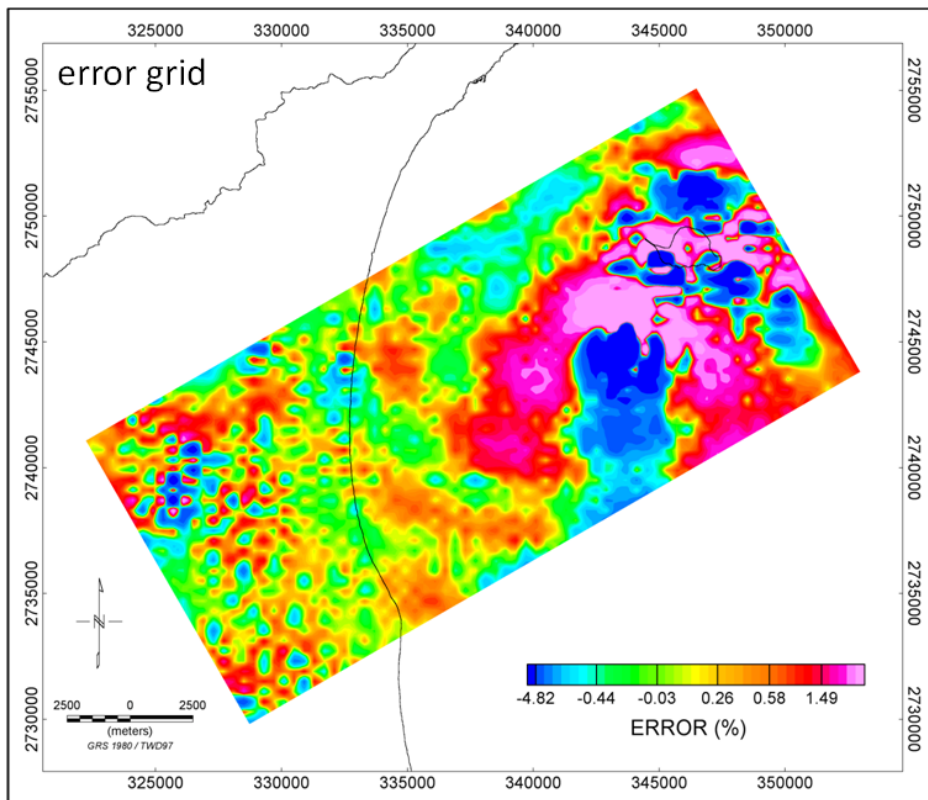


圖 4-58：觀測網格與理論網格間之誤差網格

#### 4.3.4 甚低頻電磁資料處理

本年度測試範圍位於海域及蘭陽平原區，而甚低頻電磁法的探測深度一般小於 100 公尺，故本計畫對於本年度所收集到的甚低頻電磁紀錄，並未抱持能解析全區地層導電特性之期望。但是收集空中甚低頻電磁資料，在國內仍屬首例，故本計畫仍嘗試進行處理，以建立合適的 VLF-EM 資料處理流程。

檢視各測線的 VLF-EM 原始紀錄，顯示資料參雜許多高頻雜訊，故需先進行濾波處理。濾波處理是 VLF-EM 資料處理中的關鍵步驟，傳統常運用 Fraser 濾波法 (Fraser Filtering; Fraser, 1969) 來濾除 VLF-EM 資料中的雜訊，其運算方法包括兩個主要步驟：(1) 兩點移動平均 (moving average) 及 (2) 一階差 (1<sup>st</sup> difference)。考量空中 VLF-EM 係以每秒 10 點的取樣率記錄 VLF-EM 訊號，資料點數遠較地面探勘時密集，故 Fraser 濾波並不完全適用於空中 VLF-EM 紀錄。因此本計畫改良 Fraser 濾波法，採取以下步驟進行濾波處理：

- (1) 進行 15 點移動平均。
- (2) 進行 30 點低通濾波。
- (3) 進行趨勢移除 (trend removal)。

圖 4-59 及圖 4-60 分別為測線 L10 與 L50，頻率 22.3 Hz 之總量 (total field) 紀錄經前述濾波處理後之結果，其中 L10 位於陸域，L50 則經過龜山島。由圖 4-59a 及圖 4-60a 顯示，原始 VLF-EM 紀錄包含許多高頻雜訊，經過前述處理後，圖 4-59d 及圖 4-60d 則能保留 VLF-EM 紀錄特徵，並且移除不同測線間數據基準 (level) 的差異。

圖 4-61 及圖 4-62 分別為頻率 19.6 Hz 之總量紀錄經濾波處理前後之等值圖，圖 4-63 及圖 4-64 則分別為頻率 22.3 Hz 之總量紀錄經濾波處理前後之等值圖。觀察總量原始紀錄之等值圖 (圖 4-61 及圖 4-63)，顯示均有強烈與測線方向一致的條狀高低變化，顯受各測線數據之基準高低差異影響所致。經過前述濾波處理後 (圖 4-62 及圖 4-64)，大幅降低了前述條狀異常，故更能用以觀察 VLF-EM 中隱含的地質意義，例如圖上白色箭頭所指處，橫跨龜山島近東北-西南之線型構造。

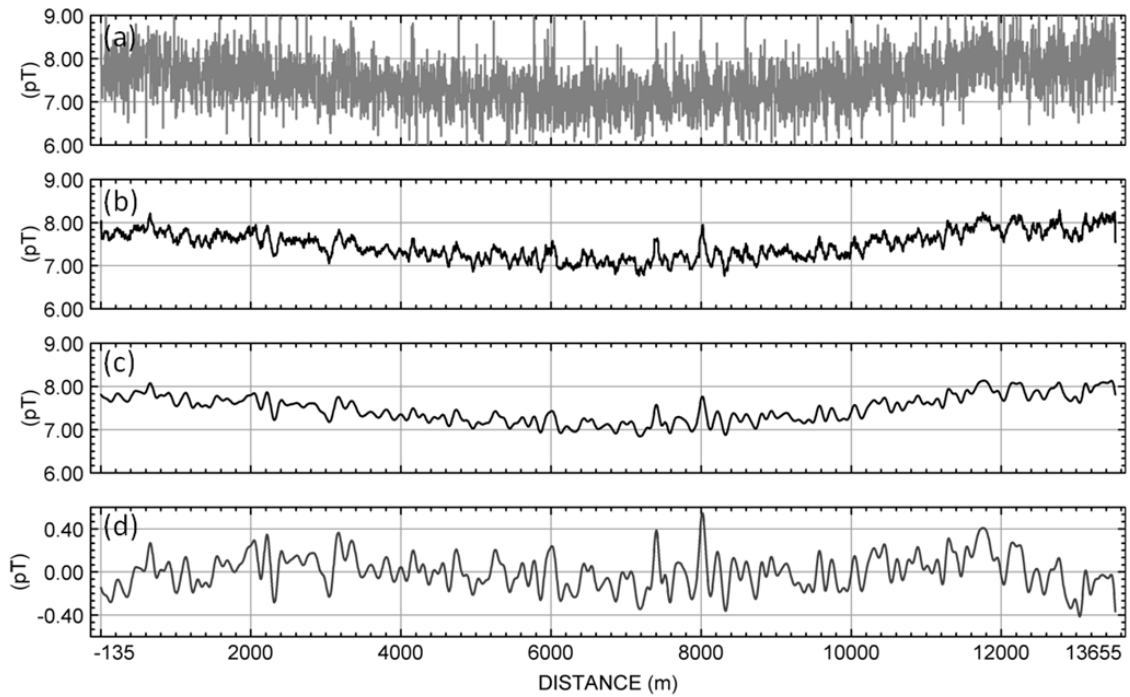


圖 4-59：測線 L10 頻率 22.3 Hz 總量之濾波結果

(a)原始總量紀錄；(b)經移動平均處理後之總量紀錄；(c)經低通濾波處理後之總量紀錄；(d)經趨勢移除後之總量紀錄。

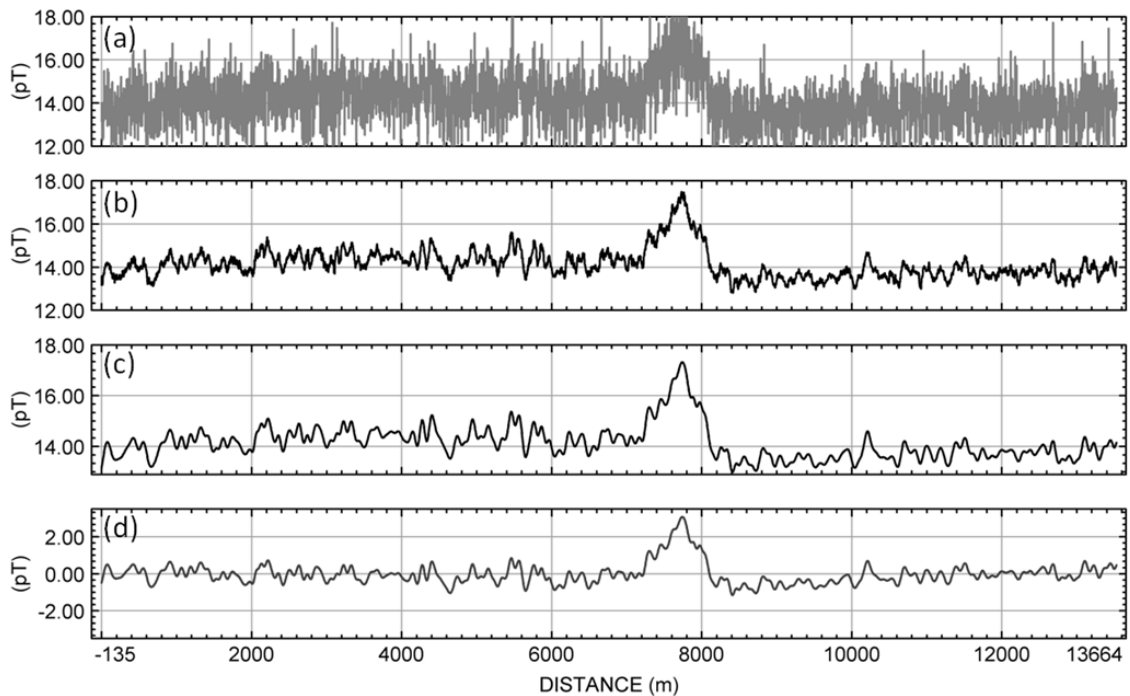


圖 4-60：測線 L50 頻率 22.3 Hz 總量之濾波結果

(a)原始總量紀錄；(b)經移動平均處理後之總量紀錄；(c)經低通濾波處理後之總量紀錄；(d)經趨勢移除後之總量紀錄。



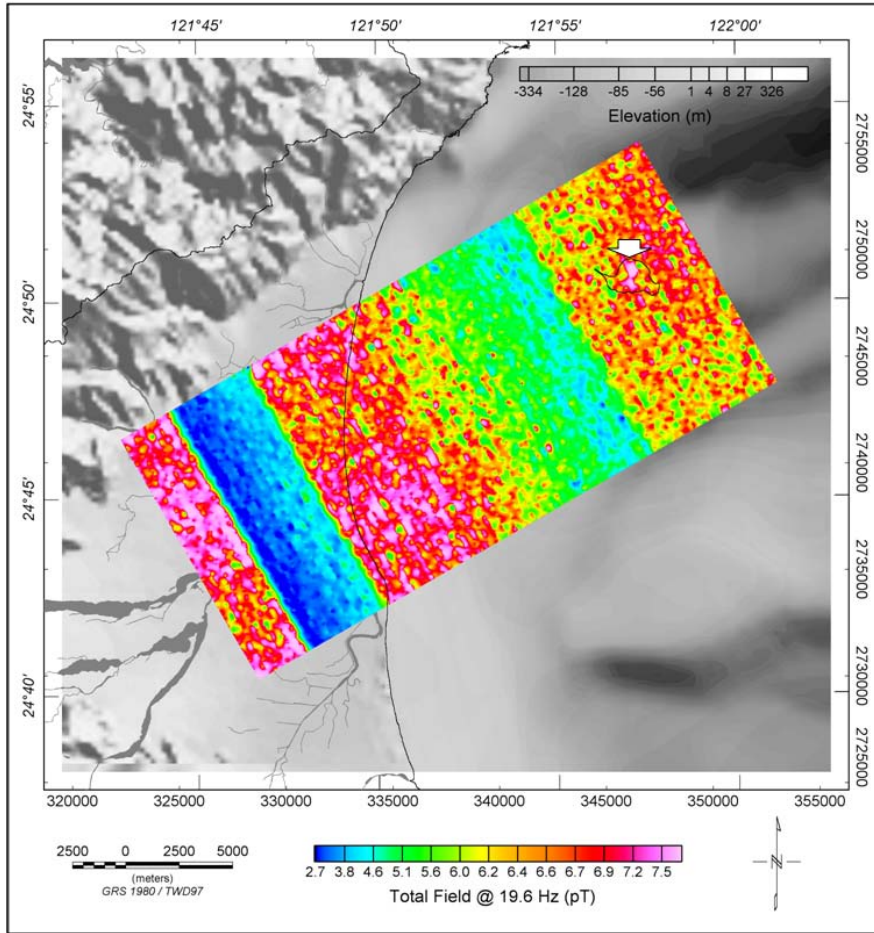


圖 4-61：頻率 19.6 Hz 之原始總量等值圖

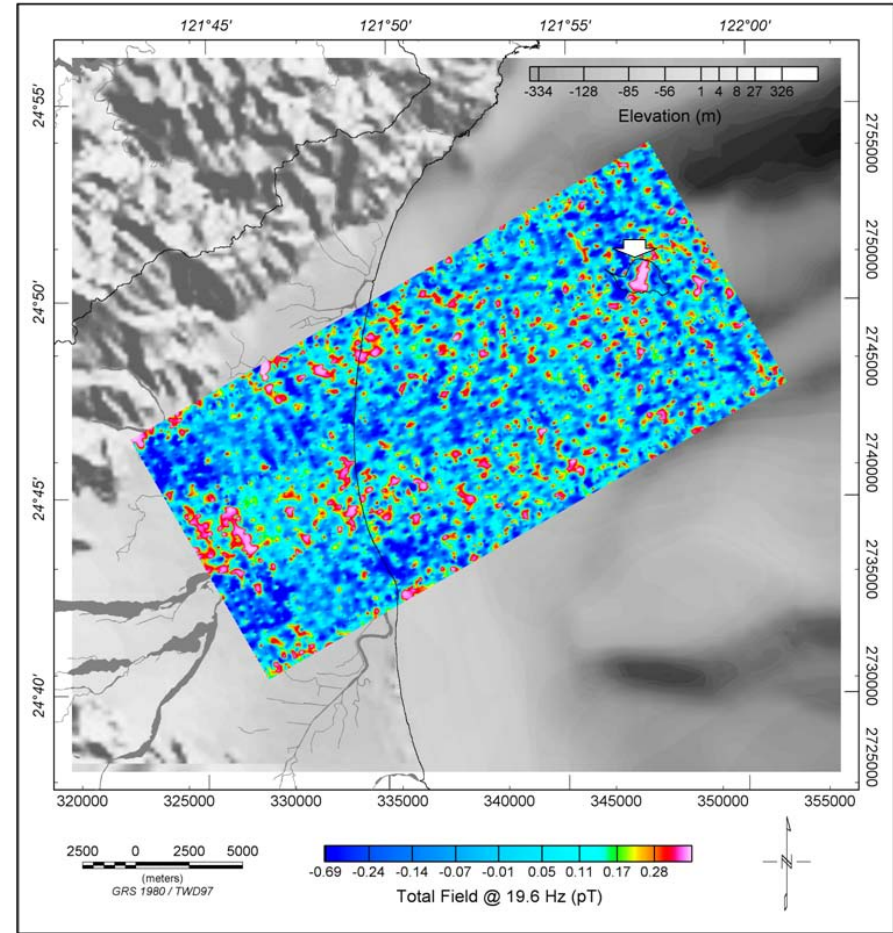


圖 4-62：經濾波處理後頻率 19.6 Hz 之總量等值圖



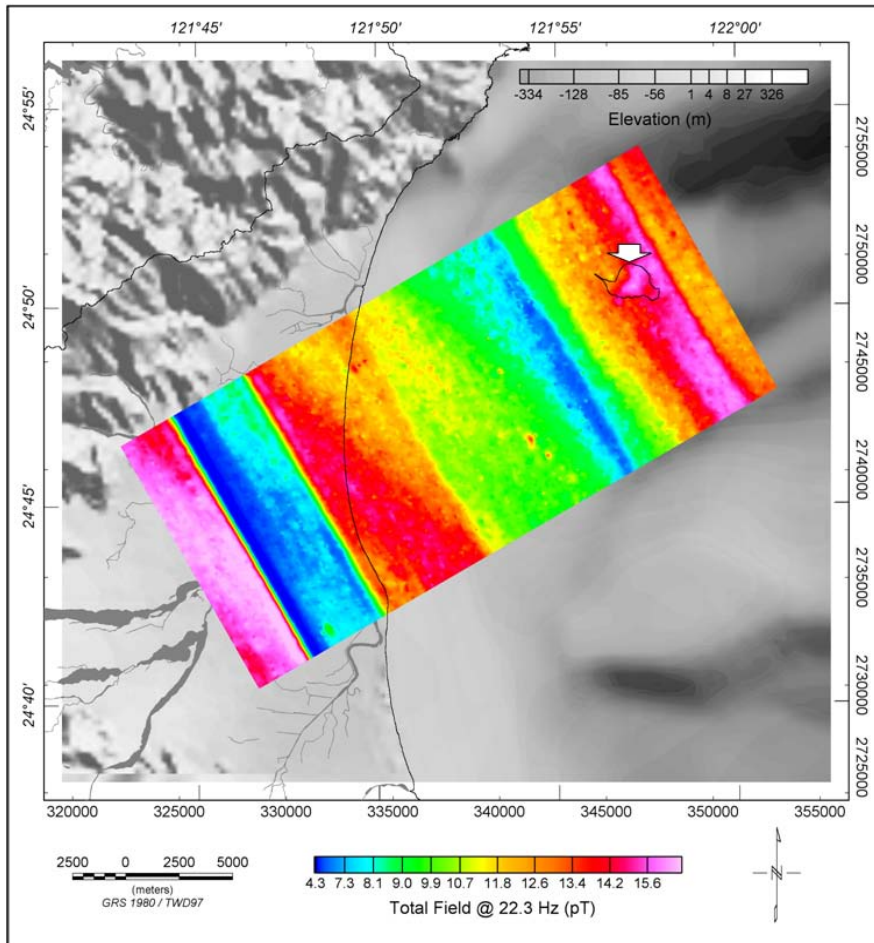


圖 4-63：頻率 22.3 Hz 之原始總量等值圖

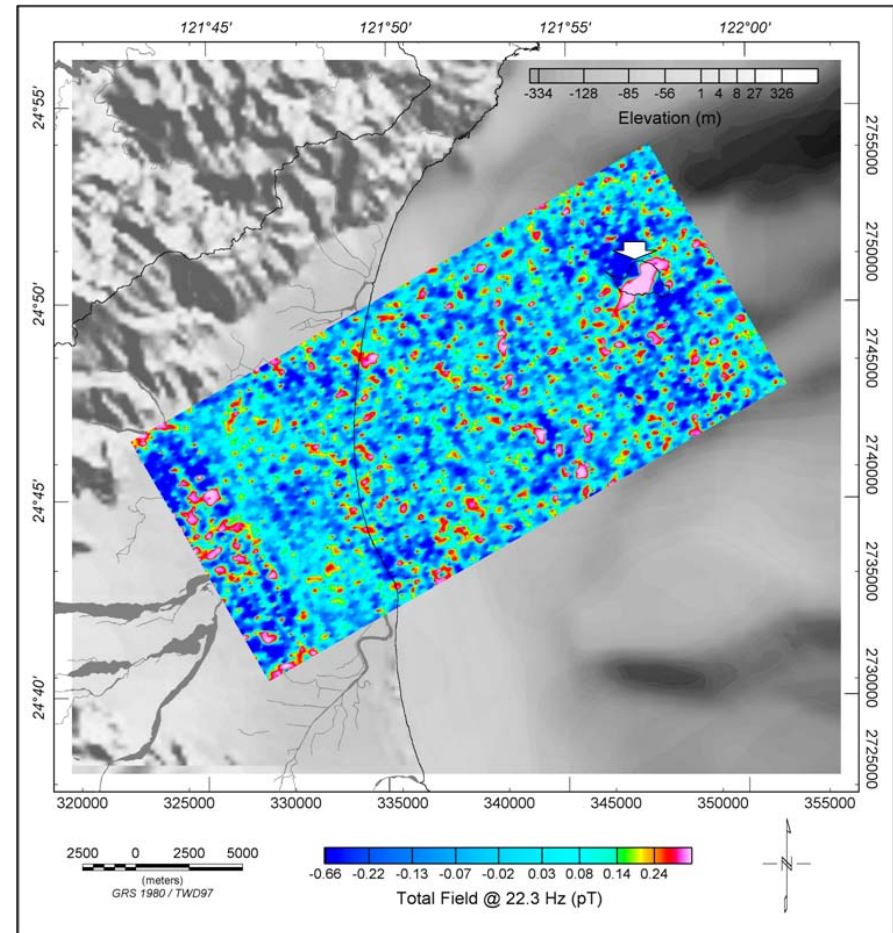


圖 4-64：經濾波處理後頻率 22.3 Hz 之總量等值圖

## 4.4 資料解釋

磁力解釋可分為磁力地層解釋(magnetic stratigraphic interpretation)及磁力構造解釋(magnetic structure interpretation)兩大類。磁力地層解釋主要依據磁力異常圖中所呈現的磁力強度(intensity)、頻率(frequency)及組織(texture)等特徵，搭配岩層磁力特性量測結果，解析地下磁體分布並對比其可能對應的地層或岩體類別。磁力構造解釋則依據磁力異常圖中所呈現的磁力線形(magnetic trend)分布特徵，配合其它既有資訊，解釋地質構造特性。由於本計畫之探測範圍不大，故本報告僅就前面各章節中所產出的各式磁力異常圖，針對其中顯著的磁力特徵進行解釋。

### 4.4.1 岩層物性量測

本計畫共於 37 個地層露頭點進行岩石物性量測，量測項目包括磁感率(magnetic susceptibility)與電阻率(resistivity)，各量測點位置如圖 4-65，量測紀錄列於附錄 7.7，量測結果彙整列於表 4-12。圖 4-66 及圖 4-67 分別為岩性與磁感率及電阻率對比圖，獲得以下初步結果與推論：

- (1) 除硬頁岩外，其餘岩層的電阻率均非常高，達數千 ohm-m 以上；顯示除了含泥量高的地層外，完整岩體具有極高電阻率。
- (2) 安山岩質及角閃岩等火成岩之磁感率遠大於沉積岩與變質岩之磁感率。
- (3) 四稜砂岩的磁感率小於乾溝層與廬山層之磁感率，乾溝層與廬山層二者之磁感率差異不大。
- (4) 在同一個火成岩露頭測量點所測得之磁感率數據相差甚大，可能是因為火成岩中磁性礦物材質分布不均的影響。尤其在火山碎屑堆積岩所量測的岩層磁感率差異最大，推測係因火山碎屑及膠結物的磁感率差異甚大所致。
- (5) 邱清龍(2006)將龜山島的火山熔岩流分為四期，本計畫量測不同時期火山熔岩流之磁感率，顯示第三期火山熔岩流(LF-3)之磁感率大於第二期火山熔岩流(LF-2)，而第二期火山熔岩流(LF-2)之磁感率又大於第四期火山熔岩流(LF-4)，顯示同一環境不同時期之火山熔岩流可能有不同的磁感率。

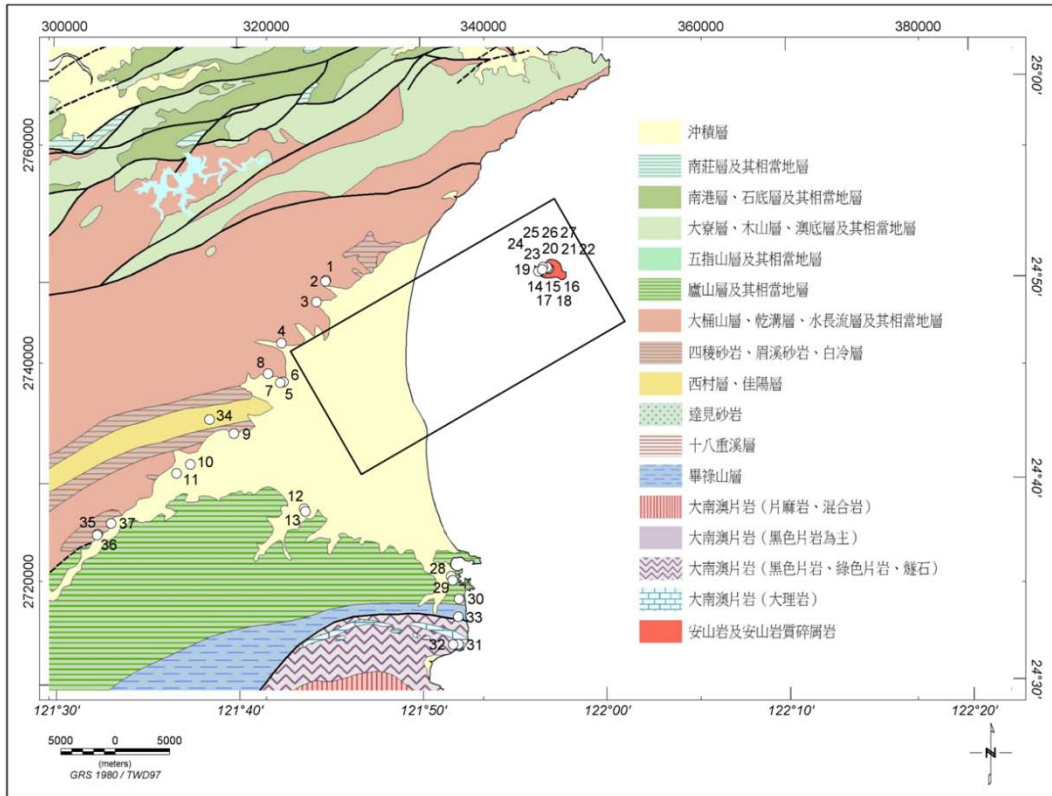


圖 4-65：岩層物性量測點位置圖

(底圖取自中央地調所 50 萬分之 1 地質圖；黑色框線所圍區域為本年度調查範圍)

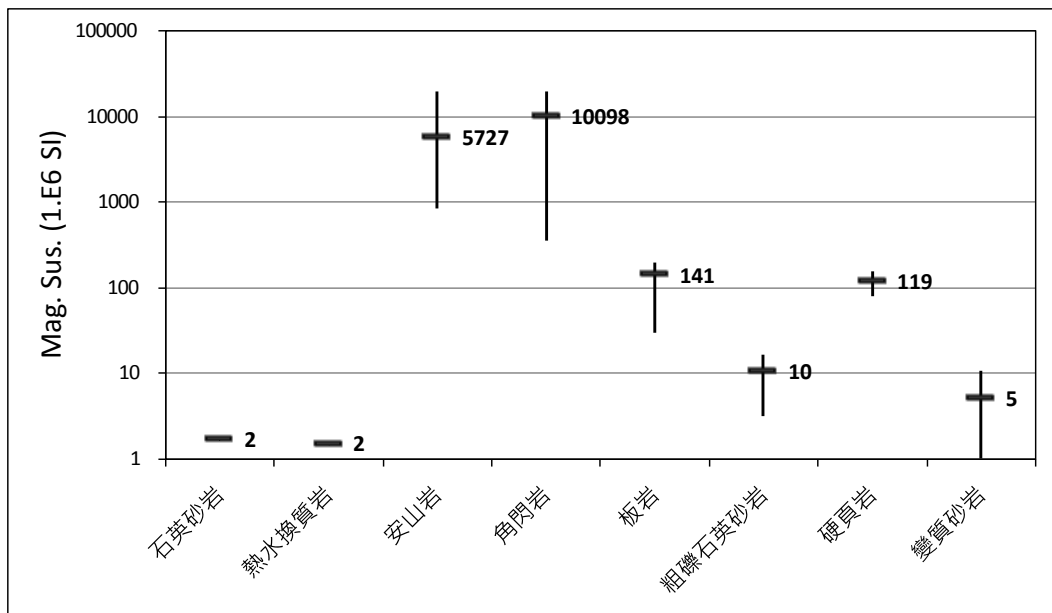


圖 4-66：蘭陽平原鄰近區域地層露頭岩性與磁感率關係圖

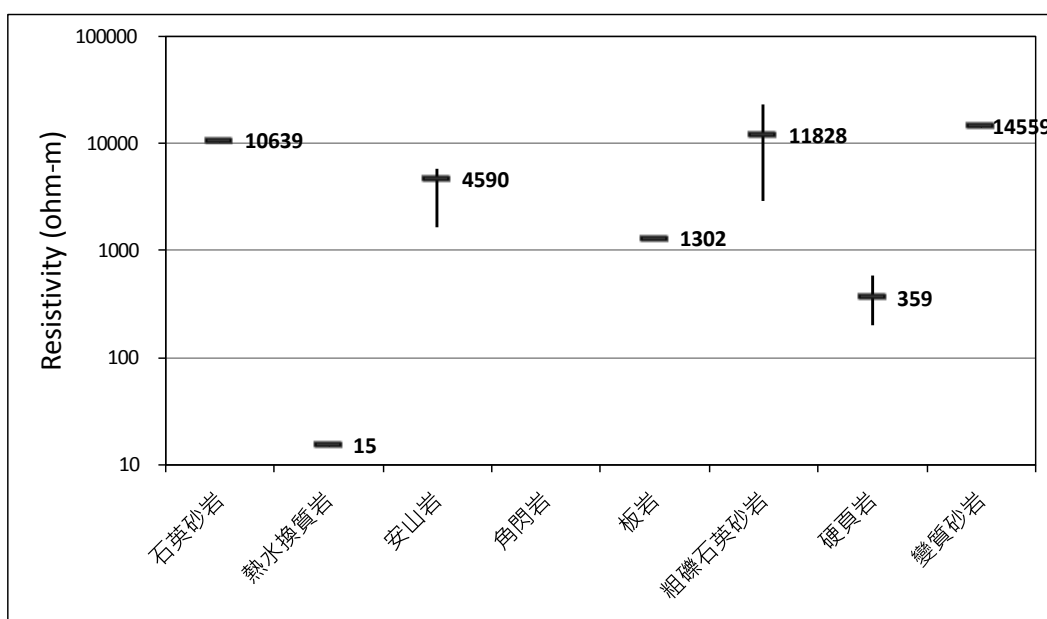


圖 4-67：蘭陽平原鄰近區域地層露頭岩性與電阻率關係圖

表 4-12：蘭陽平原鄰近區域地層露頭磁感率及電阻率量測成果統計表

地層名稱	磁感率量測		電阻率量測	
	露頭數	平均值(SI×10 <sup>3</sup> )	露頭數	平均值(Ωm)
四稜砂岩	10	0.0266	8	9137
乾溝層	3	0.1320	3	403
廬山層(清水湖段)	6	0.1441	2	1302
東澳片岩	1	0.3589	-	-
南蘇澳層	1	0.1210	-	-
西村層	1	0.1089	-	-
龜山島(LF-2)	4	10.2883	1	5673
龜山島(LF-3)	2	13.3880	1	5635
龜山島(LF-4)	3	1.8857	1	1329
火山碎屑流堆積物	5	1.3211	1	5402
熱水換質岩(龜頸)	1	0.0150	1	15

## 4.4.2 磁力特徵

### (1) 磁力強度特徵

圖 4-68 及圖 4-69 分別為全磁力異常圖及區域磁力異常圖，由磁力強度分布，可分辨出 4 個主要磁力高區，分別以 MH1, MH2, MH3 及 MH4 代號表示，及 1 個主要磁力低區，以 ML1 代號表示。分述如下：

- (A) MH1 位於龜山島四週，由於龜山島為現生火山，故 MH1 磁力高區應可對應火山岩。圖中白色箭頭所指之磁力高區(代號 MH1a)，位於龜山島南南西方約 4 公里處，因海底下有綿延約數公里海底尖山，當地漁民俗稱“龜卵”。MH1a 的磁力強度是本調查範圍內最高的，其所在位置亦似與龜山島四週的高磁力區不連貫，是否為另一獨立火山事件，值得後續進行採樣分析確認之。
- (B) MH2 位於調查範圍東南側，概略沿調查範圍東南邊界分布，故資料處理時有可能受邊界效應影響準確性，下年度資料覆蓋率相較完整後，應可確認其位置。
- (C) MH3 位於陸域蘭陽溪出海口一帶，磁力強度較 MH1 及 MH2 為低，故推測其對應岩層之磁感率可能較 MH1 及 MH2 為低。
- (D) MH4 位於調查區域北緣，由陸域向東北方向延伸，由於此磁力高區位於調查範圍邊界，資料處理時有可能受邊界效應影響準確性，當下年度資料覆蓋相對完整後，應可確認其位置。
- (E) 依據傾角微分磁力異常圖上角度等於零之等值線(圖 4-70)，可用以快速勾繪地下磁體的邊界，剔除疑似淺層或地表建物之磁力干擾後，圖 4-70 中白色虛線代表調查範圍內主要之磁體邊界，分別位於前述 MH1, MH2, MH3 及 MH4 等磁力高區之邊界。
- (F) 由龜山島鄰近之地下磁體邊界分布，顯示龜山島鄰近之地下火山岩分布範圍廣達半徑約 4.5 公里，遠較龜山島出露的範圍大。
- (G) 觀察圖 4-68 及圖 4-69 顯示 ML1 似有分布於 MH1 四週，並向西南方向

延伸的情形。

## (2) 磁力線形特徵

觀察圖 4-71、圖 4-72 及圖 4-73 之磁力高低分布特徵，由巨觀角度可概略規納出 6 組磁力線形，分別以 Oa, Ob, Ya, Ka, Kb 及 Kc 代號表之。分述如下：

- (A) 磁力線形 Oa 由宜蘭平原向東北延伸至外海，可連接至沖繩海槽的北緣(圖 2-1)，推測此線形與南沖繩海槽張裂的北緣邊界有關。
- (B) 磁力線形 Ob 反映 MH3 磁力高區之北緣，有可能代表岩體邊界或斷層邊界。
- (C) 磁力線形 Ya 代表 MH2 磁力高區之北緣，有可能代表地下火成岩體邊界。
- (D) 磁力線形 Oa, Ob 及 Ya 在圖 4-72 及圖 4-73 剩餘磁力異常圖上不顯著，暗示這些磁力線形屬於相對較深的構造。
- (E) 磁力線形 Ka, Kb 及 Kc 等分布於龜山島周圍，其中 Ka 及 Kb 在全磁力異常圖(圖 4-71)及剩餘磁力異常圖(圖 4-72 及圖 4-73)上均有顯現，暗示其為發育自深部的構造。各磁力線形特徵，分別說明如下：
  - (a) Ka 之方向與 Oa 概略一致，推測有可能受南沖繩海槽張裂作用影響有關，與 VLF-EM 在龜山島處的異常線形(圖 4-64)方向概略一致，顯示為相對較新期的活動所造成。
  - (b) Kb 的為近東南東-西北西走與之高磁力線形，推測可能為早期存在的構造，影響龜山島周圍岩漿活動之分布。
  - (c) 由蘭陽平原鄰近區域 1994–2006 年間之地震震央分布(圖 4-76)，顯示在沖繩海槽北緣及龜山島附近有一地震密集帶，呈東北東走向分布，與沖繩海槽的盆地發育中心很接近，大多是淺層地震，由震源機制解可觀察此區的斷層構造亦可分為兩群，分別為東北-西南方向、及西北-東南方向，與 Ka 及 Kb 線形構造相近。
- (F) 磁力線形 Kc 概略呈圓弧狀分布於龜山島四週，為一圈狀高磁力異常帶，圖 4-74 為以不同截切波長進行高通濾波後獲得的剩餘磁力異常圖，

用以展示自淺(短截切波長)而深(長截切波長)的磁力特徵，顯示 Kc 隨著深度增加有向外擴大的趨勢，最遠大約達到海岸線附近。在圖 4-74a 中 Kc 線形似有以 KM1a 為中心的現象，隨著深度增加(圖 4-74b-f)，Kc 線形則有以龜山島之龜首為中心的現象。而 Kc 內側普遍具有低磁力特徵，暗示 Kc 與龜山島鄰近之火山活動事件有關聯性。

### (3) 磁體三維分布

依據三維逆推所獲得之三維磁力模型，圖 4-75 為不同高程的磁感率切面圖(magnetic susceptibility elevation slice)，對照前述磁力強度特徵及磁力線形特徵解釋，說明如下：

- (A) MH1 磁體隨深度增加有向東北方向遷移的現象，暗示其岩漿來源自東北方地球深部。
- (B) MH2 分布於調查區東南側，初步觀察有向西南傾斜的趨勢。
- (C) MH3 主要分布於高程-4000 公尺至-6000 公尺間。
- (D) Kc 對應的環狀磁力高區，有隨著深度增加而向外擴大的現象，其分布深度約可達高程-8 公里上下，向西南之分布則約達海岸線處。

### (4) 居里深度

居里深度代表岩層因溫度升高而使其磁性消失的深度，磁力解釋常以固定磁感率之垂直柱狀體，推求該柱狀體的厚度做為居里深度的參考。然而地層的磁感率具有側向差異，暫不考慮地層本身的磁力特性，本報告以三維磁力模型中，深部磁性消失的上部界面，來分析調查範圍內的居里深度，說明如下：

- (A) 以巨觀角度觀察圖 4-75a-h，顯示居里深度在調查範圍之東北側相對較淺，高程約-10 公里上下，向西南方向逐漸加深至高程約-20 公里上下。
- (B) 龜山島及其西南側的無磁性範圍，如圖 4-75c 中白色箭頭所指處，自高程約-4 公里向下逐漸擴大，顯示此範圍內的居里深度相對極淺，暗示地下蘊藏巨大熱源。



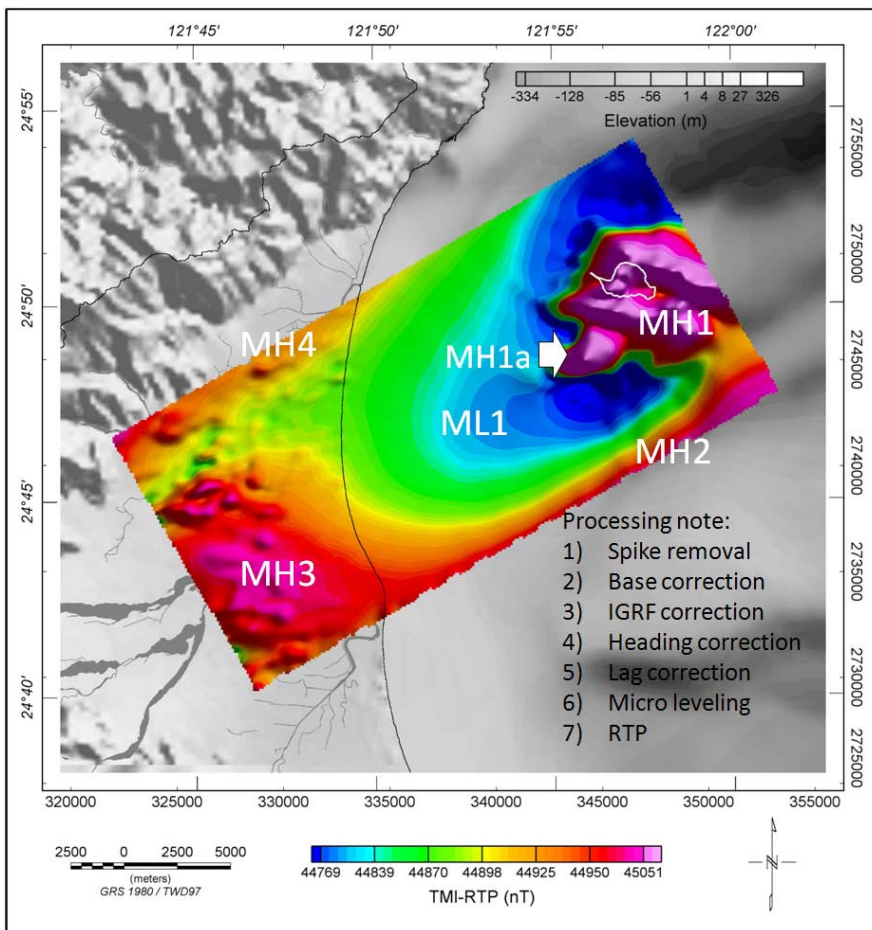


圖 4-68：全磁力異常圖之磁力強度特徵  
(磁力異常圖係經歸極換算處理)

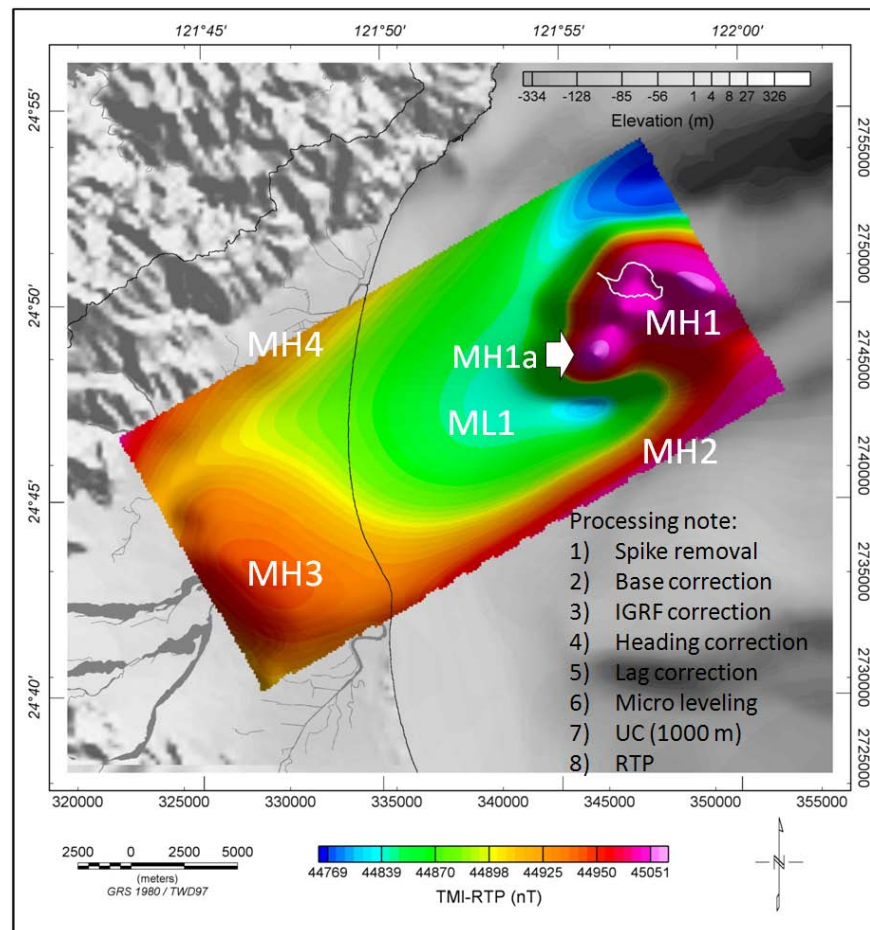


圖 4-69：區域磁力異常圖之磁力強度特徵  
(磁力異常圖係經向上延伸及歸極換算處理)

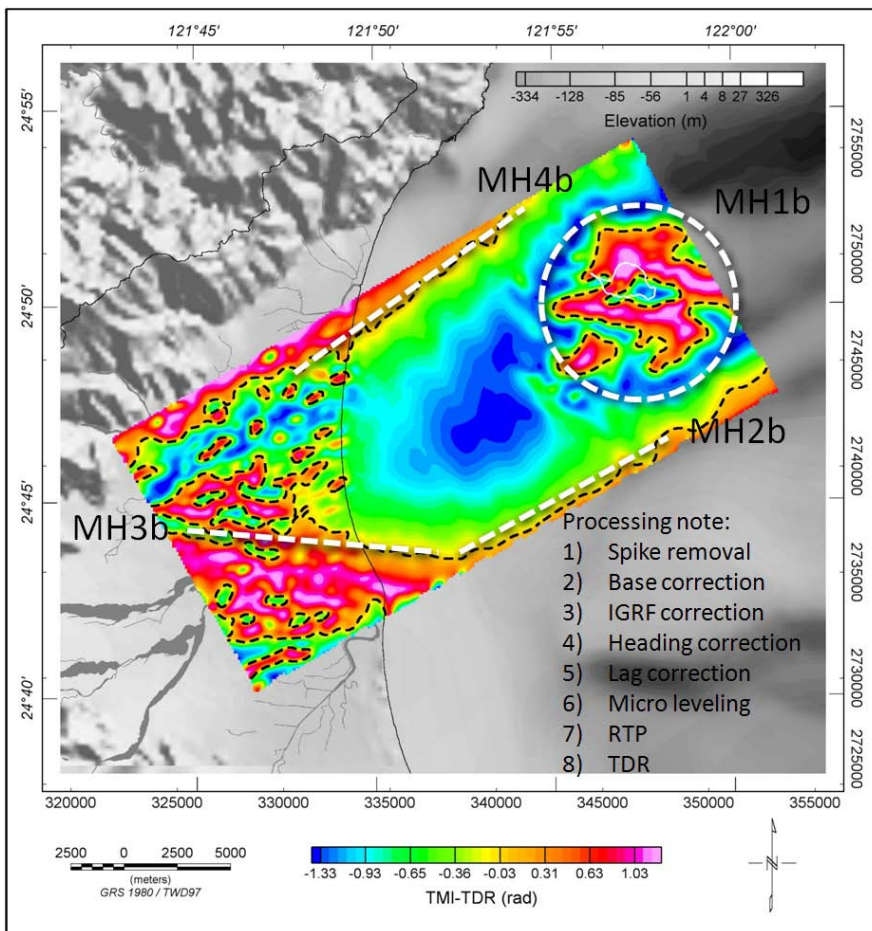


圖 4-70：全磁力異常圖之磁體邊界解釋圖  
(磁力異常圖係經歸極換算處理)

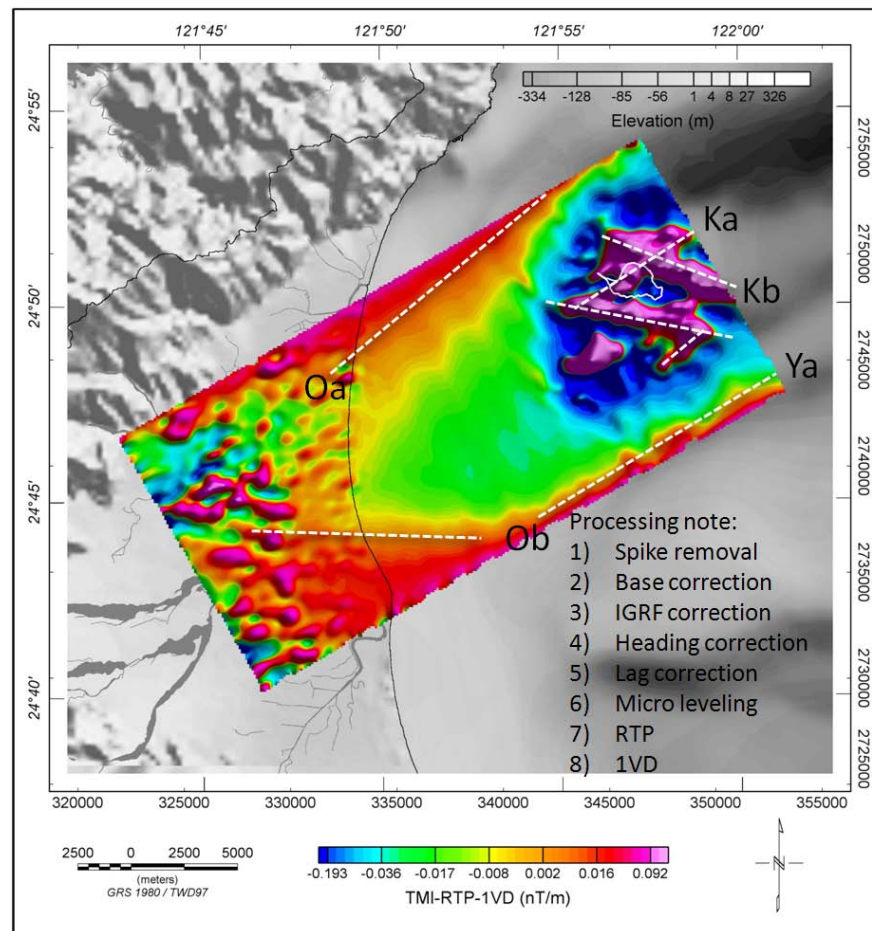


圖 4-71：全磁力異常圖之磁力線形解釋圖  
(磁力異常圖係經歸極換算及一次垂直微分處理)

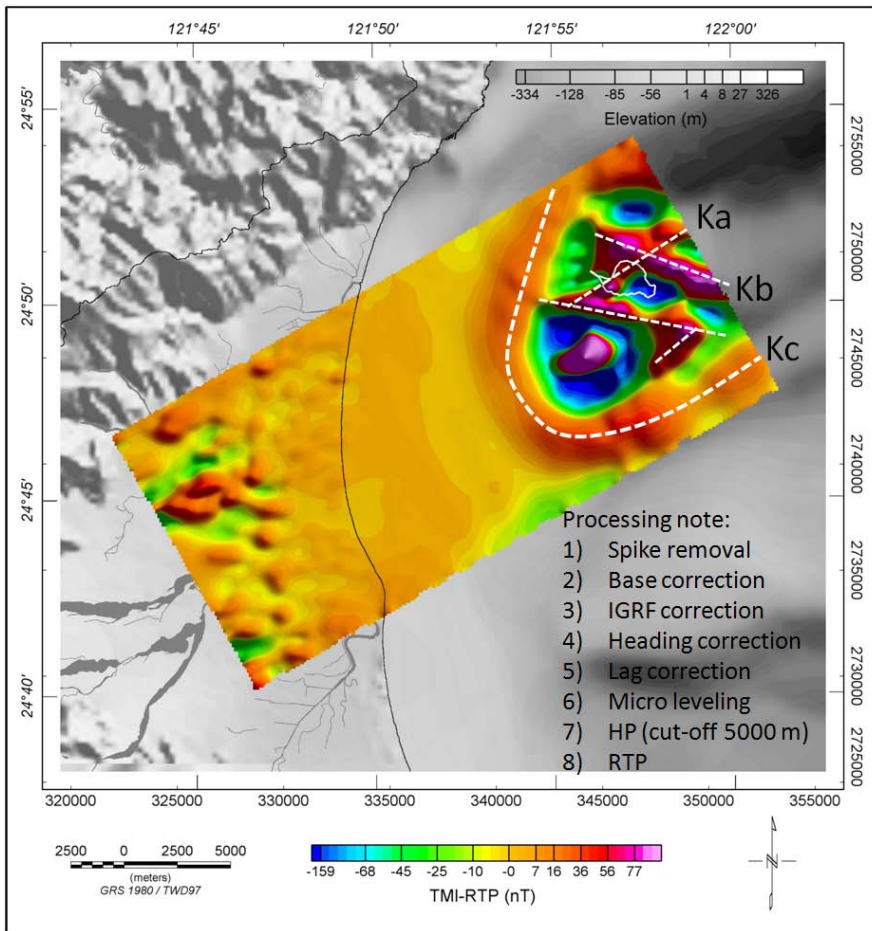


圖 4-72：剩餘磁力異常圖之磁力線形解釋圖-1  
(磁力異常圖係經高通濾波及歸極換算處理)

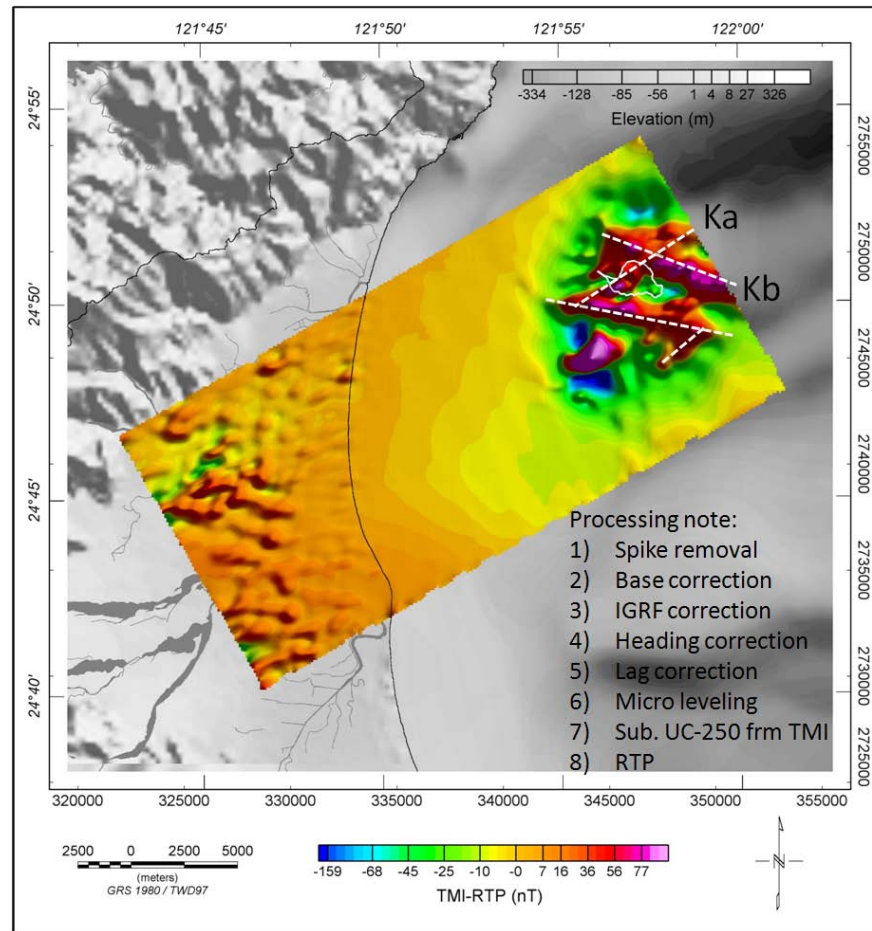


圖 4-73：剩餘磁力異常圖之磁力線形解釋圖-2  
(磁力異常圖係經扣除向上延伸之區域磁力及歸極換算處理)



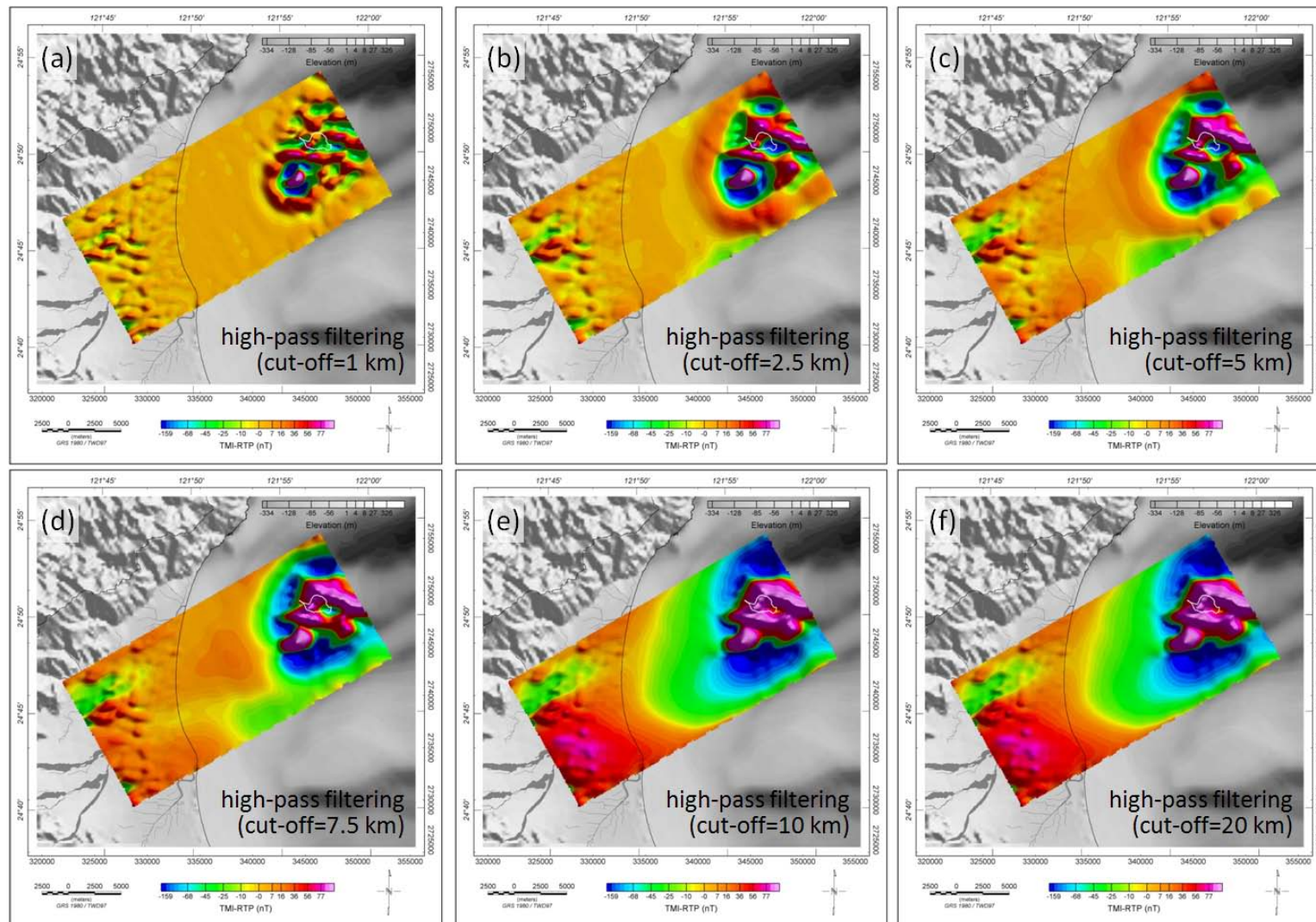


圖 4-74：以不同截切波長處理之剩餘磁力異常圖  
(磁力異常圖係經高通濾波及歸極換算處理)

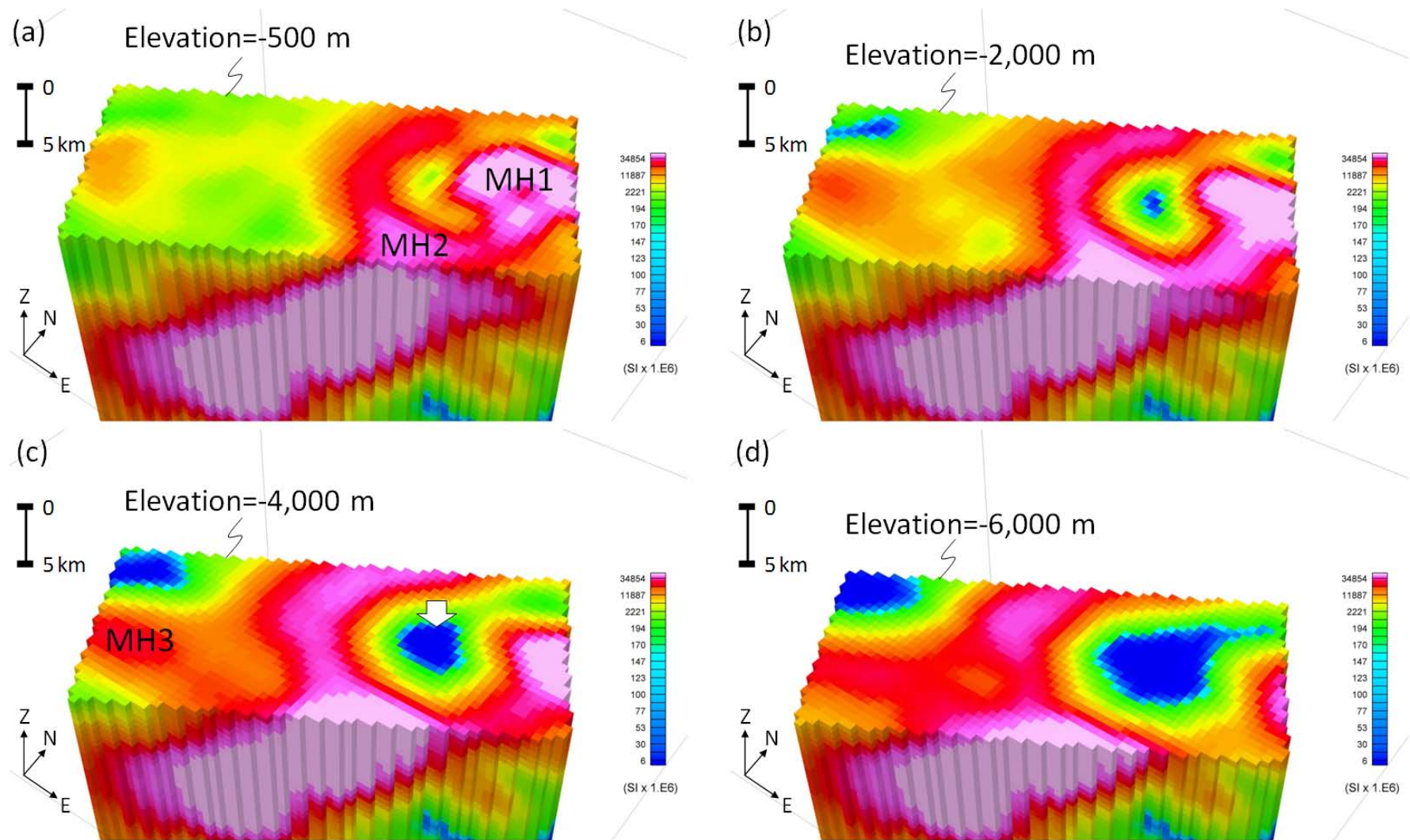


圖 4-75：三維磁力模型之方塊圖



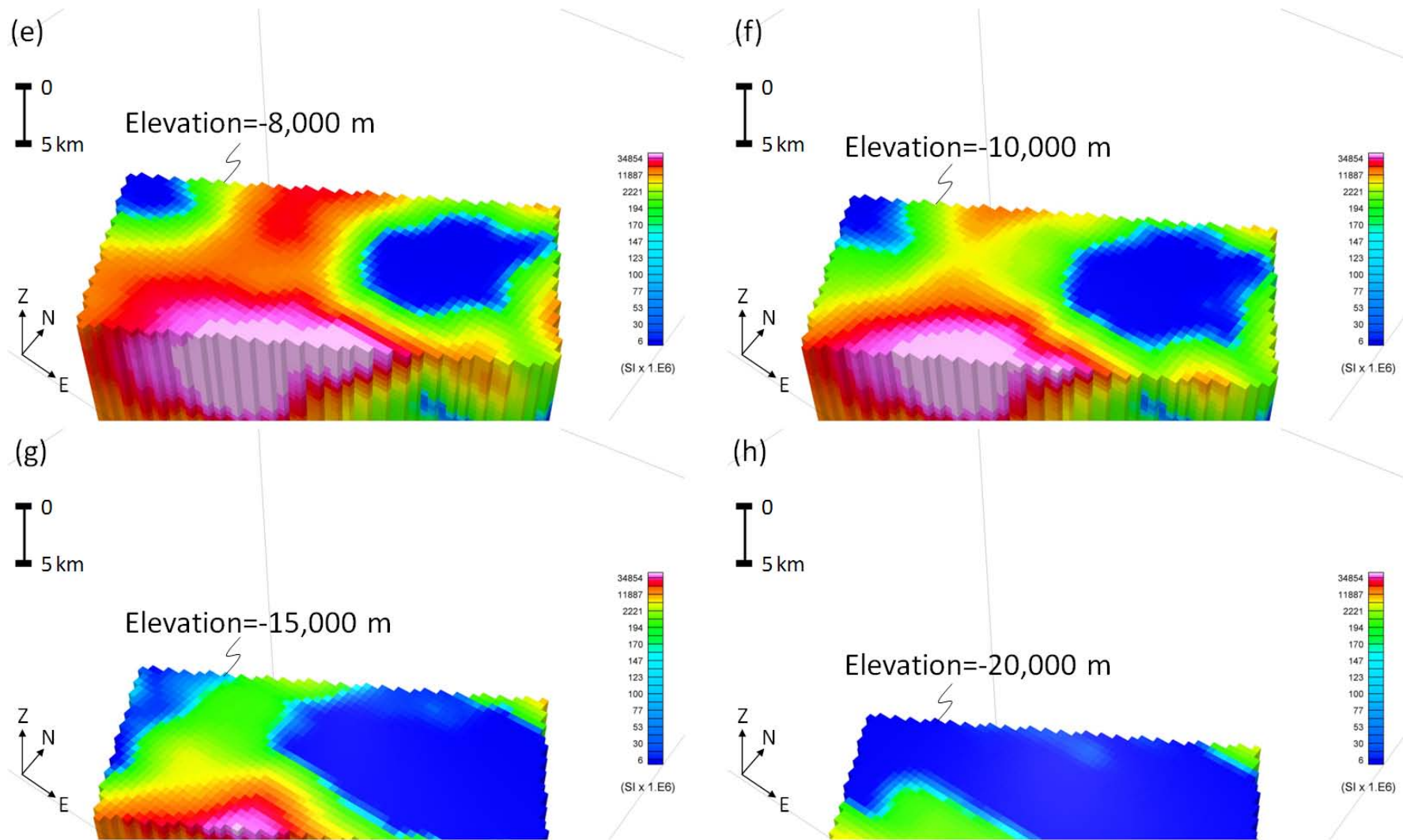


圖 4-75：三維磁力模型之方塊圖(續)

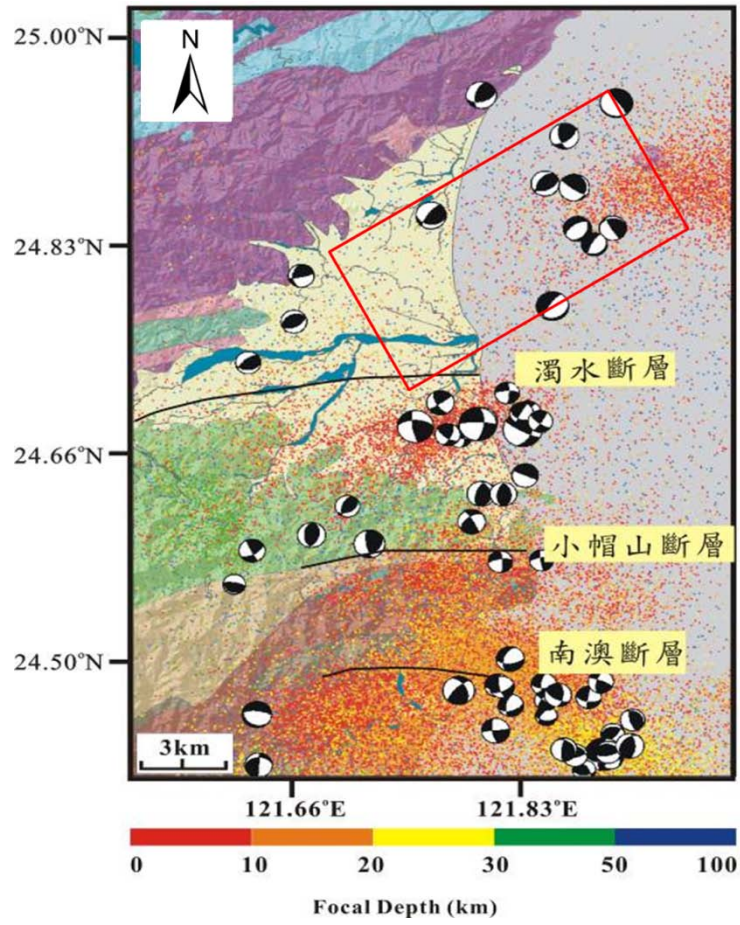


圖 4-76：蘭陽平原鄰近區域之地震震央分布與震源機制解  
 (摘自：康竹君，2007；紅色框線所圍範圍為本計畫調查區域)



### 4.4.3 地質解釋

本計畫在進行地質解釋時，所參考的地質資料以地調所五萬分之一地質圖(圖 2-3)為主，已出版的圖幅包括：頭城、蘇澳、三星、新店、雙溪及桃園等圖幅，其餘未出版圖幅(包括：土場、環山及和平)的區域，則參考國內外發表之現地調查資訊。

本年度測區範圍僅涵蓋龜山島至蘭陽平原之部分陸地與海域，除現有陸地地質圖幅資料外，本計畫蒐集陸地地表地球物理測勘成果(Yu and Tsai, 1979; Tong et al., 2008)，亦收集深層地下地質資料，包括：鑽井(蘇清全，2011)、構造地質(康竹君等，2008；張峻瑋，2010；蘇清全，2011)、震源機制分析(黃信樺，2007)、龜山島火山地區陸、海域火山活動相關資料(Chung et al., 2000; 朱秋紅，2005; Yang et al., 2005; 邱清龍，2006; 江協堂，2010; Chiu et al., 2010 及藍德芳，2010)，以及龜山島鄰近海域的海洋地質測勘成果(江協堂，2010)等相關資料，用以參佐空中磁力資料判釋基盤岩地質構造、火山地質、溫泉以及地熱資源等地質解釋工作。

#### 4.4.3.1 深層基盤地質與構造

經歸極換算後的磁力異常圖(圖 4-46)，可修正因磁傾角造成磁體位置與磁力高區的偏移，用以分析磁力異常對應的岩層邊界與構造位置；而利用尤拉解迴旋(Euler deconvolution)可協助快速分析岩脈與構造的分布及深度資訊。Tong et al. (2008)利用蘭陽平原地表磁力測勘資料(Yu and Tsai, 1979)，經尤拉解迴旋處理後，提出有一高角度且向北傾之斷層構造，概略沿蘭陽溪分布；蘭陽溪南側深度 1 至 6 公里基盤裡，則存在一近東西向分布，且高角度的高磁性岩體(圖 2-11 中標示 DD)，Yu and Tsai (1979)推測該高磁性岩體可能為火成岩體。

由本計畫完成的高精度磁力異常圖(圖 4-46)中，在蘭陽溪口一帶存在一近東西方向的磁力高區(MH2)，由前節磁力特徵分析結果，暗示確有一東西向高磁性岩體概略沿蘭陽溪南岸分布，與前人研究結果(Yu and Tsai, 1979; Tong et al., 2008)

一致。從地表露頭磁感率量測結果(圖 4-66; 洪崇勝, 2011), 顯示雪山山脈地層除西村層磁感率量測值稍高外, 變質砂岩、硬頁岩、砂岩、頁岩均屬於低磁岩層; 相較之下, 中央山脈的板岩也具低磁特性, 角閃岩、變質輝綠岩等變質火成岩均明顯具有高磁特徵。而蘭陽平原下更新世至全新世地層推測應以低磁特徵為主, 故 Tong et al. (2008)解釋的高磁性岩層與濁水斷層帶的相互關係, 可藉由本計畫獲致的高解析度磁力特性進一步釐清。

濁水斷層在地表的位置(康竹君等, 2008; 張峻瑋, 2010)偏向前述高磁性岩體的南側, 而深層斷層如位於相對較北之基盤中(圖 2-11 中標示 FB, Tong et al., 2008)。則東南東走向、向南傾斜的濁水斷層(康竹君等, 2008; 張峻瑋, 2010), 作為蘭陽平原下伏中央山脈與雪山山脈岩層分界(江新春, 1976), 在深層基盤地質與構造上可能有不同於淺部基盤的解釋。因此, 本報告利用磁力線形可能反映岩體邊界、斷層、變質礦物排列等地質特性, 並根據蘇澳山區中央山脈地層的地質與構造調查資料(林啟文, 1998)來解釋可能的原因。

圖 4-77 所示為全磁力異常圖中的細部磁力線形分布, 顯示蘭陽溪南方區域以東南東方向磁力線形為主; 相較之下, 宜蘭溪北方具較低磁力的區域, 則以東北方向磁力線形為主。對應到地表露頭量測的變形構造特徵, 林啟文(1998)於牛鬥斷層附近量測雪山山脈地層的變形特徵時(圖 4-78), 顯示變形構造特徵(包括: 伸張線理及褶皺軸等)以東北方向為主; 而蘇澳南側山區中南蘇澳層及大南澳片岩的變形構造特徵(伸張線理、葉理及褶皺軸等), 則一致以東南東方向為主。因此, 圖 4-77 的磁力線形特徵, 似能反映構造區塊長期的變形特性, 並可作為深層基盤分界的依據, 暗示前述蘭陽溪南岸的近東西向高磁性岩體, 有可能屬於古老的岩脈, 長期受到蓬萊運動變形作用影響, 推測與夾於南蘇澳層中的中新世變質輝綠岩脈(圖 4-79; 林啟文, 1998; 林蔚, 2001)有關。由於南蘇澳層板岩為低磁性岩層, 而變質輝綠岩脈為高磁性岩層, 故推測前述高磁性岩體, 有可能為中央山脈地層中的變質輝綠岩脈。

此外, 具有磁力線形的高磁基盤, 年代上雖無直接定年證據, 但初步針對此基盤可能存在的火成作用年代關係做進一步推測。首先, 受過變質與變形作用(具

磁力線形特徵)，可能與夾於南蘇澳層的變質輝綠岩脈同期的岩漿活動有關。再者，該岩脈的侵入年代，晚於南蘇澳層沈積的年代，且其火成作用屬於洋脊玄武岩漿的侵入作用，可能與南中國海版塊於漸新世至中新世的張裂活動有關(林蔚，2001)。而後，才因蓬萊運動影響，具有變質與變形特徵(林啟文，1998)。因此，變質輝綠岩脈的火成活動，遠早於全新世龜山島的火山活動。

依據以上論述，將淺部地層與深部地層的分界分開討論。淺部基盤若以先逆斷層後正斷層作用，分隔中央山脈與雪山山脈岩層(康竹君等，2008)，可能深部存在張性走滑斷層(黃信樺，2007)，導致下部夾高磁性岩脈的中央山脈基盤北移，以及上部低磁性雪山山脈基盤南移，呈現之磁力特性與兩基盤犬牙交錯狀分界有關。

#### 4.4.3.2 火山地區地下地質構造

火山岩漿活動可能造成各式產狀如岩漿侵入體、岩脈、火山錐體、火山噴發或冷卻的裂隙、以及熔岩流等，因火山岩通常含較一般沉積層更多的磁性礦物，甚至不同期噴發的火山岩，其殘磁(remanent magnetization)特性也不同，因此可以藉由不同磁力異常所呈現的形貌，來分辨火山地區的岩漿活動及產物。

龜山島位於沖繩海槽的最西南端，即在菲律賓海板塊及歐亞板塊交界上方，根據安山岩中夾有的砂岩捕獲岩塊，進行熱螢光定年，獲致噴發年代為7千年前(Chen et al., 2001)之活火山證據。Chiu et al. (2010)歸納出龜山島的捕獲岩塊種類，包括石英岩、砂岩及片岩等，透過岩漿上升過程抓取來自基盤岩的岩塊，可研判此區基盤與台灣北部出露的岩層相同。因此，Chiu et al. (2010)根據火山地質調查及鑽井結果，編繪龜山島地質圖(圖 4-80)，並以岩漿受地殼混染的機制，解釋龜山島高鎂安山岩成因。

由剩餘磁力異常圖(圖 4-72)及三維磁力模型(圖 4-75a-e)顯示出明顯圈狀磁力異常帶，概略以龜山島所在之磁力高區(MH1；圖 4-68)為中心，外圍有低磁力區圍繞(圖 4-72 及圖 4-75a-e)。龜山島位於 MH1 磁力高區之西北側，且龜山島東南

隅龜首處存在一相對的磁力低區，顯示與龜山島火山活動有關，由龜首處堆積的低磁性火山碎屑流堆積物，以及龜首東側海底湧泉發達，顯示該處熱液活動旺盛，故造成此局部低磁力異常。

經垂直微分處理後的磁力異常圖能呈現地下岩層的構造特徵，由圖 4-71 顯示龜山島周遭的高磁性岩體，存在兩條呈東南東方向的線形(Kb；圖 4-71)。龜山島東南隅龜首處的低磁區，概略位於前述圈狀磁力異常帶(Kc；圖 4-72)的中心位置，可能是岩漿通過基盤沿裂隙噴發的通道，推測為火山口位置。進一步比較龜山島熔岩流分布(圖 4-80)，亦可發現高磁力區與低磁力區均反映了地表熔岩流的岩性變化，顯示高精度磁力資料有助於研判火山岩層的空間分布。

由圖 4-81 顯示圈狀磁力異常帶中，與東南東方向分布的磁力高區(Kb；圖 4-71)，組成環狀岩脈(ring dike)與東南東方向岩脈群的特徵，低磁力區域推測對應岩漿庫位置，因受高溫影響導致磁力強度相對減小，故此區之居里深度較周遭地區淺。本研究提出此一基盤岩層磁力特徵與構造磁力特徵，可用火山白陷落的模式解釋。根據磁力線形、岩漿庫與環狀岩脈的組合，顯示龜山島火山活動曾順基盤岩既有的東南東方向裂隙帶，發生裂隙噴發活動及岩脈侵入作用，形成東南東方向之磁力高區(Kb；圖 4-71)，而後因火山白陷落作用而形成環狀岩脈(Kc；圖 4-72)。最後，龜山島形成後，此區新形成的火山高磁岩體的變形，依然順東南東磁力線形發生，龜山島空載光達影像亦呈現出主要東南東方向的構造線形，顯示此區變形持續受到基盤岩既存東南東方向的構造所影響。

有鑑於沖繩海槽張裂與琉球隱沒帶持續作用，台灣北部火山活動的持續監測為近年來重要研究課題，本年度測區龜山島的火山岩漿活動，透過空中磁測磁力資料解釋，提供了解地下地質構造演化，與岩漿噴發範圍等相關資訊，為可能噴發活動之影響性調查與評估，提供規劃監測的重要資訊。

#### 4.4.3.3 潛伏火山熱液活動區分布

Sibuet et al. (1998)報導中法合作的海洋探測計畫時，針對沖繩海槽西南緣所

作的海底剖面，發現約 70 座形成於此區域的海底火山，正位於班尼奧夫帶(Benioff zone)上 80–100 公里的位置，此一系的火山可能是琉球島弧向西南之延伸，這些海底火山的生成晚於沖繩海槽西南部的張裂，形成一特殊的島弧火山前緣。江協堂(2010)量測蘭陽平原及龜山島外海熱流值(圖 4-82)，發現高熱流值與局部火成岩體侵入有關，由於龜山島火山活動與沖繩海槽的張裂或琉球島弧的噴發活動有關，特別是火山形成年代都很年輕，其殘餘岩漿熱可能造成局部的高熱流。

由本計畫完成的龜山島鄰近區域空中磁測資料，雖未能涵蓋龜山島東方區域，但已能呈現出與龜山島火山活動有關的高磁性磁體及環狀岩脈分布。圖 4-83 為不同高程之磁感率等深度切面圖與微震分布之套疊圖，顯示龜山島鄰近不同深度之微震活動，與前述高磁性環狀岩脈內之低磁力帶吻合，暗示該區深處存在岩漿庫的可能性，將是此區長期熱流的深層來源。推測蘭陽平原外海至龜山島間區域，無論基盤岩及地質構造均長期受到此一火山活動的影響。根據既有陸海域熱流測值(圖 4-82)，顯示此區的高熱流區概略以龜山島為中心，惟龜山島至蘭陽平原濱海區則缺乏現地量測值，無法進一步研判是否存在低熱流區。

雖然海域熱流量測資料不足，尚無法推估龜山島火山的熱流分布是否直接影響到蘭陽平原。有鑑於龜山島是此區最年輕的地質事件，本研究證實火山噴發的規模足以影響蘭陽平原臨海地區磁性特徵，因此現有蘭陽平原地表變形與土壤氣監測，可以進一步提供本研究了解火山作用潛伏熱流分布的關係，特別是夾高磁岩脈的基盤及其中的濁水斷層，有可能受火山作用熱液活動的影響。

原本更新世受沖繩海槽張裂影響，以蘭陽平原北區為沉陷中心，在全新世初龜山島火山噴發後迄今，沉陷作用轉以蘭陽溪口為主(陳文山等，2004；康竹君、張中白未發表資料)，如考慮此一沉陷作用的轉變與火山噴發後火山陷落作用有關，則深部可能發育一系列與此圈狀陷落有關的構造，推測主要位於海域，並可能順基盤岩既有構造，延伸至陸域活動斷層，可能為潛伏火山作用熱液流動的通道，例如蘭陽溪南岸與羅東至利澤間熱流較高的區域(工研院執行能源局計畫 2012 成果報告，未發表資料)，同時也是氦同位素土壤氣具地函源或火山源最明顯地區(Yang et al., 2005; 藍德芳，2010)。

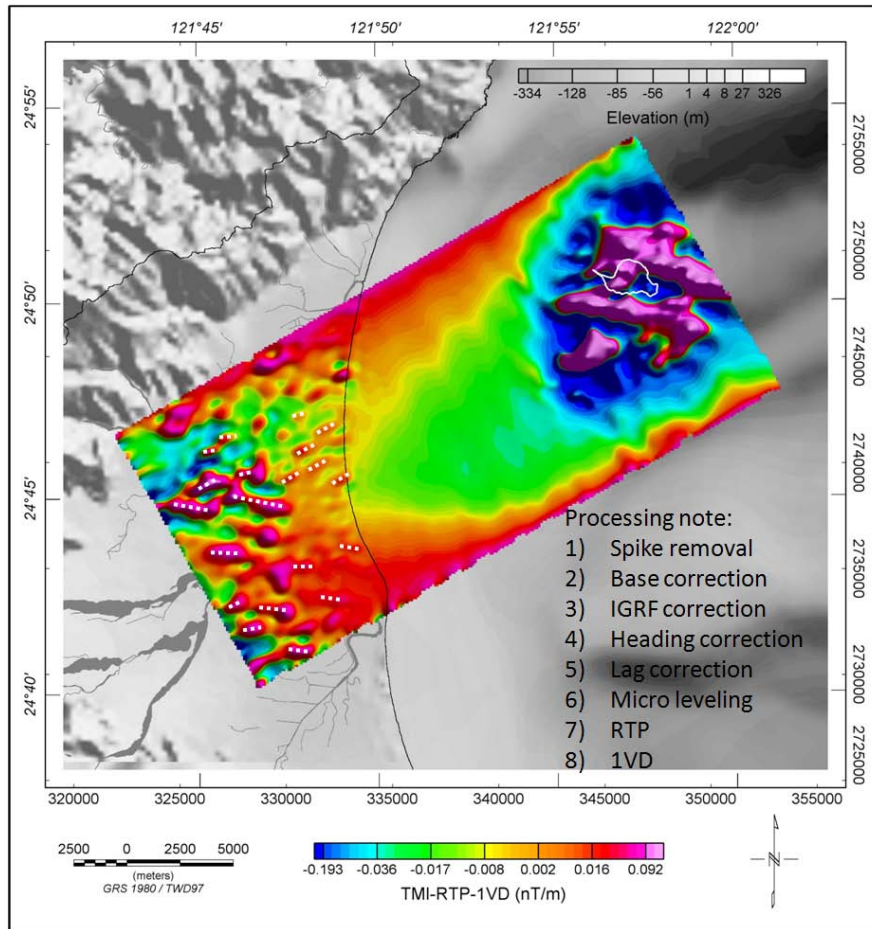


圖 4-77：全磁力異常圖中細部磁力線形分布圖

(磁力異常圖係經歸極換算及一次垂直微分處理；白色虛線代表細部磁力線形)

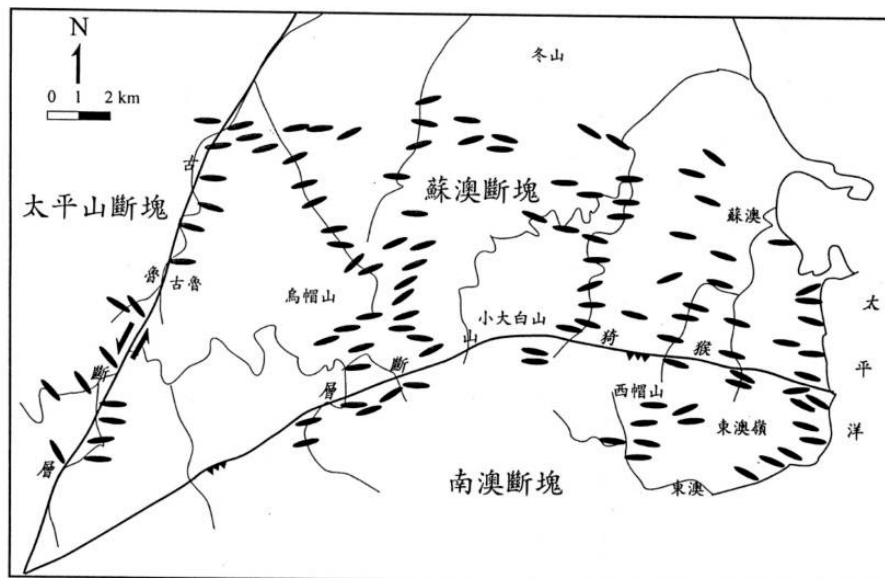


圖 4-78：中央山脈蘇澳斷塊與南澳斷塊應變橢圓長軸投影軌跡圖

(資料來源：林啟文，1998)



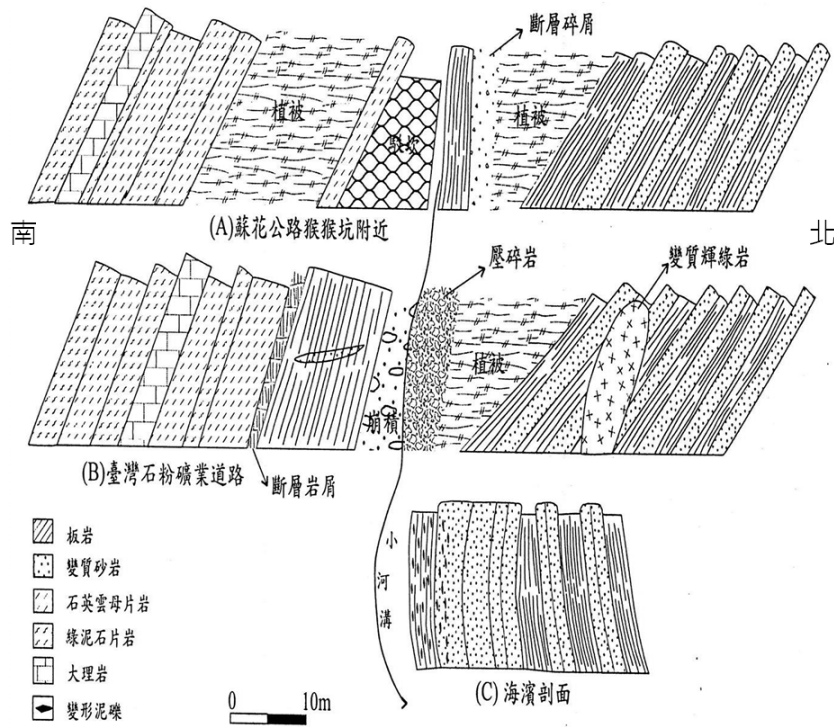


圖 4-79：南蘇澳層中靠近大南澳片岩交界的變質輝綠岩脈地質剖面圖  
(資料來源：林啟文，1998)

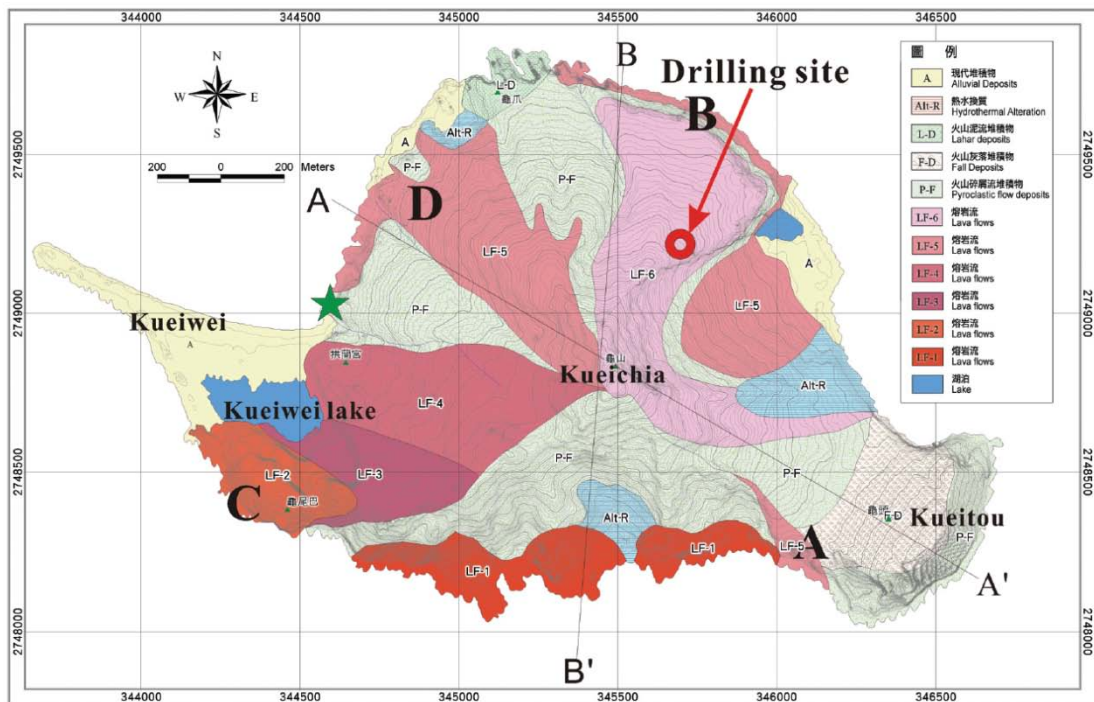


圖 4-80：龜山島地質圖  
(摘自：Chiu et al., 2010)

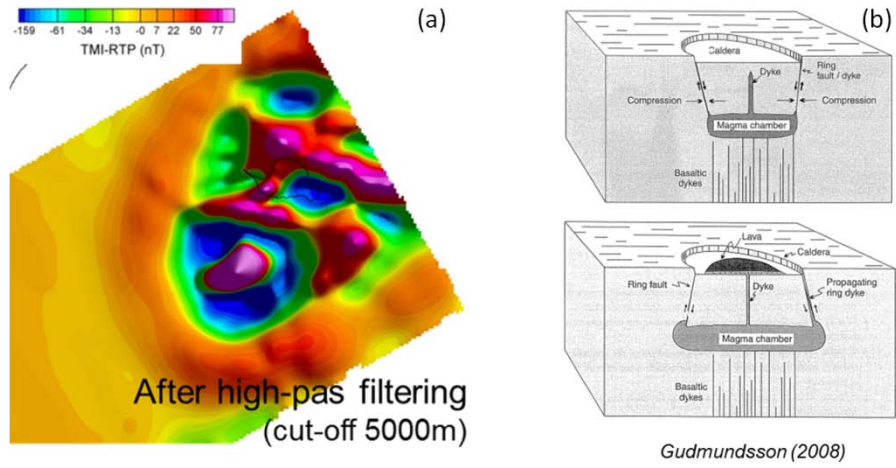


圖 4-81：龜山島鄰近區域之環狀磁力高區及其成因模型示意圖

(a) 龜山島鄰近區域之剩餘磁力異常圖；(b) 環狀岩脈成因模型示意圖。

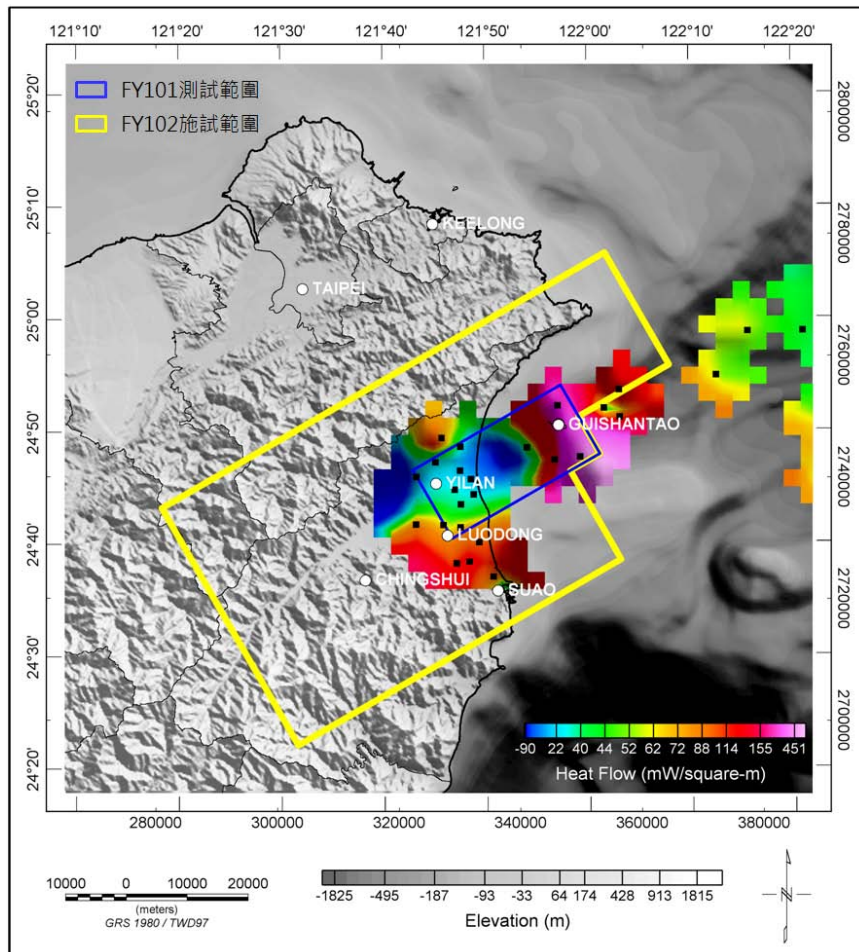


圖 4-82：蘭陽平原陸海域熱流值分布圖

(資料來源：江協堂，2010)

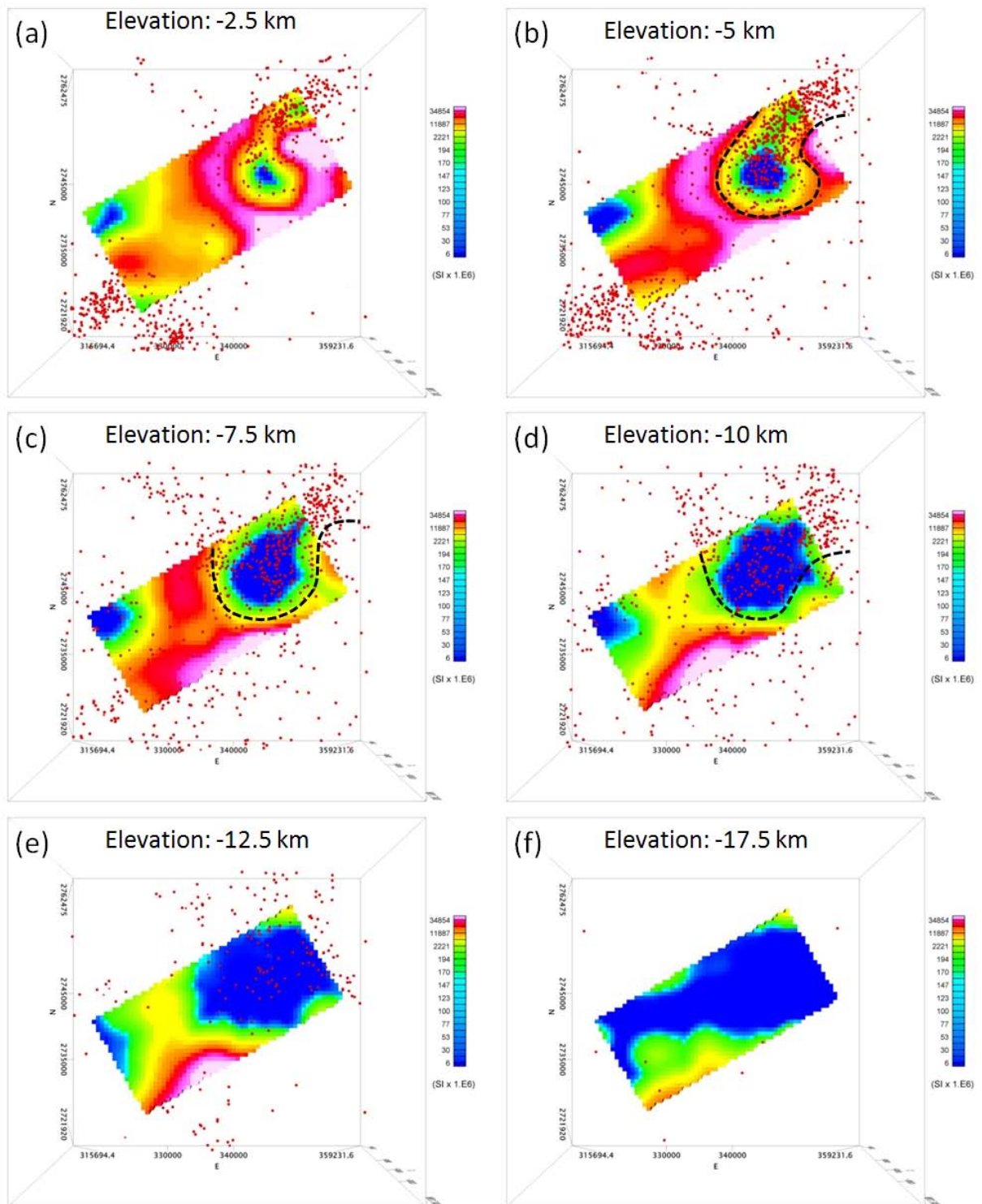


圖 4-83：磁感率等高程切面圖套疊微震分布圖

(微震紀錄由林正宏提供未發表資料，紀錄期間 2009 - 2010；各等深度切面圖上所套疊之微震，係篩選該高程以上 2.5 km 範圍內之微震紀錄)



## 4.5 教育訓練與技術轉移

本計畫分別於 2012 年 6 月 26 日及 11 月 2 日，各辦理一場次教育訓練，內容包括技術原理、本計畫引進之設備介紹、資料處理方法及軟體操作及初步成果等。兩場次課程之議程分別如表 4-13 及表 4-14 所示，參加人員包括地調所及本計畫團隊相關人員，現場照片如圖 4-84 及圖 4-85，總計有 61 人次參加。



圖 4-84：第一次教育訓練現場照片



圖 4-85：第二次教育訓練現場照片

表 4-13：第一次教育訓練課程表

時間	項目	講師
08:30-09:00	報到	
09:00-09:50	空中地球物理探測技術發展與應用	董倫道
10:00-10:50	甚低頻電磁探測原理	鄭懌
11:00-11:50	磁力探測原理	董倫道
11:50-13:00	午餐/休息	
13:00-13:50	我國相關飛航申請作業規定及流程	戴君翰
14:00-14:50	本計畫之探測項目與執行方式	董倫道
15:00-15:50	Geosoft 軟體操作訓練-基本操作	董倫道
16:00-16:30	討論	

時間：民國 101 年 06 月 26 日(星期二)

地點：工業技術研究院 89 館 B113 會議室

表 4-14：第二次教育訓練課程表

時間	項目	講師
08:30-09:00	報到	
09:00-09:50	空中地球物理探測技術發展與應用	董倫道
10:00-10:50	三軸拖鳥儀器設備及本計畫飛航過程介紹	董倫道
11:00-11:50	磁力資料處理及初步圖幅成果說明	董倫道
11:50-14:00	午餐/休息	
14:00-14:50	宜蘭平原及周圍山區之地質簡介	張中白
15:00-15:50	宜蘭地區深層地質綜合解釋	林蔚
16:00-16:30	討論	

時間：民國 101 年 11 月 2 日(星期五)

地點：經濟部中央地質調查所 1 樓禮堂

## 5 結論與建議

### 5.1 結論

本計畫已順利引進三軸拖鳥磁力及甚低頻電磁探測設備，並自行發展空中磁測專用導航系統，成功地完成了本年度飛行測試工作，更由本年度獲得的高精度空中磁力資料，對於宜蘭平原及其鄰近海域之基盤構造與龜山島火山活動有更進一步的瞭解。總括本計畫獲得的主要結論擇要敘述如下：

- (1) 本計畫已初步成功地建立了本土的空中磁測與甚低頻電磁探測技術。
- (2) 龜山島鄰近火山岩分布範圍約達直徑 9 公里，概略以龜山島之龜首為中心，龜山島火山活動曾順基盤岩既有的東南東方向裂隙帶，發生裂隙噴發活動及岩脈侵入作用，形成東南東方向之帶狀磁力高區，後因火山白陷落作用而形成環狀岩脈。環狀岩脈內的低磁力區域推測對應岩漿庫位置，因受高溫影響導致磁力強度相對減小，故此區之居里深度較周遭地區淺，深度約僅 6 公里上下。
- (3) 由磁力異常圖上共辨認出 6 組主要磁力線形特徵，與沖繩海槽的北緣邊界及調查區內地下主要火成岩體邊界及構造等有關。陸域的細部磁力線形，則與地表觀察的構造區塊長期變形特徵一致，並可作為深層基盤分界的依據。暗示蘭陽溪南岸的近東西向的高磁性岩體，有可能為中央山脈地層中的變質輝綠岩脈。
- (4) 以巨觀角度顯示居里深度在調查範圍之東北側相對較淺，高程約-10 公里上下，向西南方向逐漸加深至高程約-20 公里上下。龜山島及其西南側區域內之居里深度，推測自高程約-4 公里向下逐漸擴大，顯示此範圍內的居里深度相對極淺，暗示地下蘊藏巨大熱源。
- (5) 本年度獲得的空中 VLF-EM 資料雖因調查範圍位於海域及平原區，受 VLF-EM 探測深度限制，調查範圍內海域及蘭陽平原區無顯著電性構造，但由龜山島處的 VLF-EM 異常呈現東北-西南的線形，與磁力解釋的線形一致，



顯示空中 VLF-EM 未來在山區之探測，或能收到預期成效。

## 5.2 建議

隨著我國對於地熱資源探勘之推動，國科會地熱主軸計畫及能源局的地熱開發等計畫，先後針對台灣北部大屯山及蘭陽平原一帶擬定地熱探勘計畫，而本計畫之執行將獲得重要的區域構造資訊，可謂台灣北部地區地熱探勘計畫之前導性工作。因此，中油公司與能源局自下年度起合作針對大屯山地區進行空中磁力探勘，並期望與本計畫之探測範圍相互搭配，以收資料整合及資源有效運用之功效。依據與中油公司之討論，大屯山區之探測範圍初步規畫如圖 5-1 所示，與本計畫下年度調查範圍相接，以便能組合成完整的磁力異常圖。

有鑑於本年度計畫對龜山島鄰近區域所獲得的重要發現，顯示龜山島的高磁性岩體有向北延伸的現象，且 MH2 高磁性岩體亦有向東或東北延伸的可能性，對於建構完整之地質架構關係重大。但是，若依據原先的調查範圍(圖 5-1 黃色所圍區域)，則上述問題恐將無法獲得充份解答。

考量計畫之執行成本，若下年度經費無其它補充情況下，建議調整下年度之探測區域如圖 5-1。刪除標示Ⓐ區域之工作量，移至Ⓑ區域執行，使下年度區域能比較完整覆蓋龜山島區域，又能大致覆蓋蘭陽平原及其西側之清水及土場等區域。

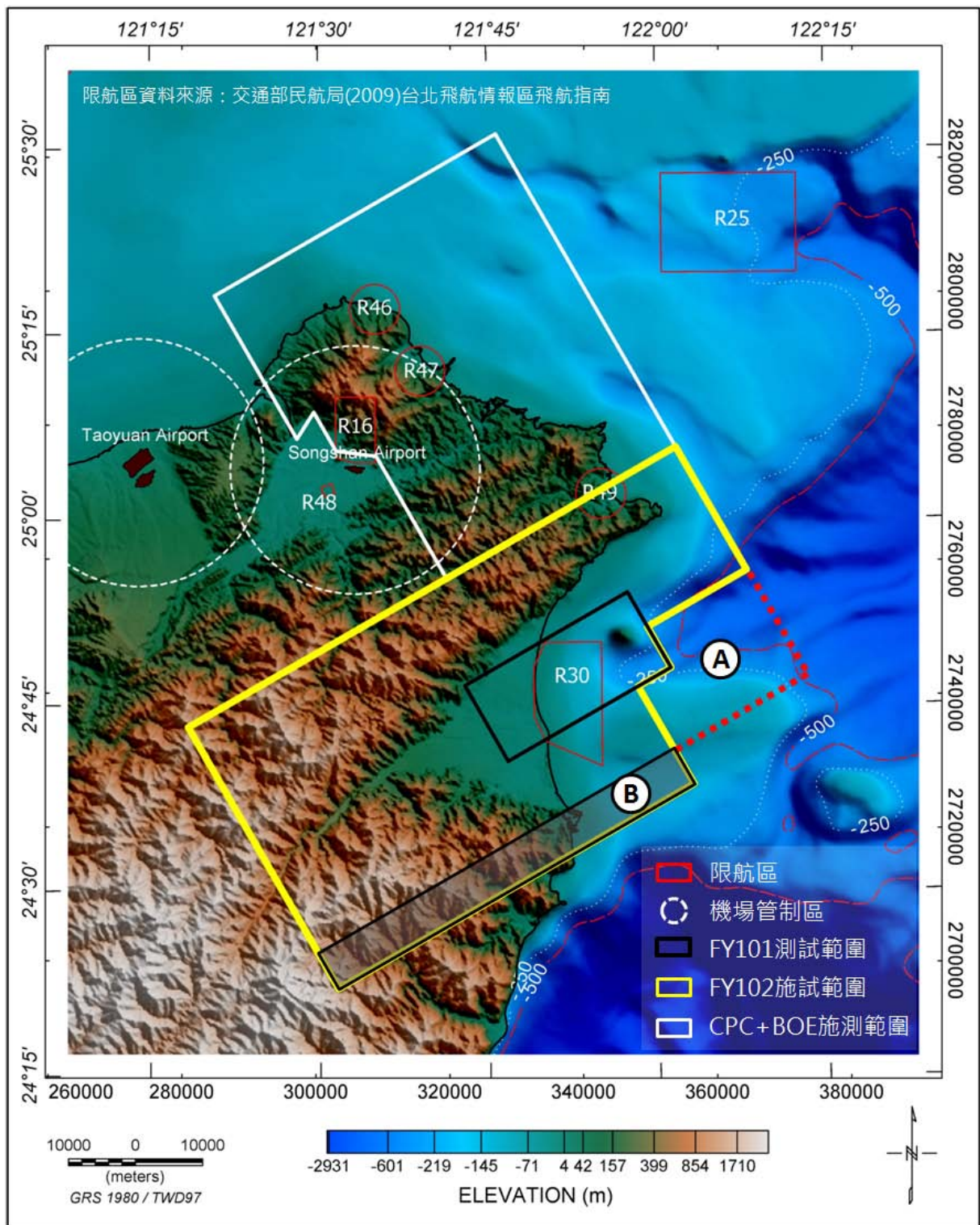


圖 5-1：下年度飛行範圍調整建議

## 6 參考文獻

- 中央地調所 (2000)。五十萬分之一臺灣地質圖。
- 中國國土資源部 (2010)。航空磁測技術規範。共 56 頁。
- 王乾盈 (2010)。都會區深部地下構造震測研究 V：蘭陽平原。國科會研究成果報告(精簡版)，NSC 99-2116-M-008-043，共 28 頁。
- 石瑞銓 (2011)。台灣碰撞帶與造山帶的活動構造研究-蘭陽平原沈積與活動構造震測研究。國科會研究成果報告(精簡版)，NSC 98-2116-M-194-011，共 13 頁。
- 交通部民航局 (2012)。台北飛航情報區飛航指南。2012/04/06 摘自民航局 <http://www.caa.gov.tw/big5/content/index.asp?sno=8> 法令規範及手冊指引網站。
- 朱秋紅 (2005)。龜山島高鎂安山岩之岩漿成因。台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 99 頁。
- 江協堂 (2010)。台灣東北部蘭陽平原及龜山島之地熱研究。國立臺灣大學海洋研究所博士論文，共 106 頁。
- 江新春 (1976)。蘭陽平原之震測。礦業技術，第 14 卷，第 6 期，215-221。
- 何春蓀 (1975)。台灣地質概論。台灣地質圖幅說明書，經濟部出版，共 153 頁。
- 吳永助 (1976)。清水土場地熱區及其外圍之地質。礦業技術，第 14 期，第 484-489 頁。
- 李錫堤、鄧屬予、劉聰桂、蔡龍珩 (1993)。臺灣北部金山-新莊-山腳斷層活動性之地質評估(I)。國科會專題研究計畫成果報告，共 80 頁。
- 林啟文 (1998)。台灣東北部板岩帶與片岩帶之構造特性與構造演化。國立台灣大學地質學研究所博士論文，共 173 頁。
- 林啟文、林偉雄 (1995)。五萬分之一臺灣地質圖及說明書-第 15 號，三星圖幅。經濟部中央地質調查所，共 55 頁。
- 林蔚 (2001)。華南沿海地區晚燕山期侵入岩漿活動及大地構造意義。國立台灣

- 大學，地質科學研究所，博士論文，共 236 頁。
- 邱清龍（2006）。龜山島火山岩之岩漿演化及其構造上的隱示。台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 63 頁。
- 邱詠恬、景國恩、侯進雄、胡植慶、饒瑞鈞（2008）。由 2002-2006 年之 GPS 觀測資料探討宜蘭平原之地殼變形。經濟部中央地質調查所特刊，第 20 號，第 111 - 124 頁。
- 洪崇勝（2011）。臺灣北部橫貫公路低度變質岩之岩石磁學兼論雪山山脈與中央山脈之地層對比。經濟部中央地質調查所特刊，第二十五號，第 167-179 頁。
- 徐閔儀（2006）。臺灣北部震間地殼變形：1995-2005 年 GPS 觀測。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 114 頁。
- 康竹君（2007）。蘭陽平原地區之新期構造分析研究。國立臺灣海洋大學，應用地球科學研究所碩士論文，共 84 頁。
- 康竹君、張翠玉、李建成、陳柔妃（2008）。南沖繩海槽之最西端及梨山斷層最北端：蘭陽平原的構造活動特性。Western Pacific Earth Sciences，第 8 期。
- 張峻璋（2010）。利用反射震測探討宜蘭平原南部之基盤深度及斷層分布。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 97 頁。
- 許雅儒（1999）。由 GPS 觀測資料探討宜蘭平原的伸張變形。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 110 頁。
- 陳文山、楊志成、吳樂群、楊小青、陳勇全、顏一勤、劉立豪、黃能偉、林啟文、張徽正、石瑞銓、林偉雄（2004）。沉降環境的山麓河谷地形特性—探討台北盆地、蘭陽平原與屏東平原鄰近山麓地形與構造的關係。經濟部中央地質調查所彙刊，第十七號，第 79-106 頁。
- 曾長生（1978）。宜蘭縣清水及土場區地質及地熱產狀。台灣石油地質，第 15 號，第 11-23 頁。
- 游峻一（2011）。台灣北部造山帶的活動構造研究—運用地電阻影像剖面法與音頻大地電磁波法研究宜蘭盆地北側基盤及斷層。國科會研究成果報告(精簡版)，NSC 99-2116-M-231-005，共 11 頁。

- 黃信樺 (2007)。台灣東北地區的地質構造：由碰撞末期轉變為隱沒拉張之構造特性。台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 110 頁。
- 楊潔豪、呂崇嘉、林思源、陳平護 (1992)。蘭陽平原之電性地層研究。經濟部中央地質調查所特刊，第六號，第 251–262 頁。
- 詹新甫 (1976)。台灣雪山山脈之摺皺與塊體運動。台灣省地質調查所彙刊，第 25 號，第 29–34 頁。
- 劉桓吉 (1989)。五萬分之一臺灣地質圖及說明書-第 6 號，新店圖幅。經濟部中央地質調查所，共 31 頁。
- 蔡義本 (1976)。宜蘭地區之地震研究。礦業技術第 14 卷，第 5 期，第 156–165 頁。
- 鄧屬予 (2007)。台灣第四紀大地構造。經濟部中央地質調查所特刊，第 18 號，第 1–24 頁。
- 藍德芳 (2010)。台灣北部及沖繩海槽氣體地球化學研究：氣體通量、地體構造與地球逸氣之隱示。國立台灣大學地質科學研究所博士論文，共 89 頁。
- 蘇清全 (2011)。蘭陽平原末次冰期以來沉積環境變遷與構造作用特性。台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 125 頁。
- Angelier J., Chang, T.Y., Hu, J.C., Chang, C.P., Siame, L., Lee, J.C., Deffontaines, B., Chu, H.T., and Lu, C.Y. (2008). Does extrusion occur at both tips of the Taiwan collision belt, Insights from active deformation studies in the Ilan Plain and Pingtung Plain regions. *Tectonophysics*, 466, 356–376.
- Beamish, D. (1994). Two-dimensional, regularised inversion of VLF data. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 357–374.
- Bruno, V., Fairhead, J.D., Green, C.H., Leed, G., and MacKenzie, C. (2004). New insights into magnetic derivatives for structural mapping, *The Leading Edge*, 2, 116–119.
- Chan, Y.C., Chen, R., Lee, J., Chang, K., Hsieh, Y., Tsao, S. (2008). Active Normal Faulting Revealed by the LiDAR DTM in the Mountainous Area, North of the Lanyang Plain, Taiwan. Annual Meeting of Geological Society of Taiwan, .

- Chen, Y.G., Wu, W.S., Chen, C.H., and Liu, T.K. (2001). A date for volcanic eruption inferred from a siltstone xenolith. *Quat. Sci. Rev.*, 20, 869–873.
- Chiu, C.L., Song, S.R., Hsieh, Y.C. and Chen, C.X. (2010). Volcanic characteristics of Kueishantao in northeast Taiwan and their implications. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 21, 575–585.
- Chung, S.L., Wang, S.L., Shinjo, R., Lee, C.S., and Chen, C.H. (2000). Initiation of arc magmatism in an embryonic continental rifting zone of the southernmost part of Okinawa Trough. *Terra Nova.*, 12, 225–230.
- Constable, S.C., Parker, K.L., Constable, C.G. (1987). Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from EM sounding data. *Geophysics*, 52, 289–300.
- Denisse, L.A., Tejero, A, Chavez, R.E., Lopez, P.A., and Bravo, R. (2009). 3D modeling of magnetic data from an archaeological site in north-western Tlaxcala state, Mexico, *Journal of Archaeological Science*, 36(8). 1661–1671.
- Dutra, A.C. and Marangoni, Y.R. (2009). Gravity and magnetic 3D inversion of Morro do Engenho complex, Central Brazil, *Journal of South American Earth Sciences*, 28, 193–203.
- Fraser, D.C. (1969). Contouring of VLF-EM data. *Geophysics*, 34, 958–967.
- Grant, F.S. and West. G.F. (1965). *Interpretation theory in applied geophysics*: McGraw-Hill.
- Grauch, V.J.S., Hudson, M.R., and Minor S.A. (2001). Aeromagnetic expression of faults that offset basin fill, Albuquerque basin, New Mexico. *Geophysics*, 66, No. 3, 707–720.
- Gudmundsson, A. (2008). Magma-chamber geometry, fluid transport, local stresses, and rock behaviour during collapse-caldera formation. In: Gottsmann, J. & Marti, J. (eds.) *Caldera Volcanism: Analysis, Modelling and Response*. Elsevier, pp. 313–349.
- Hou, C.S., Hu, J.C., Ching, K.E., Chen, Y.G., Chen, C.L., Cheng, L.W., Tang, C.L., Huang, S.H., Lo, C.H. (2009). The crustal deformation of the Ilan Plain acted as a westernmost extension of the Okinawa Trough. *Tectonophysics*, 466, 344–355.



- Hsu, S.K., Sibuet, J.C., and Shyu, C.T. (1996). High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies An enhanced analytic signal technique. *Geophysics*, 61, 373–386.
- Hsu, S.K., Liu, C.S., Thyu, C.T., Liu, S.Y., Sibuet, J.C., Lallemand, S., Wang, C., and Reed, D. (1998). New gravity and magnetic anomaly maps in the Taiwan-Luzon region and their preliminary interpretation, TAO, Vol. 9, No. 3, 509–532.
- Jaques, A.L., Wellman, P., Whitaker, A., and Wyborn, D. (1997). High-resolution geophysics in modern geological mapping. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17, No. 2, 159–173.
- Jeng, Y., Lin, M.J. Chen, C.S. (2004). A very low frequency-electromagnetic study of the geo-environmental hazardous areas in Taiwan. *Environmental Geology*, 46, 784–795.
- Jeng, Y., Lin, M.J., Chen, C.S., Wang, Y.H. (2007). Noise reduction and data recovery for a very low frequency electromagnetic survey using the nonlinear decomposition method. *Geophysics*, 72, F223–F235.
- Kao, H., Shen, S.S.J., and Ma, K.F. (1998). Transition from oblique subduction to collision: Earthquakes in the southernmost Ryukyu arc-Taiwan region. *J. Geophys. Res.*, 103, 7211–7229.
- Keating, P. (1995). A simple technique to identify magnetic anomalies due to kimberlite pipes, *Exploration & Mining Geology*, 4, No. 2, 121–125.
- Liang, W. T., Lee, J. C., Kuo, B. Y. (2005). Left-lateral strike-slip faulting in Ilan: Lateral extrusion at the transition between Taiwan mountain range and Okinawa Trough, *Geodynamics and Environment in East Asia International Conference & 5th Taiwan-France Earth Science Symposium*, 100–103.
- Liaw, T.L. and Yeh, Y.H. (1983). Crustal structure of P-wave velocity in northeastern Taiwan. *Bull. Inst. Earth Sci., Academia Sinica*, 3, 1–12.
- Liu, C. C. (1995). The Ilan plain and the southwestward extending Okinawa Trough, *J. Geol. Soc. China*, 38, 3, 183–193.
- Luyendyk, A.P.J. (1997). Processing of airborne magnetic data. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17, No. 2, 31–38.

- MacLeod, I. N., Jones, K., and Dai, T. F. (1993). 3-D analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes, *Exploration Geophysics*, 24, 679–988.
- Okuma, S., Stotter, C., Supper, R., Nakatsuka, T., Furukawa, R., and Motschka, K. (2009). Aeromagnetic constraints on the subsurface structure of Stromboli Volcano, Aeolian Islands, Italy. *Tectonophysics*, 478, 19–33.
- Pettit, W. (2009). Geophysical signatures of some recently discovered large kimberlite pipes on the Alto Cuilo concession in northeastern Angola, *Proceedings of the Ninth International Kimberlite Conference*, 106–115.
- Shyu, J. B. H., Sieh, K., Chen, Y. G., Liu, C. S. (2005). Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 110, B08402, doi:10.1029/2004JB003251.
- Sibuet, J.C., Deffontaines, B., Hsu, S.K., Thareau, N., Le Formal, J.P., Liu, C.S., and the ACT party (1998). Okinawa Trough basin: Early tectonic and magmatic evolution. *J. Geophys. Res.*, 103, 30245–30267.
- Teng, L.S. (1996). Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt. *Geology*, 24, 949–952.
- Tong, L.T., Ouyang, S., Guo, T.R., Lee, C.R., Hu, K.H., Lee, J.L., and Wang, C.J. (2008). Insight into the Geothermal Structure in Chingshui, Ilan, Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 19, No.4, 413–424.
- Ueda, Y. (2007). A 3D magnetic structure of Izu-Oshima Volcano and their changes after the eruption in 1986 as estimated from repeated airborne magnetic surveys. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 164, 176–192.
- Wu, F.T., Liang, W.T., Lee, J.C., Benz, H., Villasenor, A. (2009). A model for the termination of the Ryukyu subduction zone against Taiwan: A junction of collision, subduction/separation, and subduction boundaries. *Journal of Geophysical Research*, 114, B07404, doi:10.1029/2008JB005950.
- Yang, T.F., Lan, T.F., Lee, H.F., Fu, C.C., Chuang, P.C., Lo, C.H., Chen, C-H., Chen, C.T.A., and Lee, C.S. (2005). Gas compositions and helium isotopic ratios of fluid samples around Kueishantao, NE offshore Taiwan and its tectonic

- implications. *Geochemical Journal*, 39, 469–480.
- Yeh, Y.H., Lin, C.H. and Roecker, S.W. (1989). A study of upper crustal structures beneath northeastern Taiwan: Possible evidence of the western extension of Okinawa Trough, *Proc. Geol. Soc. China*, 16, 19–27
- Yu, S. B. and Lee, C. (1986). Geodetic measurement of horizontal crustal deformation in eastern Taiwan, *Tectonophysics*, 125, 73–85.
- Yu, S. B., Chen, H. Y., Kuo, L. C. (1997). Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, 41–59.
- Yu, S.B., and Tsai, Y.B. (1979). Geomagnetic anomalies of the Ilan plain, Taiwan. *Petroleum Geology of Taiwan*, 16, 19–27.

## 7 附錄

	頁次
7.1 期末報告審查意見及答覆辦理說明.....	139
7.2 空中磁力探測設備型錄.....	144
7.3 三軸拖鳥組裝及操作手冊.....	149
7.4 地面測試紀錄表.....	160
7.5 飛航申請函文.....	167
7.6 飛航作業及臨時起降場同意函.....	184
7.7 岩層露頭磁感率及電阻率量測紀錄.....	192
7.8 磁力異常圖幅.....	229

## 7.1 期末報告審查意見及答覆辦理說明

項次	審查委員意見	承辦單位意見答覆及處理情形
1	圖幅不清楚：圖 2-4、圖 2-10	將進行適當美工以加強圖的清晰度。
2	應說明截切波長為何選擇 5,000 公尺；向上延伸為何選擇 1,000 公尺	資料處理過程以不同截切波長及向上延伸距離進行處理，以分析其差異性。但報告中係配合說明區域磁力異常特徵，故選擇其中代表性區域磁力異常圖，用以說明調查區內深部的磁力特徵。
3	圖 4-8(c)請更換	圖 4-8(c)係用以說明儀器操作訓練情形時的照片，將遵照審查意見抽換背景無變電站之照片。
4	圖 4-42 到 44 不需要比較	圖 4-42 至圖 4-44 係比較本計畫產出磁力異常圖，與過去國內使用多年之海域磁力異常圖，倘若二者有出入則需進一步分析造成差異的原因，倘若具有共同特徵，則意味用於後續處理是可信的。國內許多研究區域當使用新的方法進行探測後，往往需與先前類似研究成果相比較。參考其他委員對此議題之意見，將於圖 4-43 及圖 4-44 中，標註本計畫探測範圍，以方便比較。
5	磁力基站選取一連續 30 分鐘的紀錄不夠。另可加氣象局連續站資料，檢視外部磁場的干擾。(突波)	如本計畫書之規畫，當本計畫自行設置的臨時性磁力基站，發生無法獲得正確記錄情況時，將購買氣象局之磁力觀測站資料使用。除節約成本之外，自行設置臨時磁力基站，具有資料取得容易且與測區距離較近的優點。依據國際慣例，空中磁測臨時性磁力基站之選址，並不需要如選擇固定式磁力基站般嚴謹，而且本計畫所使用的磁力儀與氣象局使用的磁力儀廠牌相同，同時本計畫也有使用氣象局磁力基站紀錄作為替代方案之規畫。由本年度計畫的實測紀錄，顯示並未發生紀錄不良的情況。下年度選擇臨時性磁力基站時，將參酌委員之建議。
6	資料處理說明加強。如 IGRF 所採用的資訊；RTP 的磁偏角和磁傾角。	將於期末報告中增加說明 IGRF 修正及 RTP 處理所採用的參數。
7	摘要關鍵字請確認。英文摘要中的 Kueishan Island 或 Kueishan tao。	將統一使用 Kueishan Island。
8	連續紀錄、採樣間距換算或距離的值宜一併列出。	本計畫磁力及 VLF-EM 記錄之採樣頻率設定為 10 Hz，以飛行速度 150 km/hr 推算，沿測線之採樣間格約為 4.17 m。將於期末報告中增加說明。

項次	審查委員意見	承辦單位意見答覆及處理情形
9	圖 4-42 與 4-44 互相比較，是否能將 4-44 圖中與 4-42 相同之範圍劃出。	遵照委員意見，將於圖 4-43 及圖 4-44 中，標註本計畫探測範圍，以方便比較。
10	圖 4-58 之誤差網格大小量於圖 4-56 或圖 4-54 之影響範圍可否適度說明。	誤差網格提供在進行磁體分布解釋時的信賴度參考。由圖 4-58 誤差網格顯示在龜山島南側區域的誤差相對較大，與圖 4-45 比較，可知其位置概略與龜山島鄰近的高磁力異常區對應，而龜山島鄰近的磁力訊號主要來自龜山島四週的火成岩體。比較圖 4-55 及圖 4-57，顯示輸入網格與理論網格間特徵非常一致，且平均誤差亦很小，暗示在不考慮非唯一性情況下，逆推結果(圖 4-56)可用以反映地下磁體分布。
11	圖 4-62 VLF Total field 的範圍約在 -0.69~+0.4 之間，這種小範圍差距，它的解析能力能否再多說明。	多數地球物理的解析能力與 S/N ratio 有關，若訊號強度低於雜訊水平時，很困難解析，當訊號高於雜訊水平時則易於解析。VLF-EM 訊號弱但並不影響其解析，關鍵仍在於是否有足夠的 S/N ratio。以圖 4-59d 及圖 4-60d 為例，圖 4-59d 可視為雜訊，其平均訊號強度概略介於±0.4 pT 之間，圖 4-60d 通過龜山島時的訊號強度則大於 2 pT，數倍於雜訊水平，故可知該訊號是可信的。
12	地質解釋 (P.117) 的部分應更深入探討，另須配合已發表過的數據來解釋。	針對基盤地質解釋補充已發表文獻 Tong et al. (2008) 說明蘭陽平原深層基盤地質之比較，以及 Ciu et al. (2010)說明龜山島火山岩體下方基盤地質特性。
13	請詳述 Caldera 的定義及成因和特徵。	依據火山學對 Caldera 的定義，Caldera 通常指岩漿庫因岩漿釋出後，無法承載上方岩層重量導致上方岩層塌陷，故最後在地表往往具有環狀陷落的地形特徵，火山口則通常位於陷落的中心地帶。劇烈的火山爆發或岩漿自岩層裂隙緩慢流出，都有可能形成 Caldera 構造。
14	請就 3D 的剖面異常深入討論可能的成因。	本計畫係第一年工作，已盡最大努力就目前所收集到的資訊分析三維磁體分布背後可能隱含的地質意義，後續仍需廣納地質先進的看法。
15	環狀特徵請仔細描述量化磁性特徵。	由圖 4-75 顯示圈狀高磁力異常帶的磁感率約 30000 SI 上下，依據地表所能收集到岩石標本的磁感率，顯示只有如龜山島上的安山岩或角閃岩等類岩石才具有如此高的磁性，以其與龜山島的地緣關係及幾何形狀，故推測為岩漿侵入後冷卻造成。這是依目前片段資訊所提出的解釋，後續仍需廣納地質先進的看法。



項次	審查委員意見	承辦單位意見答覆及處理情形
16	建議調整範圍 B 到範圍 A，就陸上資源探勘的角度而言，應維持現有的規劃。	關於第二年度範圍之調整，本計畫係依考量與本年度計畫間之關聯及航線規劃等考量提出建議，第二年度調查範圍將依據地調所合約規定執行。
17	建議用五萬分之一地質圖(原圖為五十萬分之一)。	由於本年度計畫調查範圍局限於海域及平原區，尚無與既有地質圖間比對之需求，故於圖 2-3 使用五十萬分之一地質圖作為底圖，用以概略說明區域地質概況。本計畫已經收集五萬分之一地質圖，下年度工作涵括山地區域，屆時將使用地調所出版的五萬分之一地質圖做為底圖，並與空中磁測結果相互比較。
18	磁力資料修正，圖 4-33~圖 4-41 需個別說明經過哪幾個步驟修正。	將於期末報告中，增加圖說以明確說明各磁力異常圖所經過的處理步驟。
19	磁力線形是否改為磁力條帶(magnetic stripe)。	磁力線形之原文為 magnetic trend，是磁力資料解釋的過程，代表連續的磁力高區或低區，本計畫參酌其原義翻譯為”磁力線形”，與海洋板塊磁力異常圖中的慣用的磁力條帶意義不一樣。
20	火成作用的解釋建議考慮時間關係。	除龜山島有熱螢光定年外，脊樑山脈與雪山山脈基盤中火成岩並無直接年代分析。初步針對基盤可能存在的火成作用年代關係分析如下：蘭陽平原下具磁力線形的高磁岩脈，反映曾受過變質與變形作用，可能與夾於南蘇澳層的變質輝綠岩脈同期的岩漿活動有關。該岩脈的侵入年代，晚於南蘇澳層沈積的年代，且其火成作用屬於洋脊玄武岩漿的侵入作用，可能與南中國海版塊於漸新世至中新世的張裂活動有關(林蔚，2001)；且因具有變質與變形特徵(林啟文，1998)，應早於蓬萊運動年代。因此，變質輝綠岩脈的火成活動，遠早於全新世龜山島的火山活動。
21	請提供甲方所有空中磁測的原始數據及處理後的數據。	依照合約規定，本計畫將提供調查相關數據，並將另外製作 GIS 圖檔，供後續套疊其它圖層。
22	請整合過去宜蘭頭城金面山及金瓜石地區陸上磁力資料和南沖繩海域的磁測資料，嘗試編製台灣東北部的磁性分布圖，以利判釋潛伏的火成岩體。	整合陸域、海域及空中磁力資料在運算技術上困難度不高，但是不同解析度圖幅是否有整合之必要是關鍵。由於本年度計畫調查範圍小，加上海域資料取得問題需先獲得解決，故有關磁測資料整編工作，若地調能提供可用之磁力資料，或同時提供海域重力資料，本計畫樂於協助整編及進行進階處理，供後續地質人員參考解釋之用。初步建議如下： (1) 海域重磁力資料範圍大但精度不若空中磁測，故

項次	審查委員意見	承辦單位意見答覆及處理情形
		<p>可經三維逆推後，用以瞭解大區域地下磁體分布，若能再與過去海上震測資料相比對，更能收整合解釋之成效。</p> <p>(2) 空中磁測資料優於過去包括頭城金面山及金瓜石等地區地面磁力探測的成果，不建議將地面磁力資料與空中磁力資料整編。但仍可經比對後，挑選適當範圍的地面磁力資料進行處理，以分析相對較淺層的地下磁體分布。</p>
23	陸、海域高度不同，施測結果有否影響。	<p>在地形起伏區域進行空中磁測，離地高度差異是無法避免的。本計畫在陸海域施測時之飛行高度不同，主要考量海水層厚度及民航法之規定，在陸域之飛行高度高，在海域的飛行高度雖然較低，但若加上海水層厚度，則在海域與陸域，感測器與岩層間之距離，其相對差距並沒有想像中大。飛行高度差異造成的影響，在進行調平修正過程中，通常能將該影響降低至一定程度，並獲得平滑的磁力網格。就嚴謹的角度而言，下年度計畫調查範圍涵蓋山區，預期前述影響可能會相對較大些，但以工研院過去執行東部山區空中磁測的經驗，離地高度差異的變化，並不足以造成巨大負面影響。即使如此，本計畫仍將努力尋求/建立適當的處理技術，企圖降低前述影響。</p>
24	在平地、山區飛航及 towed bird 的穩定性。	<p>towed bird 的穩定性主要與飛航速度及突發性側風有關，其中飛航速度較易控制，而側風是比較無法預期的。由本年度飛行過程中所拍攝的影帶，及計畫主持人本身在飛機上執行工作時的親身感受，顯示本年度在飛近宜蘭平原北側山地及靠近龜山島時，飛機及 towed bird 明顯受到側向且局部性氣流影響，干擾飛機及 towed bird 的穩定性。由於本計畫執行飛航時，搭配空中地球物理導航系統，故即便遭遇側風干擾，機長仍能快速地反應，降低偏航的幅度，故由本年度的飛航經驗，944 公里測線中，大約只有幾十公尺的資料因側風導致無法使用。</p>
25	施測良好，資料處理可連同雪隧、金瓜石之磁測資料。	<p>所獲得的空中磁測資料優於過去地面磁力探測的成果，因此不建議將地面磁力資料與空中磁力資料整編。但仍可經比對後，挑選適當範圍的地面磁力資料進行處理，以分析相對較淺層的地下磁體分布</p>
26	為何 spike 都發生在飛機進場時。	<p>在測線頭尾部分，因航機轉彎必需降低飛航速度，造成 towed bird 的穩定性降低，故在此區間較容易造成 spike。本計畫在航線設計時，每條測線端點均向外延伸 500 公尺，以避免前述 spike 影響調查範圍內的</p>

項次	審查委員意見	承辦單位意見答覆及處理情形
		磁測資料。
27	第2年及後2年的工作建議。	<p>(1) 第二年工作建議</p> <p>考量調查範圍之完整性及飛行的效率，建議局部調整下年度之探測區域，如期末報告圖 5-1 所示。刪除原本規劃調查範圍之東南側帶狀區域，將其工作量移至龜山島東北側，使探測區域能比較完整覆蓋龜山島區域，又能大致覆蓋蘭陽平原及其西側之清水與土場等區域。</p> <p>(2) 後二年工作建議</p> <p>考量下年度如中油公司及能源局地熱計畫擬與地調所合作，共同執行大屯山區之空中磁測飛行現調工作(只限於資料收集)，故建議本計畫後兩年工作重點之一可以著重在大屯山區之解釋工作。依據本計畫最初之規劃，同時將探測範圍拓展至台灣東北海域，亦可考量將部分資源使用於台灣南部或東部潛在火山及地熱區之探測。因此，建議繼續研提後二年計畫，並接續將其它如熱紅外線等設備加掛上去，以使本計畫所建立的技術發揮最大功能。</p>
28	施測精度的可靠性的解釋。	本計畫所採用的空中磁力感測器，其準確率為 $\pm 0.1$ nT，靈敏度為 0.0025 nT@1 Hz，解析率為 0.0001 nT，是目前市場上先進的感測器。Towed bird 上的 GPS 天線，本計畫亦將原廠設計的單頻天線，更新為雙頻天線，提高單機定位的精度，故本計畫能獲得高解析度的磁力網格。
29	資料處理的結果及其可能代表的意義，提供資料使用者分析、解釋及其他地質意義的參考依據。	將於期末報告中說明各資料處理後磁力異常圖所代表的意義。
30	解釋已充足，可提供後續的參考；未來可將過去研究的磁測資料一同整編起來。	關於將過去磁測資料整編之議題，本計畫有能力亦樂於配合執行，但需地調所協助提供資料以便進行整編。

## 7.2 空中磁力探測設備型錄



# Advanced Airborne Systems

NEW!

**Our World is Magnetic.**

**Optically Pumped Potassium GSMP-35A is the most Advanced Airborne Sensor today.**

**It offers a number of benefits for towed and fixed wing configurations, including:**

---

All weather, highest sensitivity for enhanced resolution of geological and cultural features in a variety of applications.

---

Highest absolute accuracy (varying by no more than +/- 0.1 nT between sensors)

---

Fast sampling rate 20 Hz

---

VLF-EM Option available

---

Insensitivity to microphonics

---

Lowest maintenance (no realignments)

---

Complete Systems are available:

- Bird
- Radar Altimeter
- GPS (20 Hz)
- Data Acquisition

---

As well, GEM offers advanced base stations:  
 GSM-19W Overhauser  
 GSMP-35 Potassium

---

**All of these technologies come complete with two year warranty.**




Magnetometer, Vertical / Horizontal and Tri-Axial Gradiometers

offerings based on the latest GSMP-35A high resolution sensor.

The worldwide application of airborne magnetic and gradiometric data is growing - driven by the increasing demand for high-resolution data for mineral and oil exploration; UXO; and other requirements.

Major industry requirements for airborne mapping include durability, accuracy, and sensitivity.

GEM is pleased to offer a family of magnetic-based solutions featuring the highest resolution magnetometer / gradiometer airborne system available.

Standard configurations in GEM's family include:

- Airborne magnetometers
- Vertical and horizontal gradiometers
- Tri-axial gradiometers

And GEM also offers complete configurations of airborne solutions, such as:

- Bird
- Radar Altimeter
- GPS
- Data Acquisition
- Installation assistance

And, moreover, the company also supports both fixed-wing and helicopter applications with a range of systems already implemented.

Airborne Magnetometer Effect

The GSMP-35A magnetometer is the core of GEM's airborne solutions. The technology is based on a unique optically pumped Potassium sensor - offering an order-of magnitude increase in resolution over other systems. It also provides:

- Minimal "heading" errors
- Highest absolute accuracy
- Decreased maintenance costs

These advantages - plus GEM's reputation as a proven supplier of advanced technologies - make the GSMP-35A a key solution to consider for your next airborne installation.

Key Components

The GSMP technology comprises:

- Sensor head
- Radio Frequency (RF) pre-amplifier and drive electronics module/processor
- Cable (1 to 10m - standard 5m) to separate sensor and electronics for noise elimination
- Optional signal processor / console and cable

The sensor deploys as a single unit, or in combination with other sensors.

"We were very impressed with the airborne equipment and how well it performed; You have designed and built a great piece of equipment!"

Alan Davies, P.Eng., V.P. Exploration, Talmora Diamond Inc.

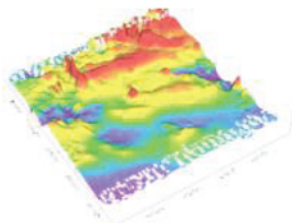
## Vertical / Horizontal Gradiometer

Benefits of Gradiometer:

- \* Freedom from diurnal effects and noise;
- \* "Real" analytic signal computed from measured gradients can be used for more accurate track positioning;
- \* Improved definition of structures that are non parallel to survey lines.

GEM's vertical and horizontal gradiometers are designed to fit the requirements of those needing high sensitivity, high accuracy magnetic results.

## Tri-Axial Magnetic Gradiometer



GEM's Tri-Axial Gradiometer was the first 4-sensor gradiometer developed in the world back in early 1980's using Overhauser technology. In this configuration four Potassium units can be installed in a special "bird" with two fins at the tips of an imaginary tetrahedron to allow for measurement of Total Magnetic Field and the gradients in three directions:

- \* Vertical gradient;
- \* Horizontal gradient (along-the-track);
- \* Horizontal gradient (across-the-track).

Horizontal gradient measurements are increasingly popular for providing details about the lateral extent of subsurface anomalies located between survey lines. Vertical gradients can assist significantly in identifying geologic / structural contacts and near-surface targets (such as UXO).

Other benefits include: providing a very stable and noise-free platform for acquiring high resolution data; delivers information for reducing of positioning errors using onboard GPS, and no magnetic compensation required.

## Airborne Base Station Configurations

Another area of application for GEM's magnetometers is in airborne base station monitoring. Customers have the choice of working with GSMP-35A or Overhauser (GSM-19W).

The GSMP-35A implementation offers advantages for surveys where very high resolution diurnal corrections are needed. GSM-19W implementations deliver good resolution and economical pricing.

Both implementations share a number of advanced features (introduced in GEM's v7.0 firmware release), including:

- \* Precise time synchronization of field and base station units using a built-in GPS option. This capability is particularly important for working in noisy magnetic conditions and provides the highest accuracy possible;
- \* Flexible scheduling (up to 30 on / off periods). Simply define a series of intervals and the base station will turn itself on as you need. This mode provides the greatest flexibility for longer surveys where leaving your base station on increases efficiency. Immediate start and daily modes are also provided.

## Benefitting from the Natural Properties of Potassium Optical Pumping

Experienced in Potassium technologies, we feel confident that your next survey will benefit in many ways, including acquisition of:

- \* Highest sensitivity data (reflecting Potassium spectrum characteristics and high natural frequency of 7 Hz/nT);
- \* Highest absolute accuracy (a variation of only +/- 0.1 nT between sensors makes the GSMP-35A an ideal choice for gradiometer installations);
- \* Data with minimal heading errors (reflecting the insensitivity of Potassium to aircraft / bird orientation)
- \* Data that is not affected by phonics (low frequency vibration in the audio range).

As well, maintenance costs are minimal in comparison with other systems as key components can be replaced in the field.

## Specifications

### Performance

Sensitivity: 0.0025 nT @ 1 Hz\*  
\*(optional 0.0007 nT @ 1 Hz GSMP-30A)  
Resolution: 0.0001 nT  
Absolute Accuracy: +/- 0.1 nT  
Range: 20,000 to 120,000 nT  
Gradient Tolerance: 30,000 nT/m  
Samples at: 1, 5, 10, 20 Hz

### Orientation

Sensor Angle: Optimum angle 30° between sensor head axis & field vector.  
Orientation: 10° to 80° & 100° to 170°  
Heading Error: +/- 0.05 nT between 10° to 80° and 360° full rotation about axis.

### Environmental

Operating Temperature: -20°C to +55°C \*\*  
Storage Temperature: -70°C to +55°C  
Humidity: 0 to 100%, splashproof  
\*\* Optional to -40°C

### Dimensions and Weights

Sensor: 148mm x 64mm (cylinder type); 1.5 kg  
Electronics Box: 229mm x 56mm x 39mm; 0.63 kg

### Power

Power Supply: 22 to 32 V DC  
Power Requirements: approx. 50 W at start up, dropping to 12 W after warm-up  
Power Consumption: 12 W typical at 20°C  
Warm-up time: <15 min. @ 20°C

### Outputs

20Hz RS-232 output with comprehensive Windows Personal Computer (PC) software for data acquisition and display.

Outputs UTC time, magnetic field, lock indication, heater, field reversal, position (latitude, longitude or UTM), GPS altitude, # of satellites and differential GPS

### Components

Sensor, pre-amplifier box, 5m sensor / pre-amplifier cable, manual & ship case.



GEM Systems, Inc.  
135 Spy Court Markham, ON Canada L3R 5H6  
Phone: 905 752 2202 • Fax: 905 752 2205  
Email: info@gemsys.ca • Web: www.gemsys.ca

Feb/15/2010





# Airborne VLF

GSM-90AV v7.0 VLF-EM

**NEW!**

Our World is **Magnetic.**

GEM's new Airborne VLF system combines data quality, survey efficiency and options that make it the best solution.

The latest VLF technology

### Specifications

#### Tuning

2 VLF stations simultaneously

#### VLF Stations

15.1, 16.0, 16.4, 17.1, 18.6, 19.0, 19.6, 21.4, 22.3, 23.4, 24, 24.8, 28.5 kHz;  
Other Stations available on request.

#### Parameters Measured

Frequency in kHz  
Total field strength in pT, in-phase and out-of-phase components as % of total field.

#### Resolution

0.1% of total field

#### Signal Quality

Shown by field strength values  
> 5 pT indicate high quality data.

#### Sampling

10, 5, 2, 1 Hz with RS-232 Output

#### Digital Compass

Heading, pitch and roll at 10 Hz

#### Tilt Correction

+/- 10 degrees of horizontal

#### Dimensions

Console: 223 x 69 x 240 mm  
Two Sensors: 140 x 140mm diam.

#### Operating Temperature

-20C to +50C

#### Power Source

External 22-32V, 185 Ah @ 24V  
12V for VLF console



**Airborne VLF-EM GSM-90AV Console with sensors.**

Can also be configured with additional sensor for magnetometer

### Taking Advantage of the GSM-90AV VLF-EM

VLF-EM system is a two frequency multi-component receiver that measures the in-phase and quadrature-phase fields from two separate radio transmitters in the VLF frequency range (e.g. 15-30 kHz). Such measurements can identify rock fractures and low conductance structures containing sulphide-bearing fluids rich in precious metals.

The GSM-90AV VLF-EM is a state-of-the-art airborne system that acquires data simultaneously from up to 2 transmitter frequencies. Data include in-phase, out-of-phase, horizontal component (x), horizontal component (y) and field strength in pT.

With data quality exceeding standard VLF instruments, GSM-90AV represents a unique blend of physics, data quality, operational efficiency, system design, and options that clearly differentiate it from other VLF systems.

### VLF Applications

A very low frequency (VLF) investigation is well suited to the location of geologic

faults (and approximating their attitudes), some types of geologic contacts, and buried conductive bodies including water-bearing faults. The VLF-EM frequency method is a passive system as it utilizes a fixed position transmitter broadcasting a frequency between 15 and 30Kz.

In a VLF investigation, the magnetic field components of the transmitted signal are measured.

This method can delineate contrasts in conductivity at depth and is used in the search for contacts, faults, mineralized bodies, overburden, fractures, voids and for a variety of other purposes, including the location of utility lines and siting of water wells.

Targets are of two primary types;

- 1) linear trends of considerable length that are more than 30 degrees from the horizontal
- 2) broader zones of lateral changes in conductivity related to such features as a plumes or alteration zones.

**GEM Systems, Inc.**  
135 Spy Court Markham, ON Canada L3R 5H6  
Phone: 905 752 2202 • Fax: 905 752 2205  
Email: info@gemsys.ca • Web: www.gemsys.ca

28/11/2008





# Overhauser

Magnetometer GSM-19 / Gradiometer GSM-19G  
Walking Magnetometer GSM-19W / Gradiometer GSM-19GW

Version 7.0

Our World is **Magnetic.**

GEM's unique Overhauser system combines data quality, survey efficiency and options into an instrument that takes the leading place in the industry.

And the latest v7.0 technology upgrades provide even more value:

Data export in standard XYZ (i.e. line-oriented) format for easy use in standard commercial software programs

Programmable export format for full control over output

GPS elevation values provide input for geophysical modeling Enhanced GPS positioning resolution

Standard GPS Option B:  

- 1m SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS)

 High resolution GPS Option D:  

- 0.6m SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS)
- 0.6m CDGPS (Canada, USA, Mexico)
- 0.6m OmniStar (VBS2 subscription)

Multi-sensor capability and VLF-EM Option for advanced surveys

Picket and line marking / annotation for capturing related surveying information on-the-go

**And all of these technologies come complete with the most attractive savings and warranty in the business!**



Overhauser (GSM-19W) Walking Magnetometer console. Can also be configured with additional sensor for gradiometer (simultaneous) readings.

The GSM-19 v7.0 Overhauser instrument is the total field magnetometer / gradiometer of choice in today's earth science environment -- representing a unique blend of physics, data quality, operational efficiency, system design and options that clearly differentiate it from other quantum magnetometers.

With data quality exceeding standard proton precession and comparable to costlier optically pumped cesium units, the GSM-19 is a standard (or emerging standard) in many fields, including:

- **Mineral exploration** (airborne and ground base station)
- **Environmental and engineering**
- **Pipeline mapping**
- **Unexploded Ordnance Detection**
- **Archeology**
- **Magnetic observatory measurements**
- **Volcanology and earthquake prediction**

### Taking Advantage of the Overhauser Effect

Overhauser effect magnetometers are essentially proton precession devices - except that they produce an order-of magnitude greater sensitivity.

These "supercharged" quantum magnetometers also deliver high absolute accuracy, rapid cycling (up to 5 readings / second), and exceptionally low power consumption.

The Overhauser effect occurs when a special liquid (with unpaired electrons) is combined with hydrogen atoms and then exposed to secondary polarization from a radio frequency (RF) magnetic field.

The unpaired electrons transfer their stronger polarization to hydrogen atoms, thereby generating a strong precession signal -- that is ideal for very high-sensitivity total field measurements.

In comparison with proton precession methods, RF signal generation also keeps power consumption to an absolute minimum and eliminates noise (i.e. generating RF frequencies are well out of the bandwidth of the precession signal).

In addition, polarization and signal measurement can occur simultaneously - which enables faster, sequential measurements. This, in turn, facilitates advanced statistical averaging over the sampling period and/or increased cycling rates (i.e. sampling speeds).

Please refer to the back of this brochure for contact information and GSM-19 specifications.

## Key System Components

Key components that differentiate the GSM-19 from other systems on the market include the sensor and data acquisition console. Specifications for components are provided on the right side of this page.

### Sensor Technology

GEM's sensors represent a proprietary innovation that combines advances in electronics design and quantum magnetometer chemistry.

Electronically, the detection assembly includes dual pick-up coils connected in series opposition to suppress far-source electrical interference, such as atmospheric noise. Chemically, the sensor head houses a proprietary hydrogen-rich

liquid solvent with free electrons (free radicals) added to increase the signal intensity under RF polarization.

From a physical perspective, the sensor is a small size, light-weight assembly that houses the Overhauser detection system and fluid. A rugged plastic housing protects the internal components during operation and transport.

All sensor components are designed from carefully screened non-magnetic materials to assist in maximization of signal-to-noise. Heading errors are also minimized by ensuring that there are no magnetic inclusions or other defects that could result in variable readings for different orientations of the sensor.

Optional omni-directional sensors are available for operating in regions where the magnetic field is near-horizontal (i.e. equatorial regions). These sensors maximize signal strength regardless of field direction.

### Data Acquisition / Console Technology

Console technology comprises an external keypad / display interface with internal firmware for frequency counting, system control and data storage / retrieval. For operator convenience, the display provides both monochrome text as well as real-time profile data with an easy-to-use interactive menu for performing all survey functions.

The firmware provides the convenience of upgrades over the Internet via the GEMLinkW software. The benefit is that instrumentation can be enhanced with the latest technology without returning the system to GEM -- resulting in both timely implementation of updates and reduced shipping / servicing costs.



## Our World is Magnetic.

### About GEM Advanced Magnetometers

GEM Systems, Inc. delivers the world's only magnetometers and gradiometers with built-in GPS for accurately positioned ground, airborne and stationary data acquisition. The company serves customers in many fields including mineral exploration, hydrocarbon exploration, environmental and engineering, Unexploded Ordnance Detection, archeology, earthquake hazard research and magnetic observatory research.

Key products include the Proton Precession, Overhauser and Optically-Pumped Potassium instruments.

Each system offers unique benefits in terms of sensitivity, sampling, and acquisition of high-quality data. These core benefits are complemented by GPS technologies that provide metre to sub-metre positioning.

With customers in more than 150 countries and over a Quarter Century of continuous technology R&D, GEM is known as the only geophysical instrument manufacturer that focuses exclusively on magnetic technology advancement.



**GEM Systems, Inc.**  
135 Spy Court Markham, ON Canada L3R 5H6  
Phone: 905 752 2202 • Fax: 905 752 2205  
Email: info@gemsys.ca • Web: www.gemsys.ca

## Specifications

### Performance

Sensitivity:	0.022 nT / $\sqrt{\text{Hz}}$
Resolution:	0.01 nT
Absolute Accuracy:	+/- 0.1 nT
Range:	20,000 to 120,000 nT
Gradient Tolerance:	< 10,000 nT/m
Samples at:	60+, 5, 3, 2, 1, 0.5, 0.2 sec
Operating Temperature:	-40C to +50C

### Operating Modes

Manual: Coordinates, time, date and reading stored automatically at minimum 3 second interval.  
Base Station: Time, date and reading stored at 1 to 60 second intervals.  
Remote Control: Optional remote control using RS-232 interface.  
Input / Output: RS-232 or analog (optional) output using 6-pin weatherproof connector with USB adapter.

### Storage - (# of Readings)

Mobile:	1,465,623
Base Station:	5,373,951
Gradiometer:	1,240,142
Walking Mag:	2,686,975

### Dimensions

Console:	223 x 69 x 240 mm
Sensor:	175 x 75mm diameter cylinder

### Weights

Console with Belt:	2.1 kg
Sensor and Staff Assembly:	1.0 kg

### Standard Components

GSM-19 console, GEMLinkW software, batteries, harness, charger, sensor with cable, RS-232 cable and USB adapter, staff, instruction manual and shipping case.

### Optional VLF-EM

Frequency Range: Up to 3 stations between 15 to 30.0 kHz. Parameters: Vertical in-phase and out-of-phase components as % of total field. 2 components of horizontal field amplitude and total field strength in pT.  
Resolution: 0.1% of total field

# 7.3 三軸拖鳥組裝及操作手冊

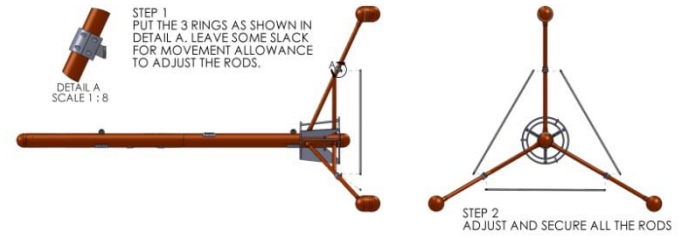
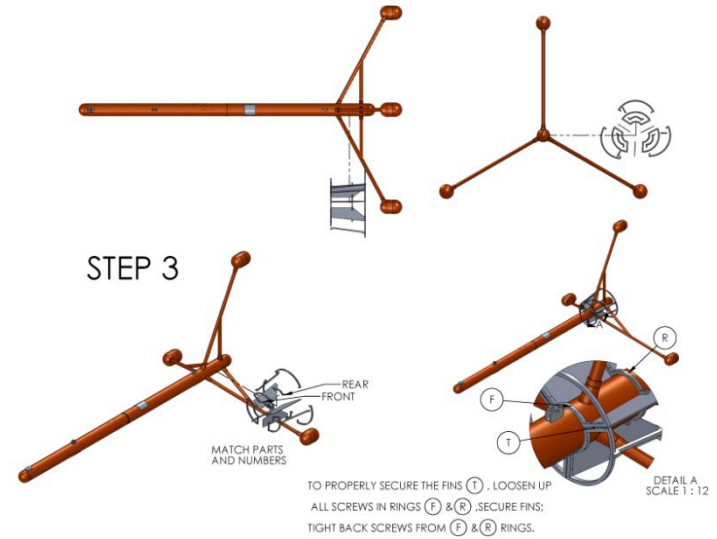
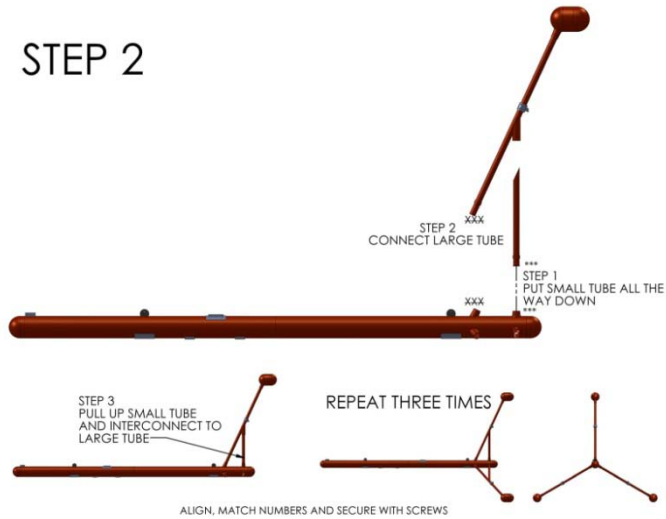
## TRIAXIAL BIRD ASSEMBLY MANUAL



STEP 1  
CONNECT TUBES AND  
SECURE WITH SCREWS

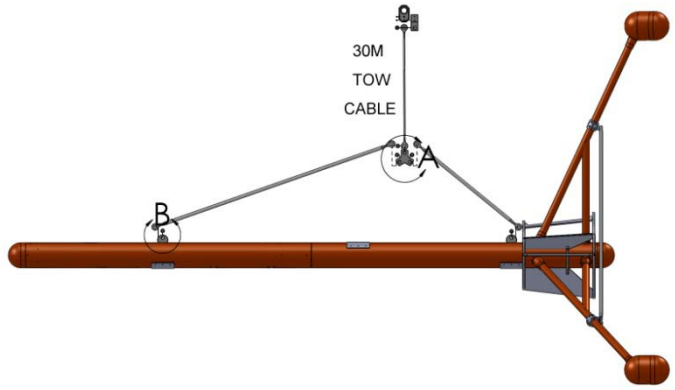


STEP 2

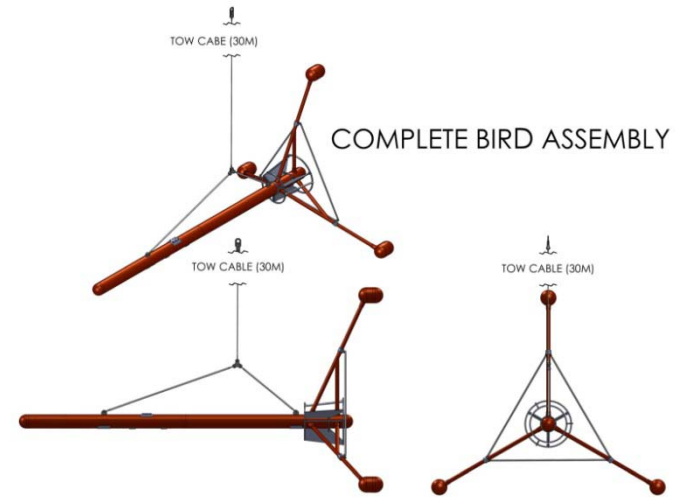
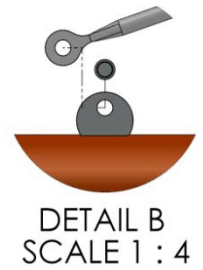
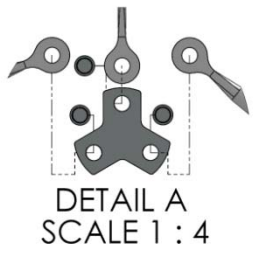
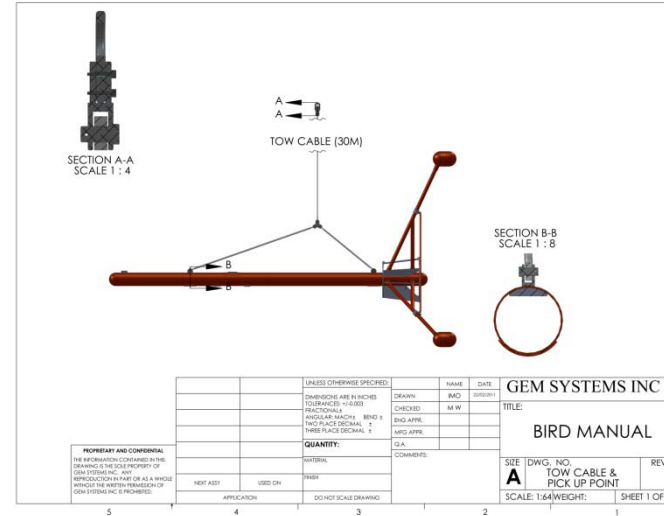


STEP 4





STEP 5





Manual Release 2  
2012

# Tri Axial Bird

## DATA ACQUISITION SOFTWARE & ASSEMBLY MANUAL



Our World is **Magnetic**

135 Spy Court, Markham, ON Canada L3R 5H6  
Phone +1-905-752-2202 • Fax: +1-905-752-2205  
Email: info@gemsys.ca • Web: http://www.gemsys.ca



### Tri Axial Bird Data Acquisition Software & Assembly Manual

#### Contents

1. Overview.....	3
2. Install Software.....	4
3. Run Software.....	5
4. Edit Flight Detail.....	5
5. Setup System.....	6
6. Operation step.....	8
7. Logging Survey.....	10
8. Monitoring Survey.....	11
9. Manual Commands.....	14
10. Flight Tracing.....	15
11. Mark inserted.....	16
12. Menu function.....	17
13. Assembly Manual.....	178

## 1. Overview

The Airborne Data Acquisition System uses Panasonic Tough-Book as data acquisition control console and data logger. The PC runs Windows OS. The earlier version runs Windows XP while the latest with Windows 7. It replaced hard drive with a 120 GB Solid State Drive(SSD). The SSD has no moving parts inside and good for rugged environment with vibration such as in helicopter.

It uses RS232 interface to communicate with Multiplexer which is embedded inside the bird. It uses software flow control to ensure the transmission reliability. The multiplexer on bird also has a 64KB wrapping flash to store the real-time survey data. In case the communication halts a little while, it will catch up later without losing data in PC.

It stores all survey information, such as helicopter type, pilot name ... into each logger file as a header.

It allows the survey operator to change the sweep range for different geographic area.

For users with VLF system, it allows user to choose two different VLF frequencies.

Typically the survey is running at 10Hz, i.e. it receives 1 sample every 100ms. But user can change it themselves depend on requirements.

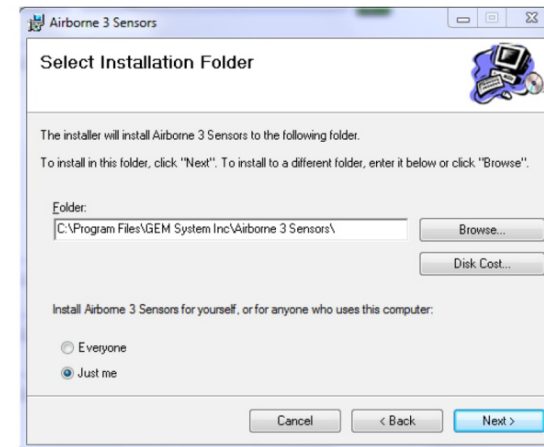
## 2. Install Software

The software was pre-installed in the PC. In case of damage or software upgrade, you may need to install yourself.

1) Before you install new version, it needs to uninstall the previous version first.

Start → Settings → Control Panel → Add or Remove Programs → Airborne PC Logger → remove application → OK

2) Run setup.exe and follow the instructions. You may need administrator privilege to do it.



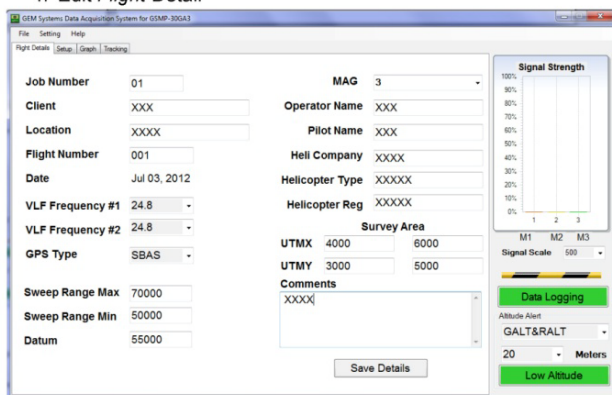


### 3. Run Software

Run program by double clicking the icon on desktop. If the icon is NOT on the desktop, Start → All Programs → Airborne PC Logger

The first thing to do next is to setup the flight details.

### 4. Edit Flight Detail



\* Signal Strength may not be available on some system.  
 \* Some items, such as VLF, may not be available on some system.

Fill all information, it will be shown in the header of each captured file. The program remembers all setting and will set as default afterwards.

You may omit some information but following messages are necessary before you start survey.

- **MAG** (MAG number in you system)
- **GPS Type**
- **Sweep Range Max**
- **Sweep Range Min**
- **Datum**

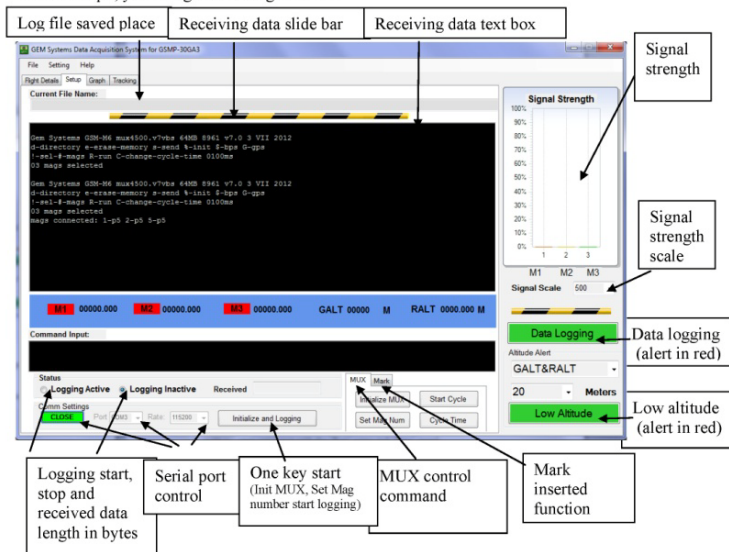
- **VLF Frequency #1 (if applicable)**
- **VLF Frequency #2 (if applicable)**

\*Make sure the magnetic field you are going to survey is between the Sweep Range you set. Otherwise, the system may never be locked.

\*Incorrect VLF frequency selection may NOT get data.

### 5. Setup System

Click <Setup>, you will get following interface.



#### Button functions:

- 1). "OPEN": open serial port with the "Port" name and "Rate" speed.
- 2). Logging Active: Write the received data into "Current File Name". Select this option will make the MUX system running.

- 3) Logging Inactive: Write the received data into "Current File Name". Select this option will make the MUX system stopped.
- 4) Received: The amount of byte log write to the "Current File Name", or the file size of log file.
- 5) Initialize MUX: send initialization command sequence automatically to MUX with GPS type, Sweep Range, Datum, VLF Frequency.
- 6) Star Cycle: After click it, software will send "R" to MUX to make it running. This button text will change to "Stop Cycle". Click it software will send "S" to MUX to make it stopped.
- 7) Set Mag Num: set the effective number of MAG into MUX  
Note: If button "Set MAG Num" is in Red, it means the MAG number your set in the first tab page is not the same with the MUX sending MAG number. The column 8 divided by comma is the number of MAG set in MUX. You can stop the logging and click "Set MAG Num" to set the MAG number in MUX to the first tab page MAG number.
- 8) Cycle Time: change sample rate.
- 9) Initialize and Logging: One key start command, including initialization of MUX, Set MAG number and start logging

## 6. Operation step

1. Please remember to input the following information in from the "Flight Details" page.
  - **MAG (MAG number in you system, important)**
  - **GPS Type**
  - **GPS Location(If it can be input)**
  - **Sweep Range Max**
  - **Sweep Range Min**
  - **Datum**
  - **VLF Frequency #1 (if applicable)**
  - **VLF Frequency #2 (if applicable)**

2. Select serial comm. port and baud rate.  
If a traditional RS232 port is used in PC, it usually is port1. If a USB-RS232 adapter is used, please make sure the right serial port is selected.

The default baud rate used in airborne system is **115,200** bps.

3. After serial port is properly configured, click <OPEN> button. If the serial port is properly opened, the button will turn to Green showing <CLOSE>.

If there is a difficulty to open the port, check all connections and click <Setting> to research the ports.

4. For easy operation, click <Initialize and Logging>. It will send initialization command sequence automatically for initialization of MUX, MAG number setting, erasing flash memory and logging. You will see some GPS info ... After the GPS is locked, MUX will start work. Software will start to log the data.

5. For manual startup, after opening the serial port, click button <Initialize MUX>. After MUX initialization, click button <Set Mag Num>, software will set the MAG number which is selected in "Flight Detail" page.  
If your GPS is not configured before, please initialize GPS by manual command, please refer **Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.**  
After GPS working normally, please click <Logging Active> radio button. After a few seconds, the system will start logging data.

### Warning Information

If the sensor is locked, the respective color will turns to green. Otherwise, it shows red.

The moving bar shows the activity of data receiving. In case it stops, the operator MUST check to make sure the system is running properly!  
The Low Altitude Alarm gives warning by turning the color into RED. The warning height is set by choosing setting.

\*Potassium airborne system need time to warm up the sensors before starting. When all systems are ready, it will start send data to PC.

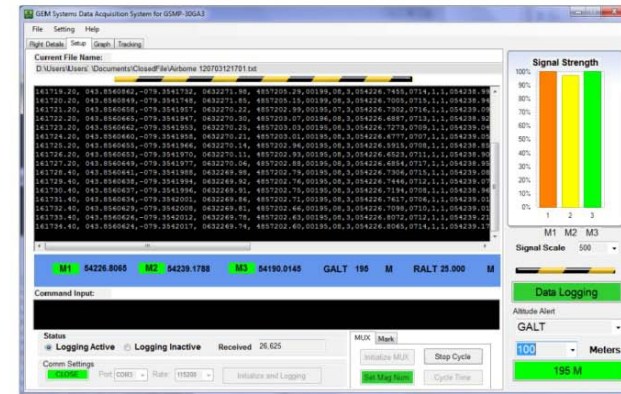
\* If any red color is shown, the operator must check to make sure the system is OK.

\*The data acquisition is designed for 10 sensor system. In case the system has less than 10 sensors, you may see some values indicate zero, e.g. M2, M3 are always shown RED, some channel's signal strength is always zero...

\* The airborne system can also be operated, tested manually by typing in command input window.

## 7. Logging Survey

By Click <logging Active>, the system start logging survey into MUX and PC. You will see following



The data window is updated every 1 sec but all data will be saved to a file on background.

The saved file name is shown on <Current File Name>. It is named "Airborne " with after year, month, date, hour, minutes and seconds.

The magnetic field is shown dynamically. If it is locked, the Tag will be Green. Otherwise, it is Red.

There are two logging working indication which is a bar on the top of data window and a button under right bottom of signal strength. If serial console data is stopped sending during logging active, the bar will freeze and "Data Logging" button will be in Red.

The construction bar indicates the activity of communication between PC and the bird. It is updated every second. If it is still, it means the data stops coming from bird. Further examination of the system is needed, e.g. serial port connection, cable ...



The last header line

/time larwgs84 longwgs84 ...

gives meaning of each column.

Use GemLink or other software to process and analyze received datum.

## 9. Manual Commands

When you power the magnetic system, you would see the menu shown before. It gives information about software revision, size of RAM, and some commands.

During operation, you can always go back to the main menu by typing capital "S" in "command input" window.

<Shift>-s

### Main Menu

d-directory e-erase-memory s-send %-init \$-bps G-gps 0100ms

d - Show memory usage  
e - Erase-memory of Mag.  
s - Send saved flash data to PC  
S - Stop sending data to PC  
R - Make MUX running  
% - Initialize Airborne system  
\$ - Change rate for serial port  
G - GPS submenu  
! - Input with two digits to set MAG number  
C - Change cycle time for sampling rate, usually 100ms (10Hz)  
' - To main menu

User can also go to each MAG and GRAD manually by showing command menu.

TAB-2-M-\* - Enter into MAG submenu  
TAB-V - Enter into VLF menu

### GPS Menu

A-initialize D-datum E-test 0-Lband-info 1-L1-satellite-info

Press "S", it stop the current transmission.

To go back to main MUX menu, press <wave key> which is just under the ESC key on the top left corner.

\* Always mover cursor to <Command Input> before type any command

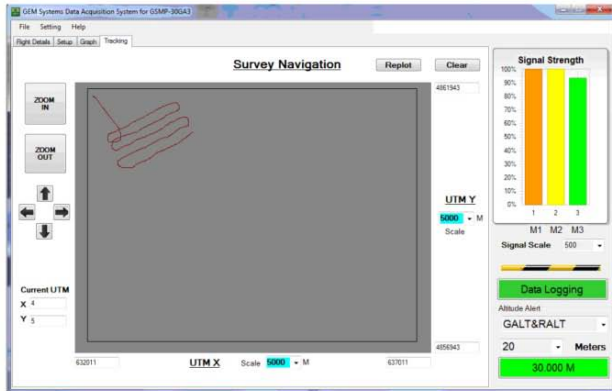
### 10. Flight Tracing

The airborne system also has flight tracing feature. It uses the UTM coordinate. Operator can simply use <ZOOM IN>, <ZOOM OUT> button to see detail and overall trace. It will help the operator to know if there is a survey area missed.

It only starts tracing after you start logging. The black frame is the range of "Survey Area" you set in the "Flight Details"

It automatically update the tracing every second. It can show up to 7.5 hour continuously tracing. The tracing doesn't save to recording.

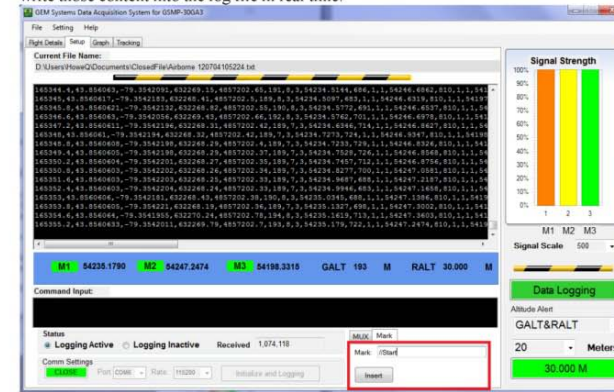
Press <Clear> button will erase the trace completely. Once it is erased, it can not be recovered.



### 11. Mark inserted

User can insert mark into the log file when logging active is set to true to record some important event.

During logging, after input content in the mark text box, click "Insert", software will write those content into the log file in real time.





## 12. Menu function

File→Exit: terminate this application

Setting→Find Ports: refresh the serial port from windows system

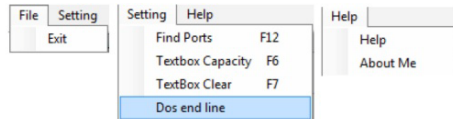
Setting→Textbox Capacity: in page "Setup", Set the maximum length of textbox string content. Note, log file size is not related to this parameter and is no limitation. It's related to your hard disk volume.

Setting→Textbox Clear: Clear page "Setup" textbox string content

Setting→Dos end line: If selected, the end of line in log file is DOS/Windows type (Char(13) + Char(10)) or Unix type Char(10). Default is DOS/Windows format.

Help→Help: Show this help document

Help→About Me: Show software version information.



## 7.4 地面測試紀錄表

中興航空公司

SUNRISE AIRLINES

KAWASAKI BK117B

AERIAL SURVEY EQUIPMENTS INSTALLATION

DATE: 10/1/2012

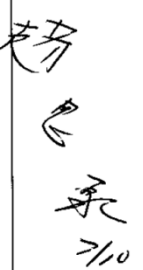
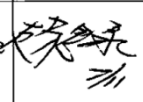
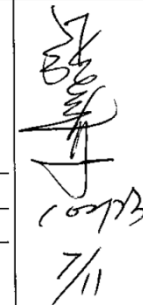
AC No: B>>>099 S/N: 1015

TSN: 3424+59 LANDING: 2051

REFER TO : TRIAXIAL BIRD ASSEMBLY MANUAL

GSMP-35GA3(B) Airborne Bird Installation and Setup

複審: 張重麟 日期: 27 Jun 2012  
審查: 李國華 日期: 25 JUN 2012  
編訂: 溫文華 日期: 25 JUN, 2012

參考資料 REFERENCE PARAGRAPH	檢 查 要 項 INSPECTION ITEM	簽 證 SIGNATURE	
		執行者/日期 MECH/DATE	檢驗者/日期 INSPC/DATE
	<p>1. <u>TRIAXIAL BIRD ASSEMBLY</u></p> <p>(1) Install the TRIAXIAL BIRD ASSEMBLY to the cargo hook as shown in figure 1.</p> <p>(2) The cables enter the inside via hole in the right-after airframe and secure on cross tube and the hole by clamps as shown in figure 2.</p>		
	<p>2. Install Inverter between aircraft power outlet and notebook.</p> <p>3. Install 7" LCD screen above the RH instrument panel and the cables along the structure and floor to the cabin.</p>		
	<p>4. <u>EMI/EMC Ground Test</u></p> <p>(1) Perform EMI/EMC Ground Test.</p> <p>Report: <input checked="" type="checkbox"/> All normal  <input type="checkbox"/> _____  _____  _____</p> <p>—END—</p>		

# 中興航空公司

SUNRISE AIRLINES

BK117B AERIAL SURVEY EQUIPMENTS INSTALLATION WORK SHEET

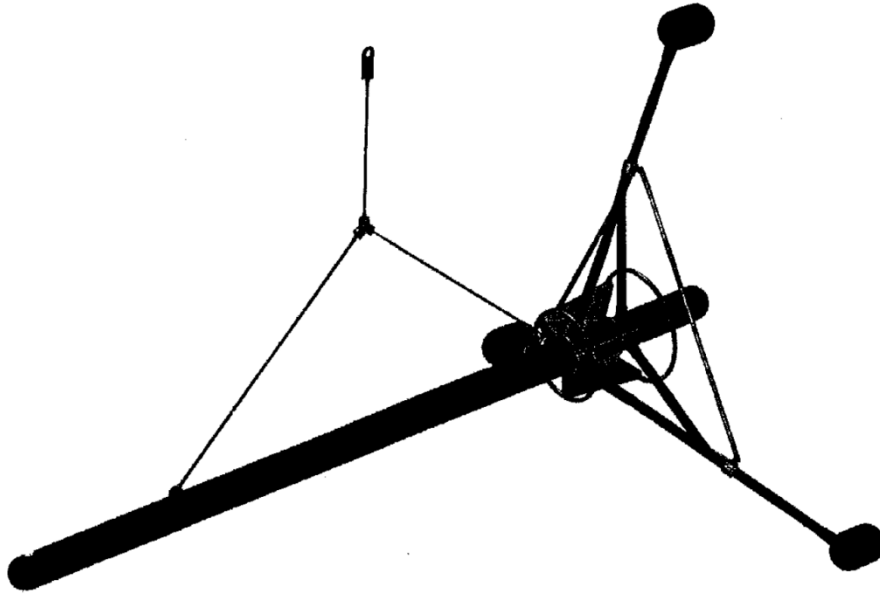


Figure 1

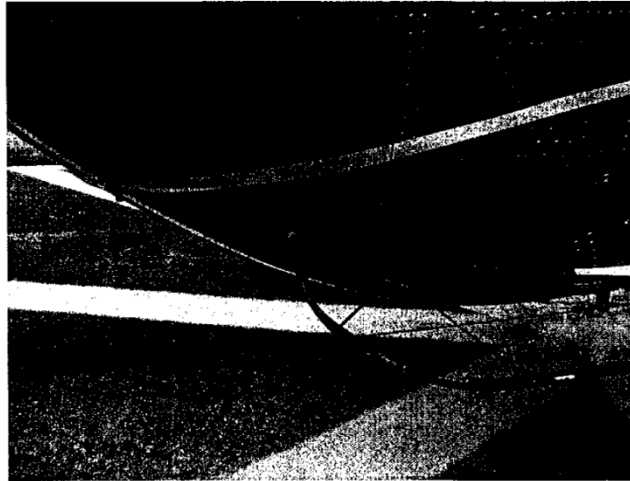


Figure 2

中興航空公司

SUNRISE AIRLINES

KAWASAKI BK117B

Aerial Survey Ground Test

DATE: 101. 7. 11

AC No: B>>099 S/N: 1015

TSN: 3446x59 LANDING: 7051

ENGINE - HONEYWELL LTS101-750B-1

No1 S/N <2-x18>7A07 TSN/TSO 3866x15 CYCLE 3928

No2 S/N <2-x18>7A07 TSN/TSO 4369T 39 CYCLE 3976

複審: 張巨麟 日期: 27 Jun 2012  
審查: 李國華 日期: 25 JUN 2012  
複審: 趙文華 日期: 25 JUN, 2012

REGISTER No. : B-77099

SERIAL No. : 1015

DATE : 101.7.11

TEST FLIGHT TIME : 10:47~10:53

PILOT : 張子孝

COPILOT : 林益溥

GROUND OPERATION / TEST FLIGHT SECTION

1. COCKPIT CHECK

1.1 COCKPIT SEAT \_\_\_\_\_ (✓)

1.2 SAFETY BELT, SHOULDER HARNES \_\_\_\_\_ (✓)

1.3 OVER HEAD WINDOW, WINDSHIELD GLASS, LOWER WINDOW \_\_\_\_\_ (✓)

1.4 CYCLIC CONTROL

OVER PLAY \_\_\_\_\_ (✓)

BINDING \_\_\_\_\_ (✓)

BLADE MOVENESS \_\_\_\_\_ (✓)

NEUTRAL HOLDER \_\_\_\_\_ (✓)

1.5 COLLECTIVE PITCH CONTROL

OVER PLAY \_\_\_\_\_ (✓)

BINDING \_\_\_\_\_ (✓)

BLADE MOVENESS \_\_\_\_\_ (✓)

FRICTION CONTROL \_\_\_\_\_ (✓)

DOWN LOCK HOLDER \_\_\_\_\_ (✓)

1.6 TAIL ROTOR CONTROL

OVER PLAY \_\_\_\_\_ (✓)

BINDING \_\_\_\_\_ (✓)

BLADE MOVENESS \_\_\_\_\_ (✓)

PEDAL ADJUSTMENT \_\_\_\_\_ (✓)

1.7 POWER LEVER

OVER PLAY \_\_\_\_\_ (✓)

BINDING \_\_\_\_\_ (✓)

LOCK RELEASE LEVER \_\_\_\_\_ (✓)

註：打“v”者為合格，打“x”者為不合格，“N/A”者為不執行。



1.8 FUEL VALVE (EMERGENCY CLOSE)	_____	(S)
1.9 ELECTRICAL POWER SYSTEM		
BATTERY SYSTEM ( 29 / 29 v)	_____	(S)
EXTERNAL POWER SYSTEM	_____	(S)
1.10 INTER-COMMUNICATION SYSTEM (ICS)	_____	(S)
1.11 ANNOUNCIATOR PANEL	_____	(S)
1.12 ANNOUNCIATOR PANEL TEST	_____	(S)
1.13 INDICATOR ZERO POINT CHECK	_____	(S)
1.14 FUEL VALVE	_____	(S)
1.15 ENGINE FIRE DETECTOR	_____	(S)
1.16 MAST MOMENT INDICATOR	_____	(S)
1.17 N2 BEEP CONTROL	_____	(S)
1.18 INVERTOR	_____	(S)
1.19 INSTRUMENT LIGHT	_____	(S)
1.20 POSITION LIGHT	_____	(S)
1.21 ANTI COLLISION LIGHT	_____	(S)
1.22 LANDING LIGHT	_____	(S)
1.23 COCKPIT DOME LIGHT	_____	(S)
1.24 UTILITY LIGHT	_____	(S)
1.25 CABIN DOME LIGHT	_____	(S)
1.26 CARGO DOME LIGHT	_____	(S)
1.27 ALTIMETER INDICATION		
PILOT / COPILOT ( 20 / 20 ft)	_____	(S)
1.28 CLOCK	_____	(S)
1.29 STANBY COMPASS	_____	(S)
1.30 O.A.T.	_____	(S)
1.31 DOOR	_____	(S)
1.32 GARGO HOOK SYSTEM CHECK	_____	(S)
1.33 7" LCD screen	_____	(S)
1.34 Inverter (60Hz)	_____	(S)

註：打“v”者為合格，打“x”者為不合格，“N/A”者為不執行。

- |                    |   |                            |
|--------------------|---|----------------------------|
| 1.35               | Equipment function test   | (✓)                        |
| 1.36               | Functional checks of each piece of equipment                                      | (✓)                        |
| 1.37               | Non-aviation equipment has no deleterious effects on aircraft system performance. | (✓)                        |
| 1.38               | All systems for possible interference or interaction.                             | (✓)                        |
| 2.1 Function Check |   |                            |
| 1.                 | Airbone Towed Bird  | (✓)                        |
| 2.                 | Panasonic Toughbook   | (✓)                        |
| 3.                 | Inverter (60Hz)   | (✓)                        |
| 4.                 | 7" LCD screen   | (✓)                        |
| 2.2 Avionics check |   |                            |
| 1.                 | VHF Com   | Collins VHF2581 (✓)        |
| 2.                 | VHF Nav(VOR)  | Collins VIR351 (✓)         |
| 3.                 | ADF   | Collins ADF650A (✓)        |
| 4.                 | DME   | Collins DME451/IND451 (✓)  |
| 5.                 | XPDR  | Collins TDR950/Enc Alt (✓) |
| 6.                 | ELT   | Artex ELT C406-1HM (✓)     |
| 7.                 | CVR   | Universal CVR30B (✓)       |

註：打“v”者為合格，打“x”者為不合格，”N/A”者為不執行。



經濟部中央地質調查所

開標/決標紀錄

時間：101年05月22日 下午 14時 15分

地點：本所 111 室

案號	B10136		開標次別	第 2 次	
標的名稱及數量摘要	台灣北部火山活動監測研究-台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(1/2)		招標方式	限制性招標議價	
刊登政府採購公報日期	101年04月25日		上網日期	101年4月24日	
投標廠商	報價	優先減價後之報價	第 1 次比減價格後之報價	第 2 次比減價格後之報價	第 3 次比減價格後之報價
財團法人工業技術研究院					照按原價承作
審標結果/流標原因/廢標原因	<p>一、本案經開標小組以上開列開標合格投標廠商共 1 家，審標結果 1 家符合招標文件規定，其餘 0 家不符合。</p> <p>二、財團法人工業技術研究院第 3 次減價後照按原價新台幣 元整承作，經主持人當場依政府採購法第 52 條第 1 項第 3 款宣布決標。</p> <p>三、<input type="checkbox"/> 投標廠商未達 3 家，經主持人當場宣布流標。</p> <p>四、<input type="checkbox"/> 開標後經審標結果，無視為決標對象之廠商，經主持人當場宣布流標。</p> <p>五、其他：</p>				
決標原則、得標廠商及決標金額	<p>決標原則：依政府採購法第 52 條第 1 項第 3 款。</p> <p>得標廠商：財團法人工業技術研究院</p> <p>決標金額：新台幣 元整</p> <p>其他：</p> <p>(註：原價決標時須註明原價之金額，並應於開標之當即開標)</p>				
決標過程	<p>財團法人工業技術研究院經第 3 次減價後照按原價新台幣 元整承作，經主持人當場依政府採購法第 52 條第 1 項第 3 款宣布決標</p> <p>(註：開標/比減價格/原價決標/開標/聯合評選之過程)</p>				
異議或申訴事件	<p>無</p> <p>(註：開標決標之異議或申訴事件之處置情形)</p>				
備註					
記錄	金梓樞 (簽名)		監辦人員	郭國銳 (簽名)	
會辦人員	李振村 (簽名)		主持人	楊添玲 (簽名)	

經濟部中央地質調查所「台灣北部火山活動觀測研究－台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(1/2)」計畫

合作同意書

財團法人工業技術研究院(以下簡稱甲方)為辦理經濟部中央地質調查所「台灣北部火山活動觀測研究－台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(1/2)」計畫」計畫(以下簡稱本計畫)，擬於本計畫得標後，另以正式契約委託中興航空股份有限公司(以下簡稱乙方)提供直昇機空載飛航等專業服務，為確立日後合作機制，雙方特此同意簽訂本合作同意書，以茲遵循。

立同意書人：

甲 方：

財團法人工業技術研究院

代理人：徐爵民

職 稱：院長

地 址：新竹縣竹東鎮中興路四段 195 號

統一編號：02750963

客服專線：0800-458899



乙 方：

中興航空股份有限公司

代表人：楊壽芝

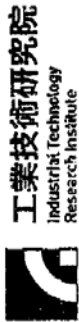
職 稱：董事長

地 址：台北市松山區中興路四段 195 號之 2

統一編號：86396810



中華民國 101 年 4 月 10 日



**工業技術研究院**  
Industrial Technology  
Research Institute

TO: 0086396810-中興航宇股份有限公司  
台北南港北港340號之9

Attn: 戴君翰  
Tel/Fax: 02-25452341-339/0225451204

**訂購單**

Page: 1  
Date: 2012/06/26  
採購單號: 3000333334

Addr.: 工業技術研究院 行政處 資材三部  
新竹縣竹東鎮  
中興路四段195號77號164室  
By: 陳美燕  
Tel/Fax: 03-5916532/03-5162878

項次	料號	品名規格	數量	單位	單價	總價
10		至中地球物理探測直升機飛航作業(詳附件)	1	SET	1,619,048.00	1,619,048
合計: TWD 1,619,048						合計總價: TWD 1,700,000

一、發票抬頭: 工業技術研究院 統一編號: 02750963(交貨時請於送貨單及發票上註明本採購單編號,以利加運本業收買付款程序)  
二、交貨期限: 依上列訂購單交貨日期。除因可歸責於本院之事由或因天災、事變等不可抗力外,廠商不得主張不負責任或要求延長履約期限。  
三、工作地點: 依山標編-五福頭城。  
四、交貨後請儘快完工報告,送貨單等相關文件並通知本院收買管收貨小組(電話:03-5916551),開立收驗單以利後續付款作業。  
五、付款條件: 驗收合格後,依本廠每月定期付款方式支付(每月 20日前報額,於次月20日以電匯或即期支票方式支付貨款)(付款查詢網址: w3.itri.org.tw/jnqvrv/,若無法查詢請洽採購經辦人,或會計處查詢電話03-5917969張明傑小姐)。  
六、罰則: 無(配合本院行程)。  
七、注意事項:

- (1)本院支付貨款時,匯費(基本費20元)、郵費(基本費25元)自貨款中扣除,不假之處尚祈見諒。
- (2)本訂購單經雙方簽字後即同買單合約,未經雙方同意不得任意更改。
- (3)所交貨品不符、有瑕疵、未齊全者,視同未交貨,並按原料計。
- (4)逾期未交貨或交貨品質不良者,本院擁有取消訂單之權利,並將沒收履約保證金。
- (5)本院提供之技術資料僅供參考,非經允許不得作為其他用途。
- (6)驗收時買方所帶物料須依限期交齊,由買方按照約定規格或所附圖樣驗收,不合規範或損壞之貨品應由賣方取回,并由買方另訂期限交貨。
- (7)如為清潔、植栽、搬運等承攬工作,廠商應遵守本院安全衛生管理規則,簽署承諾書,相關規定查詢網址: http://vendor.itri.org.tw/default.htm。
- (8)買方所交貨品如涉有專利權、著作權、圖樣布同權、營業秘密或其他智慧財產等糾紛,概由買方負責,本院若因此遭受損失時,買方應負賠償責任。如因買方所交貨品之瑕疵致本院或第三人遭受損害時,買方應負賠償責任。
- (9)使用者: 葉倫道(03-5915449)



工業技術研究院 茲同意本訂購單條件及注意事項

承辦人: (陳美燕) 電話: 03-5915449

業務處 業務用

(\*請於收到三日內簽回或以傳真方式簽回亦可)



## 空中地球物理探測直升機飛航作業 工作規範書

### 一、工作目的

工業技術研究院(以下稱：本院)為進行空中地球物理探測，擬租用直升機執行相關空中飛航作業。

### 二、工作內容

1. 空中地球物理探測直升機飛航作業一式，工作範圍如圖 1 所示，測線間距 500 公尺，檢核線間距 4000 公尺。
2. 申請空中地球物理探測飛航所需之改裝計畫書撰寫及飛航申請等相關行政及測試作業。

### 三、交付成果

1. 改裝計畫書影本 pdf 電子檔一份。
2. 飛航申請相關之函文及表格等文件影本 pdf 電子檔一份。
3. 飛航作業期間工作日誌影本 pdf 電子檔一份。
4. 前述影像解析度需達 300 dpi 以上(含)。

### 四、其它

1. 廠商應提供一台 Garmin GPSMAP695 或同型導航機供機上導航使用，測線座標輸入由本院負責。
2. 飛航申請所需文件本院將協助提供。
3. 空載拖吊等設備之提供及相關操作由本院負責。
4. 因本委託工作所獲得或相關產出等資料不得隨意散佈，非經本院同意不得提供與本委託工作無關之第三者。
5. 論文投稿前需經本院書面同意，並依本院審查意見修訂後始得發表。

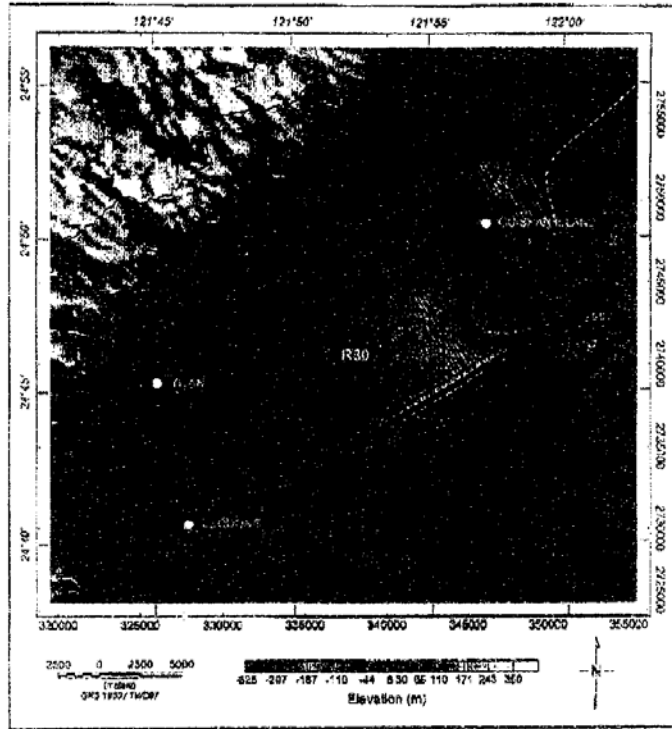
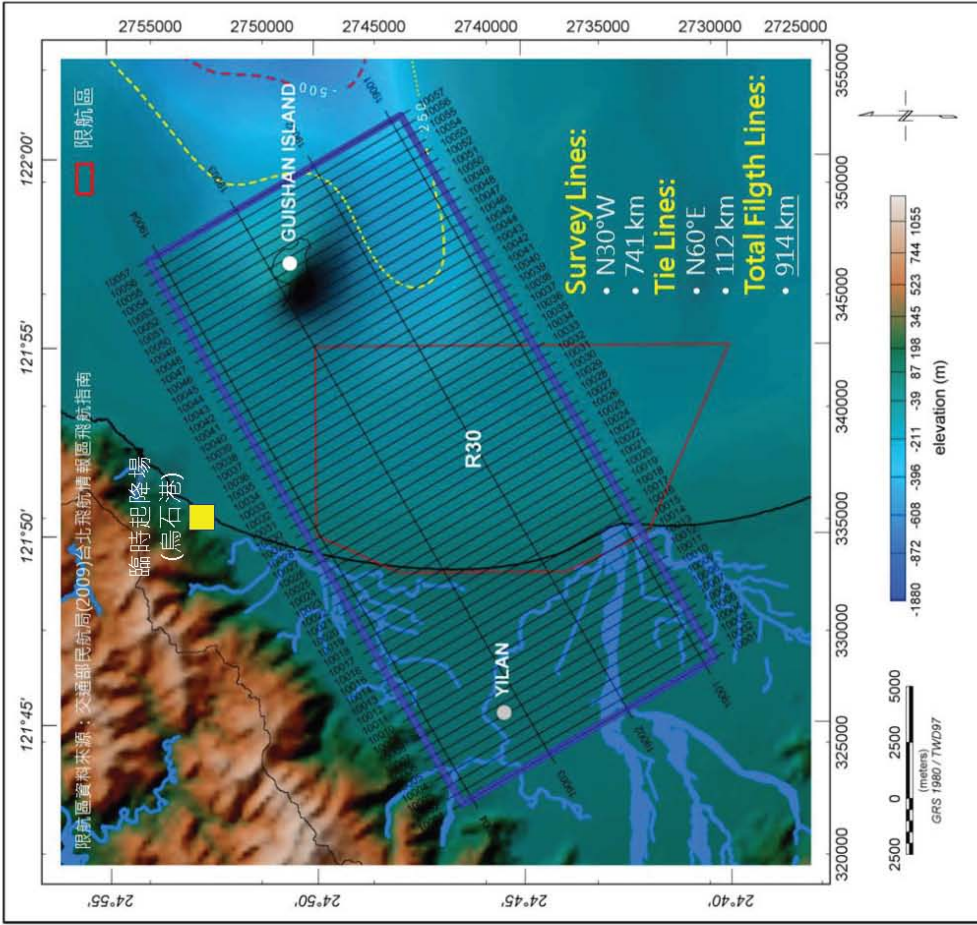


圖 1、工作範圍及預計測線分布圖

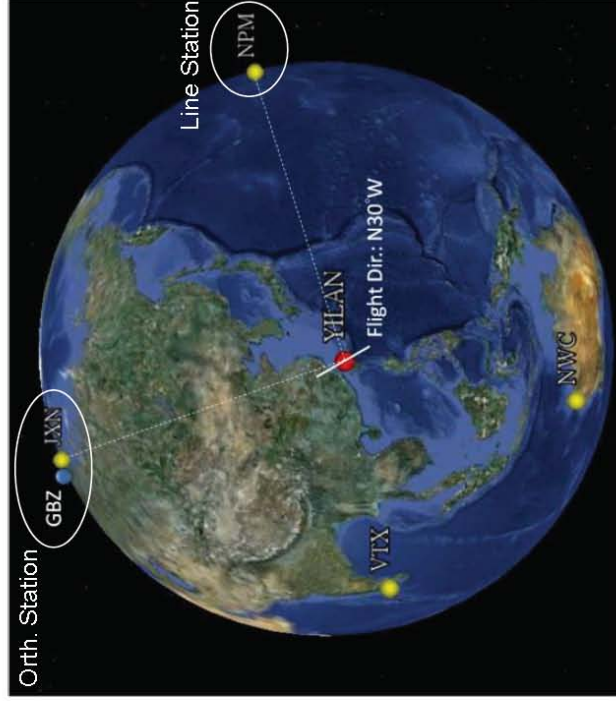


## 2-4 空中磁力與甚低頻電磁探測 > 測勘規畫



### 測勘規畫：

- 測線間距500公尺
- 檢核線間距4000公尺
- 飛行高度150-300公尺
- 測線方向：N30°W



普通航空業飛航作業申請書						
申請事由	工業技術研究院租用本公司BK-117型直昇機執行「台灣北部火山活動觀測研究-台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測案」所需宜蘭、羅東及龜山島一帶地區吊掛磁測作業並擬使用宜蘭運動公園臨時起降場供直昇機臨時起降之用。					
作業	主用機場	松山機場		備用機場	桃園機場	
	飛航區域	宜蘭、羅東及龜山島一帶				
計畫	預計作業時間	4~8 小時/每日 (依實際天候而定)		起迄日期	101.08.08   101.11.01	
	機型	BK-117	國籍編號	B-77099	架數	1
飛航計畫	<p>一、航線規劃：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 航機於 8/08(三)上午 09:30 由松山機場起飛至宜蘭運動公園臨時起降場。</li> <li>2. 7/11(三)經監管本公司之標準組 PAI/PMI/POI 全程在 86 號停機坪完成整套吊掛磁測設備結合航機地面開車測試作業。並預劃於 8/09(四)上午 07:30 執行試飛作業。</li> <li>3. 作業期間由該臨時起降場以機腹吊掛方式吊起磁測用拖鳥設備後，飛至磁測規劃區域執行空中磁測作業。</li> <li>4. 本次受委託磁測區域有涵括限航區 RCR30，本公司執行作業時間將依照 AIP 備註，於每週二至週五 UTC 0100-0400, 0600-1000 之時段停止作業，並隨時與軍備局兵器試驗場保持聯繫。</li> <li>5. 每日任務結束後，航機將返回宜蘭運動公園臨時起降場停留。</li> <li>6. 俟完成所有測量作業後航機直接返回松山機場。</li> </ol> <p>二、飛航高度：3,000 呎以下</p> <p>三、航程距離：100 哩內</p> <p>四、人員上、下機處：</p> <p style="padding-left: 40px;">松山機場(組員上、下機處)</p> <p style="padding-left: 40px;">宜蘭宜蘭運動公園臨時起降場地(組員及乘員上、下機處)</p> <p>五、飛航空速：0~120 哩</p>					
	填表須知	<p>一、本表填報一式十五份。</p> <p>二、飛航圖應附有比例尺之簡圖，包括：飛行路徑及作業範圍。</p> <p>三、有關臨時起降場障礙物之標示，應依直昇機機場規劃設計規範於最後進離場區範圍，標示其障礙物之位置、高程及與起降區之相關幾何尺寸等資料。</p>				

申請日期：101 年 7 月 27 日

申請人：                    〈簽章〉

## 中興航空公司特種空中作業飛航計劃書

任務項目：吊掛磁測作業	
一、飛航區域： 宜蘭、羅東及龜山島一帶	
二、航行計劃： 1. 航機於 8/08(三)上午 09:30 由松山機場起飛至宜蘭運動公園臨時起降場。 2. 7/11(三)經監管本公司之標準組 PAI/PMI/POI 全程在 86 號停機坪完成整套吊掛磁測設備結合航機地面開車測試作業，並預劃於 8/09(四)上午 07:30 執行試飛作業。 3. 作業期間由該臨時起降場以機腹吊掛方式吊起磁測用拖鳥設備後，飛至磁測規劃區域執行空中磁測作業。 4. 本次受委託磁測區域有涵括限航區 RCR30，本公司執行作業時間將依照 AIP 備註，於每週二至週五 UTC 0100-0400, 0600-1000 之時段停止作業，並隨時與軍備局兵器試驗場保持聯繫。 5. 每日任務結束後，航機將返回宜蘭運動公園臨時起降場停留。 6. 俟完成所有測量作業後航機直接返回松山機場。	
三、任務期限： 101.08.08~101.11.01	
四、起降機場及人員登機地點： 1. 松山機場(組員上、下機處) 2. 宜蘭運動公園臨時起降場(組員及乘員上、下機處)	
五、注意事項： 1. 依照目視規則及航路飛航，飛機不得進雲。 2. 確實與守望管制地區塔台保持連絡並依高度指示飛航。 3. 海上任務需著救生背心或攜帶自動充氣救生艇。 4. 山區任務注意亂流及高壓線等障礙。	
六、其他事項： 注意相關航情及確遵航管指示飛行	
航務處長：	計劃人： 101 年 07 月 27 日





附件四

搭 載 乘 員 名 冊

申請作業日期：101.08.08-101.11.01      機型：BK-117      起飛及降落地點：      機長：趙長富、張國綱、張台孝、賴文桐、  
 松山機場、宜蘭運動公園      徐 強、陳信芳  
 航空公司名稱：中興航空      機號：B-77099      副駕駛員：劉廣林、林益淇、楊慕勳、張成健  
 、張兆麟

編號	姓 名	身分證編號	出生年月日	性別	任職單位及職稱	保險及金額	航空公司簽章
1	董倫道			男	工研院正研究員	300 萬 NTD	
2	林鎮國			男	工研院正研究員	300 萬 NTD	
3	李奕亨			男	工研院資深研究員	300 萬 NTD	
4	林蔚			男	工研院資深研究員	300 萬 NTD	
5	錢正明			男	工研院研究員	300 萬 NTD	
6	黃炎聰			男	工研院副研究員	300 萬 NTD	
7	劉致育			男	工研院副研究員	300 萬 NTD	
8	李錦發			男	中央地調所簡任技正	300 萬 NTD	
9	李柏村			男	中央地調所技佐	300 萬 NTD	
10	朱偉嘉			男	中央地調所技佐	300 萬 NTD	
11	陳志松			男	臺北師範大學助理	300 萬 NTD	
12	周好諳			女	臺北師範大學助理	300 萬 NTD	
13							
14							
15							
備註	填表及切結證明： 一、搭載乘員為申請飛航之航空公司員工者，保險欄可省略，其餘記載事項應由所屬航空公司簽證屬實，如有虛偽不實，願負法律責任。 二、搭載乘員為委託作業單位員工者，所有記載事項應由航空公司簽證，如有虛偽不實，願負法律責任。 三、搭載空中遊覽乘客，任職單位及職稱欄可省略，其餘記載事項應由委託業者或旅行社等簽證屬實，如有虛偽不實，願負法律責任。乘員資料得於起飛前補送民航局及航空站。 四、本名冊如因故變更時，應於起飛前送交民航局及航空站或直昇機飛行場管理人或所有人。						

檔 號：  
保存年限：

## 宜蘭縣立體育場 函

電子公文

地址：260宜蘭縣宜蘭市中山路1段755號  
承辦人：葉漢榮  
電話：03-9254034分機  
電子信箱：



受文者：經濟部中央地質調查所

發文日期：中華民國101年7月20日  
發文字號：宜場總字第1010001479號  
類別：普通件  
密等及解密條件或保密期限：  
附件：(101D000422\_101D2000060.doc、101D000422\_101D2000061.pdf)

主旨：有關貴所申請於101年7月19日起至101年11月1日借用本場  
管屬宜蘭運動公園大草坪停機坪供研究調查用直升機臨時  
起降、人員載運及加油一案，復如說明，請 查照。

說明：

- 一、復貴所101年7月12日經地質字第10101600850號函。
- 二、本案本場原則同意免費借用，惟以下事項請依規定辦理：
  - (一)請依本場管理自治條例第5條、第6條規定至本場辦理借  
用手續，並繳納保證金新臺幣1萬元整(借用完畢，場地  
復原後無息退還)。
  - (二)本園區業經宜蘭縣政府公告禁止非工(公)務車輛進入，  
如因大型器具或油料運補有使用車輛載運需求者，應經  
本場同意後，方得入園；並不得堆置任何物品或設(插)  
置宣傳旗幟、看板、廣告物等。
  - (三)停放期間，機具應自行保管，且停機坪周圍應設置安全  
維護措施，並加裝夜間警示，以提高安全性，並不得破  
壞原有設施。
  - (四)本停機坪供各項緊急救援使用，借用期間如遇急難救助





情狀者，借用單位應優先讓予使用。又借用單位辦理借用手續時，並請書明借用確切期間及每日停放時間，俾利管控。

(五)本園區併供本縣各機關、團體辦理活動使用，借用期間如遇他機關已辦理借用場地者，請另擬備案。

(六)其餘未盡事宜，請聯絡本場承辦人員。

正本：經濟部中央地質調查所

副本：宜蘭縣政府(含附件)



裝

訂

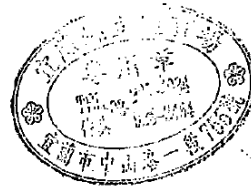


線

附件一

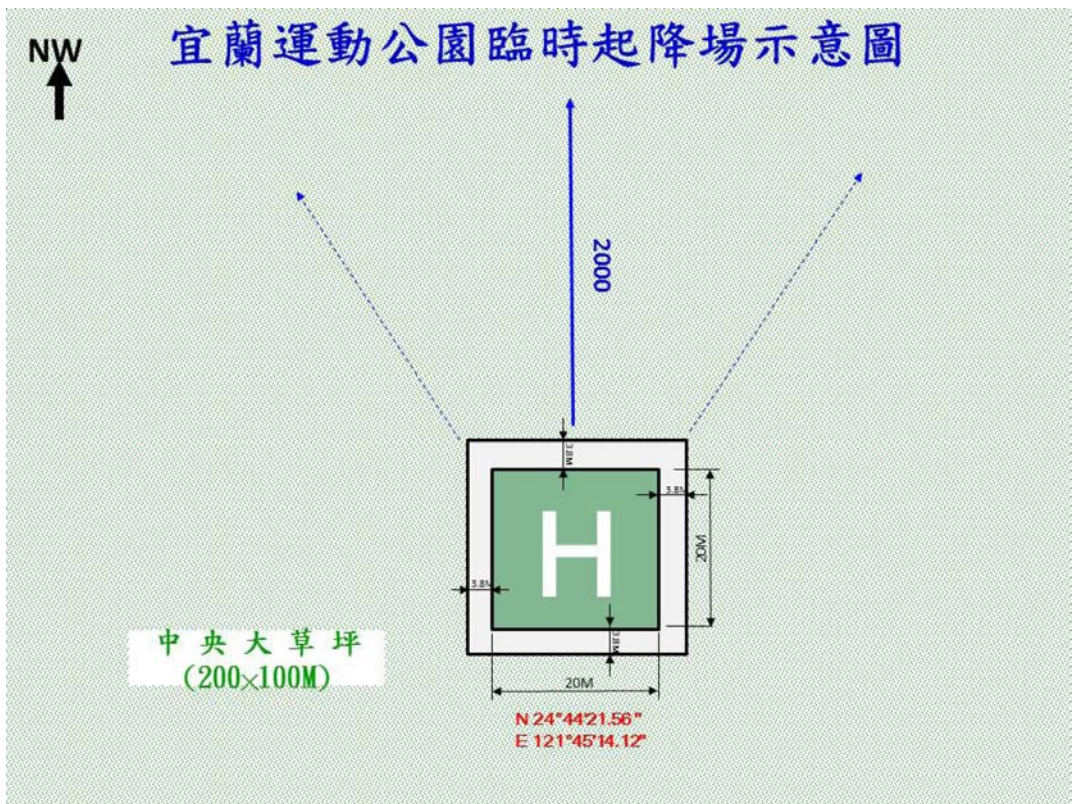
### 臨時起降場使用同意書

茲同意中央地質調查所因執行「台灣北部火山活動觀測研究-台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測(1/2)計畫」需要，於101年7月19日起至11月1日期間，使用本場位於宜蘭縣宜蘭市珍珠段0371-0000地號之空地，供中興航空股份有限公司之直昇機臨時起降、人員載運及加油等相關作業。



宜蘭縣立體育場







# 宜蘭運動公園H點照片

宜蘭運動公園臨時起降場全景圖



# 宜蘭運動公園H點四面照





## 場地使用計劃書

- 一、 起降場位置：宜蘭運動公園臨時起降場
- 二、 起降場使用期間：101年08月08日至101年11月01日止
- 三、 起降場地使用及安全維護：
  1. 機務及地面安全管理人員於直昇機起降前先至起降區實施地面安全檢查並清除地面雜物，確保直昇機起降之安全，起降場地四周應設立路障或明顯警示招牌，使用期間應嚴禁閒雜人員、車輛、機具等進入起降區。
  2. 機務人員應於起降前先測量風向，於直昇機起降時並以手勢引導直昇機安全起降。
  3. 現場機務人員加油加水前，應先將直昇機先行接地並按操作手冊規定作業，現場備滅火器具或其他安全設備。
  4. 直昇機停放時，現場應留有工作人員確保直昇機安全。
- 四、 直昇機起飛前後、飛航及落地均須與當地機場航管保持聯繫。

## 7.6 飛航作業及臨時起降場同意函

正本

### 交通部民用航空局 函

地 址：10548 台北市敦化北路 340 號  
承辦人：周文慧  
電 話：02-23496047  
傳 真：02-23496050

郵遞區號：10548  
地 址：台北市松山區敦化北路 340 號之 2  
受文者：中興航空股份有限公司

發文日期：中華民國 101 年 8 月 6 日  
發文字號：空運管字第 1010024717 號  
速別：普通件  
密等及解密條件或保密期限：普通  
附件：正副本均含飛航作業申請書、搭載人員名冊、飛航資料圖

主旨：經濟部中央地質調查所委託工業技術研究院租用貴公司 BK-117 型直昇機於宜蘭、羅東及龜山島空域執行「臺灣北部火山活動觀測研究-臺灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測案」所需飛航作業，並使用「宜蘭運動公園」地區作為臨時起降場乙案，同意自 101 年 8 月 8 日起至 101 年 11 月 1 日止辦理，請查照。

說明：

- 一、復貴公司 101 年 7 月 27 日 101 中業字第 0343 號函。
- 二、請確依「航空器飛航作業管理規則」、「飛航規則」與「飛航指南」等相關規定作業，於 C 類空域內作業，應先與相關航管單位協調後實施。航機於臨時起降場起飛前應與相關航管單位連絡。
- 三、作業前一日務必通知空軍司令部、當地軍方起降基地、當地航空站及飛航管制聯合協調中心(JCC)等單位。
- 四、另請依「民營飛行場管理規則」相關規定辦理。有關場地最後進離場區(含起降區)，應依本局頒布直昇機機場規劃設計規範內第八章臨時直昇機機場規定，達到表面平整堅實，並符合整地坡度，以利排水。



- 五、請加強航機停放於臨時起降場之航機戒護保安措施，並請確實執行航機起飛前之清艙檢查作業及搭機人員之身分核對與所攜物品之檢查。另請於直昇機起降前，通知當地警察機關。
- 六、本案如涉及航空測量攝影作業，應經內政部依「國土測繪法」、「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」核准實施後始得辦理。
- 七、作業時請勿涉及軍事及機密敏感設施，並請將空照成果送交國防部情報參謀次長室檢查。如涉機密資料部分，請按「國家機密保護法」、「要塞堡壘地帶法」及其相關法規之規定妥慎處理。
- 八、嚴禁未依核准之作業項目實施作業、無故在未經核准之臨時性起降場所起降或搭載未經核准之乘員，否則依民用航空法第 112 條之 6 規定，處新臺幣 6 萬元以上 30 萬元以下罰鍰。
- 九、檢附民航直昇機於臨時起降場作業期間要求及注意事項，請查照辦理。

正本：中興航空股份有限公司(另含直昇機臨時起降場注意事項)



副本：經濟部中央地質調查所、財團法人工業技術研究院、國防部陸軍司令部、國防部海軍司令部、國防部空軍司令部、國防部參謀本部情報參謀次長室、國防部參謀本部作戰及計畫參謀次長室(戰情中心)、空軍作戰指揮部、內政部地政司、內政部警政署、內政部警政署航空警察局、飛航管制聯合協調中心、飛航服務總臺、臺北國際航空站、桃園國際機場股份有限公司、本局飛航標準組、飛航管制組、場站組、航站管理小組



局長沈啟

依分層負責規定授權單位主管決行

民航直昇機於臨時起降場作業期間要求及注意事項

階段	內 容	附註
任務前準備	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 任務前提示(含乘客安全提示)</li> <li>2. 蒐整起降場相關資料(如天氣、位置、標高、四週障礙物狀況、進離場方向等)</li> <li>3. 乘客艙單、貨物清單之確認；飛機載重與平衡解算。</li> <li>4. 飛機性能分析及作業可行性評估。</li> <li>5. 查閱其他飛航限制或與相關單位之聯繫、協調。</li> <li>6. 起降前應通報該臨時起降場當地警察機關。</li> <li>7. 備妥臨時起降場風向指示器。</li> </ol>	
起飛(前)作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 核對乘客身分、載運物品。</li> <li>2. 機械員執行飛行前檢查完畢由組員確認檢查後，於維護紀錄簿上有照簽放人員簽署，機長附署後航機始可執行作業。(註：簽放之維護紀錄簿存單由機務人員於作業執行完畢後帶回公司相關部門存檔備查。)</li> <li>3. 駕駛員確實執行飛機外部、內部檢查及起飛前馬力檢查(測試)。</li> <li>4. 場地四週完成 FOD 清除、人車管制並確實要求地面人員遠離起飛航道。</li> </ol>	
飛航期間	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 飛航全程與相關航管制單位保持密切聯繫，並將起降意圖通報。</li> <li>2. 沿途及起降場天氣狀況掌握。</li> </ol>	
降落(前)作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 執行高低空偵察：使駕駛員瞭解起降場四週障礙物、纜線相關位置及其影響，據以評估及決定後續起降參考。</li> <li>2. 公司地面管制人員引導飛機降落，並引導乘客上、下飛機。</li> </ol>	
加油作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 每日飛行前實施之飛行前檢查，其中包含飛機漏水檢查及油車漏水檢查，並經駕駛員認可後簽字。</li> </ol>	

	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. 作業期間，實施不關車加油應按照地勤作業手冊規定實施。</li> <li>3. 當日任務執行完畢實施飛行後檢查，關閉主電源，完成停機作業後始可離開作業場地。</li> </ol>	
其他	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 臨時起降場吊掛作業人員包含駕駛員二員、隨機簽放一員、助理機械員一員及加油人員一員。</li> <li>2. 吊掛作業時，地面作業人員應與航機保持聯繫，並隨時注意作業期間飛安、地安、人安、物安。</li> <li>3. 執行吊掛作業由組員依據航機馬力性能表告知作業人員吊掛貨物重量，作業人員依此標準實施貨物稱重，並以不超過此限制為基準。</li> <li>4. 作業人員於起吊前應確認貨物網紮是否妥當、地面管制無線電是否正常。</li> </ol>	



普通航空業飛航作業申請書						
申請事由	工業技術研究院租用本公司BK-117型直昇機執行「台灣北部火山活動觀測研究-台灣北部火成岩體及地質構造空中地球物理探測案」所需宜蘭、羅東及龜山島一帶地區吊掛磁測作業並擬使用宜蘭運動公園臨時起降場供直昇機臨時起降之用。					
作業	主用機場	松山機場	備用機場	桃園機場		
	飛航區域	宜蘭、羅東及龜山島一帶				
計畫	預計作業時間	4~8小時/每日 (依實際天候而定)	起迄日期	101.08.08   101.11.01		
		機型	BK-117	國籍編號	B-77099	架數
飛航計畫	<p>一、航線規劃：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 航機於 8/08(三)上午 09:30 由松山機場起飛至宜蘭運動公園臨時起降場。</li> <li>2. 7/11(三)經監管本公司之標準組 PAI/PMI/POI 全程在 86 號停機坪完成整套吊掛磁測設備結合航機地面開車測試作業，並預訂於 8/09(四)上午 07:30 執行試飛作業。</li> <li>3. 作業期間由該臨時起降場以機腹吊掛方式吊起磁測用拖鳥設備後，飛至磁測規劃區域執行空中磁測作業。</li> <li>4. 本次受委託磁測區域有涵括限航區 RCR30，本公司執行作業時間將依照 AIP 備註，於每週二至週五 UTC 0100-0400, 0600-1000 之時段停止作業，並隨時與軍備局兵器試驗場保持聯繫。</li> <li>5. 每日任務結束後，航機將返回宜蘭運動公園臨時起降場停留。</li> <li>6. 俟完成所有測量作業後航機直接返回松山機場。</li> </ol> <p>二、飛航高度： 3,000 呎以下</p> <p>三、航程距離： 100 哩內</p> <p>四、人員上、下機處：</p> <p style="padding-left: 40px;">松山機場(組員上、下機處)</p> <p style="padding-left: 40px;">宜蘭宜蘭運動公園臨時起降場地(組員及乘員上、下機處)</p> <p>五、飛航空速： 0~120 哩</p>					
	填表須知	<p>一、本表填報一式十五份。</p> <p>二、飛航圖應附有比例尺之簡圖，包括：飛行路徑及作業範圍。</p> <p>三、有關臨時起降場障礙物之標示，應依直昇機機場規劃設計規範於最後進離場區範圍，標示其障礙物之位置、高程及與起降區之相關幾何尺寸等資料。</p>				

申請日期：101年7月27日

申請人： 〈簽章〉





附件四

搭 載 乘 員 名 冊

申請作業日期：101.08.08-101.11.01

機型：BK-117

起飛及降落地點：

機長：趙長富、張國綱、張台孝、賴文桐、

松山機場、宜蘭運動公園

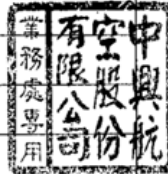
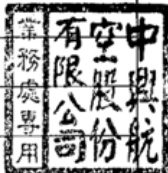
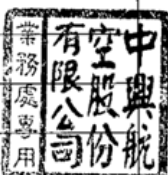
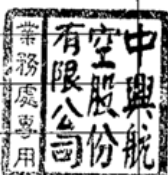
徐 強、陳信芳

航空公司名稱：中興航空

機號：B-77099

副駕駛員：劉廣林、林益淇、楊基勳、張成健、

張兆麟

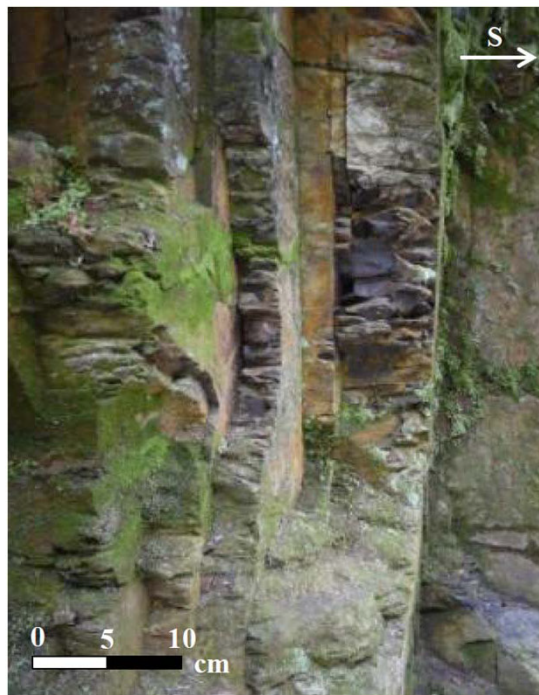
編號	姓 名	身分證編號	出生年月日	性別	任職單位及職稱	保險及金額	航空公司簽章
1	董倫道			男	工研院正研究員	300 萬 NTD	
2	林鎮國			男	工研院正研究員	300 萬 NTD	
3	李奕亨			男	工研院資深研究員	300 萬 NTD	
4	林蔚			男	工研院資深研究員	300 萬 NTD	
5	錢正明			男	工研院研究員	300 萬 NTD	
6	黃炎聰			男	工研院副研究員	300 萬 NTD	
7	劉致育			男	工研院副研究員	300 萬 NTD	
8	李錦發			男	中央地調所簡任技正	300 萬 NTD	
9	李柏村			男	中央地調所技佐	300 萬 NTD	
10	朱偉嘉			男	中央地調所技佐	300 萬 NTD	
11	陳志松			男	臺北師範大學助理	300 萬 NTD	
12	周好諳			女	臺北師範大學助理	300 萬 NTD	
13							
14							
15							
備註	填表及切結證明： 一、搭載乘員為申請飛航之航空公司員工者，保險欄可省略，其餘記載事項應由所屬航空公司簽證屬實，如有虛偽不實，願負法律責任。 二、搭載乘員為委託作業單位員工者，所有記載事項應由航空公司簽證，如有虛偽不實，願負法律責任。 三、搭載空中遊覽乘客，任職單位及職稱欄可省略，其餘記載事項應由委託業者或旅行社等簽證屬實，如有虛偽不實，願負法律責任。乘員資料得於起飛前補送民航局及航空站。 四、本名冊如因故變更時，應於起飛前送交民航局及航空站或直昇機飛行場管理人或所有人。						

## 7.7 岩層露頭磁感率及電阻率量測紀錄



編號： 1		樣本編號： 001, 002			地點： 五峰旗第二層瀑布旁				
地層： 四稜砂岩／硬頁岩					座標(TWD97)： 325475 2747594 120				
磁感率紀錄： 平均 = 0.130 unit: SI $\times 10^3$									
0.011	0.076	-0.003	-0.008	0.003	0.003	0.011	0.076	-0.003	-0.008
0.037	0.053	0.096	0.043	0.118	0.135	0.037	0.053	0.096	0.043
0.230	0.089	0.100	0.077	0.117	0.106	0.230	0.089	0.100	0.077
電阻率紀錄： 平均 = 362 unit: ohm-m									
92	440	242	97	31	365	356	453	27	325
405	572	383	554	497	251	1038	399	251	462
現場照片									
									

編號： 2	樣本編號： 003	地點： 五峰旗第三層瀑布步道旁							
地層： 四稜砂岩／硬頁岩					座標(TWD97)： 325434 2747500 103				
磁感率紀錄： 平均 = 0.079 unit: SIx10 <sup>3</sup>									
0.073	0.030	0.031	0.037	0.051	0.037	0.073	0.030	0.031	0.037
0.143	0.043	0.116	0.083	0.085	0.108	0.143	0.043	0.116	0.083
0.119	0.034	0.081	0.088	0.113	0.051	0.119	0.034	0.081	0.088
電阻率紀錄： 平均 = 245 unit: ohm-m									
194	422	378	259	194	172	246	246	229	198
334	317	317	317	198	242	290	123	84	150


現場照片








編號： 3	樣本編號： 004	地點：							
地層： 乾溝層／硬頁岩					座標(TWD97)： 324611 2745609 91				
磁感率紀錄： 平均 = 0.122 unit: SIx10 <sup>3</sup>									
0.109	0.127	0.044	0.106	0.152	0.133	0.109	0.127	0.044	0.106
0.117	0.092	0.118	0.15	0.064	0.124	0.117	0.092	0.118	0.15
0.152	0.156	0.105	0.081	0.132	0.153	0.152	0.156	0.105	0.081
電阻率紀錄： 平均 = 426 unit: ohm-m									
493	488	356	660	647	519	541	449	484	422
299	277	207	387	413	444	365	325	396	347
現場照片									
									





編號： 4		樣本編號： 005			地點： 二結路旁				
地層： 乾溝層／硬頁岩					座標(TWD97)： 321384 2741834 86				
磁感率紀錄： 平均 = 0.119 unit: SI $\times 10^3$									
0.138	0.118	0.064	0.1	0.052	0.096	0.138	0.118	0.064	0.1
0.184	0.109	0.083	0.108	0.08	0.102	0.184	0.109	0.083	0.108
0.112	0.151	0.127	0.136	0.173	0.079	0.112	0.151	0.127	0.136
電阻率紀錄： 平均 = 199 unit: ohm-m									
136	101	198	172	128	106	189	196	189	166
172	172	369	365	220	242	255	365	136	97
現場照片									
									

編號： 5	樣本編號： 006	地點： 宜 16-1 路旁							
地層： 四稜砂岩／粗礫石英砂岩					座標(TWD97)： 321525 2738269 19				
磁感率紀錄： 平均 = 0.016 unit: SIx10 <sup>3</sup>									
0.034	0.016	0.022	0.01	0.033	0.017	0.034	0.016	0.022	0.01
0.036	0.02	0.055	0.026	0.012	0.013	0.036	0.02	0.055	0.026
0.007	0.015	0.009	0.013	-0.007	-0.007	0.007	0.015	0.009	0.013
電阻率紀錄： 平均 = 11889 unit: ohm-m									
10204	12377	16493	10305	12176	13239	9632	17858	16845	18429
8216	9060	8752	7873	8357	13547	10028	14690	13678	6026
現場照片									
									

編號： 6		樣本編號：			地點： 宜 16-1 路旁				
地層： 四稜砂岩／粗礫石英砂岩					座標(TWD97)： 321570 2738284 21				
磁感率紀錄： 平均 = 0.006 unit: SI $\times 10^3$									
0.004	0.012	-0.001	0.002	0.011	0.005	0.004	0.012	-0.001	0.002
-0.009	0.001	0.006	0.001	-0.002	0.008	-0.009	0.001	0.006	0.001
0.008	-0.001	-0.006	0.004	0.001	0.008	0.008	-0.001	-0.006	0.004
電阻率紀錄： 平均 = 2892 unit: ohm-m									
1918	2837	1658	10653	1561	6910	6685	5410	3775	2793
1047	1183	1482	1482	1683	1377	1377	994	1500	1517
現場照片									
									



編號： 7		樣本編號： 007			地點： 宜 16-1 路旁				
地層： 四稜砂岩／粗礫石英砂岩					座標(TWD97)： 321283 2738204 25				
磁感率紀錄： 平均 = 0.017 unit: SI $\times 10^3$									
-0.002	-0.003	0.002	0.06	0.006	0.017	-0.002	-0.003	0.002	0.06
0.004	0.169	0.006	0.006	0.039	0.009	0.004	0.169	0.006	0.006
0.017	0.014	0.009	0.024	0	0.013	0.017	0.014	0.009	0.024
電阻率紀錄： 平均 = 9152 unit: ohm-m									
3642	2283	2657	4055	7385	5850	6866	8647	7596	6289
5247	24674	24234	19572	25818	22783	1504	1447	1271	1214
現場照片									
									






編號： 8		樣本編號： 008			地點： 宜 16-1 路旁				
地層： 四稜砂岩／粗礫石英砂岩					座標(TWD97)： 320161 2739031 24				
磁感率紀錄： 平均 = 0.003 unit: SI $\times 10^3$									
0.006	0	-0.002	0.027	-0.008	0.003	0.006	0	-0.002	0.027
0.001	0.009	0.005	0.005	0	0.002	0.001	0.009	0.005	0.005
0.011	-0.001	0.003	0.006	0.006	0.017	0.011	-0.001	0.003	0.006
電阻率紀錄： 平均 = 23379 unit: ohm-m									
12975	14690	13283	14294	18692	16713	11831	26565	32019	36857
29732	19308	18209	26038	21463	19352	24894	32019	35714	42927
現場照片									
									



編號： 9		樣本編號：			地點： 台7線旁				
地層： 四稜砂岩／石英砂岩					座標(TWD97)： 317011 2733544 78				
磁感率紀錄： 平均 = 0.002 unit: SI $\times 10^3$									
0.002	0.024	-0.007	0.008	0.008	0.004	0.002	0.024	-0.007	0.008
0.01	0.016	0.005	-0.005	0.003	0.009	0.01	0.016	0.005	-0.005
0.011	0.003	0.007	0.005	0.006	-0.005	0.011	0.003	0.007	0.005
電阻率紀錄： 平均 = 10639 unit: ohm-m									
12227	12728	12016	11875	13327	17452	15130	4235	3334	3457
3910	19616	19044	16757	2894	7046	4442	9940	9632	13722
現場照片									
									



編號： 10	樣本編號： 009	地點： 台7線和朝陽巷交叉口							
地層： 乾溝層／硬頁岩					座標(TWD97)： 313003 2730710 148				
磁感率紀錄： 平均 = 0.155 unit: SI $\times 10^3$									
0.191	0.157	0.191	0.149	0.186	0.143	0.191	0.157	0.191	0.149
0.095	0.189	0.077	0.218	0.167	0.105	0.095	0.189	0.077	0.218
0.177	0.165	0.233	0.22	0.182	0.179	0.177	0.165	0.233	0.22
電阻率紀錄： 平均 = 584 unit: ohm-m									
1091	783	735	756	743	664	642	611	594	695
497	598	743	466	428	409	273	378	361	216
現場照片									
									

編號： 11		樣本編號： 010			地點： 台7線				
地層： 四稜砂岩／變質砂岩					座標(TWD97)： 311726 2729897 157				
磁感率紀錄： 平均 = 0.003 unit: SI $\times 10^3$									
-0.001	-0.005	-0.001	0.004	-0.006	0.024	-0.001	-0.005	-0.001	0.004
0.009	-0.002	0.016	0.007	-0.009	-0.003	0.009	-0.002	0.016	0.007
0.008	0.016	-0.013	0.011	0.021	0.010	0.008	0.016	-0.013	0.011
電阻率紀錄： 平均 = 14559 unit: ohm-m									
4227	13327	5014	9984	4565	8730	12579	9148	8928	8884
6641	11611	28061	40332	19704	29424	10605	20496	22299	16625
現場照片									
									

編號： 12	樣本編號： 011	地點： 宜 33-1 路旁							
地層： 廬山層(清水湖段)/板岩					座標(TWD97)： 323479 2726654 110				
磁感率紀錄： 平均 = 0.116 unit: SI $\times 10^3$									
0.142	0.101	0.077	0.110	0.095	0.106	0.142	0.101	0.077	0.110
0.111	0.187	0.101	0.129	0.129	0.056	0.111	0.187	0.101	0.129
0.078	0.102	0.134	0.154	0.126	0.135	0.078	0.102	0.134	0.154
電阻率紀錄： 平均 = 1275 unit: ohm-m									
1016	941	1113	1042	968	1306	1091	1042	7978	946
1104	774	849	888	718	871	853	647	735	627
現場照片									
									



編號： 13	樣本編號： 012	地點： 宜 33-1 路旁							
地層： 廬山層(清水湖段)/板岩					座標(TWD97)： 323587 2726395 131				
磁感率紀錄： 平均 = 0.153 unit: SI $\times 10^3$									
0.114	0.133	0.111	0.131	0.178	0.155	0.114	0.133	0.111	0.131
0.175	0.177	0.151	0.183	0.168	0.108	0.175	0.177	0.151	0.183
0.114	0.123	0.166	0.166	0.196	0.157	0.114	0.123	0.166	0.166
電阻率紀錄： 平均 = 1329 unit: ohm-m									
1641	1047	1069	1359	1658	2388	2195	677	1812	1244
1926	413	2243	2208	695	774	853	844	805	730
現場照片									
									



編號： 14		樣本編號：			地點： 龜山島環湖步道				
地層： 熔岩流(第二期)／安山岩					座標(TWD97)：	345368	2748392	35	
磁感率紀錄： 平均 = 10.563 unit: SI $\times 10^3$									
11.7	7.62	15.6	11.6	12.1	8.91	11.7	7.62	15.6	11.6
15.9	12.6	15.2	20.5	19.7	16.3	15.9	12.6	15.2	20.5
2.17	7.43	7.3	3.36	4.7	9.38	2.17	7.43	7.3	3.36
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									

現場照片




編號： 15		樣本編號： 014			地點： 龜山島, 觀音像後方岩體上層				
地層： 熔岩流(第三期)/安山岩					座標(TWD97)： 345209 2748431 16				
磁感率紀錄： 平均 = 16.197 unit: SIx10 <sup>3</sup>									
21	13.9	13.7	16.7	18.5	15	21	13.9	13.7	16.7
15	16.5	18.2	20.7	19.9	21.1	15	16.5	18.2	20.7
10.5	13.2	17.9	19.2	17.1	10.2	10.5	13.2	17.9	19.2
電阻率紀錄： 平均 = 5635 unit: ohm-m									
3796	3387	3233	3686	3853	3888	4046	3387	3866	5630
4631	3954	6118	3695	8552	3079	21463	7301	12007	3128
現場照片									
									






編號： 16		樣本編號： 013			地點： 龜山島, 觀音像後方岩體下層				
地層： 熔岩流(第二期)/安山岩					座標(TWD97)： 345209 2748431 14				
磁感率紀錄： 平均= unit: SI $\times 10^3$									
19	20.1	19.7	20.6	20.2	12.5	19	20.1	19.7	20.6
19	20.4	17.1	19.2	21.8	18	19	20.4	17.1	19.2
19	21.4	18.1	23.4	20.7	11.6	19	21.4	18.1	23.4
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									


現場照片



編號： 17		樣本編號： 015			地點： 龜山島環湖步道				
地層： 熔岩流(第二期)／安山岩					座標(TWD97)： 345189 2748439 16				
磁感率紀錄： 平均 = 6.459 unit: SI $\times 10^3$									
18.6	9.86	7.63	8.8	7.05	10.1	18.6	9.86	7.63	8.8
8.37	4.53	3.48	3.77	6.88	3.49	8.37	4.53	3.48	3.77
6.78	6.58	4.95	6.19	7.88	2.05	6.78	6.58	4.95	6.19
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									
現場照片									
									

編號： 18		樣本編號： 016			地點： 龜山島環湖步道				
地層： 火山集塊岩／安山岩					座標(TWD97)： 345137 2748459 15				
磁感率紀錄： 平均 = 5.879 unit: SI $\times 10^3$									
5.33	3.75	2.08	6.23	10.5	3.42	5.33	3.75	2.08	6.23
4.54	3.75	3.41	3.37	6.11	7.96	4.54	3.75	3.41	3.37
2.63	5.62	6.62	12.9	3.98	4.25	2.63	5.62	6.62	12.9
電阻率紀錄： 平均 = 5673 unit: ohm-m									
302	286	283	12311	9276	1108	7169	10644	16054	6232
4970	4790	4486	3475	4090	3651	488	44	13766	10028
現場照片									
									

編號： 19		樣本編號： 017			地點： 龜山島南岸碼頭				
地層： 熔岩流(第二期)/安山岩					座標(TWD97)： 345036 2748418 10				
磁感率紀錄： 平均 = 9.532 unit: SI $\times 10^3$									
13.8	17.7	9.29	6.96	11.7	10.1	13.8	17.7	9.29	6.96
13.2	7.74	9.35	9.15	9.74	12.6	13.2	7.74	9.35	9.15
8.09	10.4	7.8	17	13.8	14	8.09	10.4	7.8	17
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									
現場照片									
									



編號： 20		樣本編號： 018			地點： 龜山島 401 高地步道				
地層： 火山集塊岩／安山岩					座標(TWD97)：		345464 2748764		14
磁感率紀錄： 平均 = 1.179 unit: SI $\times 10^3$									
1.48	1.23	0.486	2.08	0.482	1.17	1.48	1.23	0.486	2.08
1.88	0.571	0.664	1.67	0.239	7.89	1.88	0.571	0.664	1.67
0.198	1.06	0.505	0.875	1.41	0.234	0.198	1.06	0.505	0.875
電阻率紀錄： 平均 = 5402 unit: ohm-m									
2859	2591	2929	2151	2784	3708	2762	1935	8665	9966
4046	4310	8374	7389	8084	8546	8625	6685	8251	3387
現場照片									
									


編號： 21		樣本編號：			地點： 龜山島 401 高地步道				
地層： 熔岩流(第四期)／安山岩					座標(TWD97)：		346002 2748654 214		
磁感率紀錄： 平均 = 1.146 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
2.000	1.340	1.260	0.324	1.100	1.200	2.000	1.340	1.260	0.324
1.370	1.380	1.200	0.793	1.760	1.770	1.370	1.380	1.200	0.793
0.608	2.300	0.676	1.310	1.300	0.973	0.608	2.300	0.676	1.310
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									
現場照片									





編號： 22		樣本編號：			地點： 龜山島 401 高地步道				
地層： 熔岩流(第四期)／安山岩					座標(TWD97)： 345914 2748695 181				
磁感率紀錄： 平均 = 1.637 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
2.060	1.740	1.820	1.810	2.020	2.030	2.060	1.740	1.820	1.810
1.610	2.180	1.900	1.660	1.590	1.990	1.610	2.180	1.900	1.660
1.480	1.190	1.460	1.100	1.050	1.320	1.480	1.190	1.460	1.100
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									
現場照片									

編號： 23		樣本編號：			地點： 龜山島 401 高地步道				
地層： 熔岩流(第四期)／安山岩					座標(TWD97)： 345823 2748785 150				
磁感率紀錄： 平均 = 2.031 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
1.51	1.49	1.53	1.17	1.27	1.94	1.51	1.49	1.53	1.17
4.1	2.48	1.93	2.19	2.07	2.65	4.1	2.48	1.93	2.19
1.57	0.989	2.7	1.71	2.38	1.9	1.57	0.989	2.7	1.71
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									
現場照片									

編號： 24		樣本編號： 019			地點： 龜山島北岸碼頭				
地層： 火山集塊岩／安山岩					座標(TWD97)： 345440 2748790 10				
磁感率紀錄： 平均 = 0.856 unit: SI $\times 10^3$									
0.437	1.82	0.363	0.234	0.494	2.53	0.437	1.82	0.363	0.234
0.393	0.02	0.577	1.23	0.505	0.422	0.393	0.02	0.577	1.23
0.463	0.995	0.577	0.542	0.678	0.791	0.463	0.995	0.577	0.542
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									
現場照片									
									

編號： 25		樣本編號：			地點： 龜山島北岸碼頭				
地層： 火山集塊岩／安山岩					座標(TWD97)： 345436 2748800 9				
磁感率紀錄： 平均 = 0.929 unit: SI $\times 10^3$									
0.924	0.371	-0.363	0.979	1.08	0.519	0.924	0.371	-0.363	0.979
0.371	0.645	0.634	0.34	0.328	2.34	0.371	0.645	0.634	0.34
0.311	0.829	0.871	0.54	1.35	0.847	0.311	0.829	0.871	0.54
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									
現場照片									
									

編號： 26		樣本編號： 021			地點： 龜山島北岸碼頭				
地層： 火山集塊岩／安山岩					座標(TWD97)： 345441 2748810 9				
磁感率紀錄： 平均 = 1.611 unit: SI $\times 10^3$									
1.86	0.283	0.614	3.41	2.46	0.394	1.86	0.283	0.614	3.41
0.235	4.73	1.57	0.43	4.74	0.889	0.235	4.73	1.57	0.43
2.89	0.298	2.76	0.913	0.286	0.405	2.89	0.298	2.76	0.913
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									
現場照片									
									



編號： 27		樣本編號：			地點： 龜山島北岸碼頭				
地層： 熔岩流(第四期)／安山岩				座標(TWD97)：		345383 2748582		18	
磁感率紀錄： 平均 = 2.873 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
2.06	2.44	1.92	1.84	3.44	2.44	2.06	2.44	1.92	1.84
1.78	1.63	3.11	1.89	2.25	3.2	1.78	1.63	3.11	1.89
2.04	3.39	4.53	2.03	4.07	6.08	2.04	3.39	4.53	2.03
電阻率紀錄： 平均 = 1650 unit: ohm-m									
1852	2069	2207	1495	2287	1869	1724	1847	1909	2160
1517	1407	1144	1434	1957	1482	1127	1319	1418	783
現場照片									



編號： 28	樣本編號： 2201	地點： 蘇花公路旁							
地層： 蘇澳層／板岩		座標(TWD97)： 337006 2720462 73							
磁感率紀錄： 平均= 0.186 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
0.019	0.137	0.184	0.177	0.198	1.42	0.019	0.137	0.184	0.177
0.178	0.073	0.089	0.293	0.163	0.234	0.178	0.073	0.089	0.293
0.164	0.174	0.131	0.078	0.142	0.19	0.164	0.174	0.131	0.078
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									

現場照片



編號： 29		樣本編號： 2202			地點： 蘇花公路旁				
地層： 蘇澳層／板岩					座標(TWD97)： 337141 2720091 117				
磁感率紀錄： 平均= 0.186 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
0.21	0.225	0.199	0.175	0.221	0.208	0.21	0.225	0.199	0.175
0.209	0.105	0.18	0.223	0.116	0.177	0.209	0.105	0.18	0.223
0.234	0.157	0.214	0.211	0.217	0.226	0.234	0.157	0.214	0.211
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									
現場照片									
									

編號： 30		樣本編號： 2203			地點： 蘇花公路旁				
地層： 蘇澳層／板岩					座標(TWD97)： 337720 2718379 165				
磁感率紀錄： 平均= 0.194 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
0.183	0.187	0.125	0.187	0.222	0.204	0.183	0.187	0.125	0.187
0.214	0.163	0.232	0.231	0.252	0.202	0.214	0.163	0.232	0.231
0.207	0.245	0.038	0.309	0.2	0.151	0.207	0.245	0.038	0.309
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									

現場照片







編號： 31	樣本編號： 2204	地點： 蘇花公路旁							
地層： 東澳片岩／角閃岩		座標(TWD97)： 337675 2714232 342							
磁感率紀錄： 平均= 19.837 unit: SI $\times 10^3$									
34.8	41.8	37.9	33.7	35.2	36.9	34.8	41.8	37.9	33.7
26.8	3.97	0.815	5.24	46.2	5.12	26.8	3.97	0.815	5.24
42.8	29.5	3.79	11.2	9.75	1.16	42.8	29.5	3.79	11.2
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									

現場照片






編號： 32		樣本編號： 2205			地點： 蘇花公路旁				
地層： 東澳片岩／角閃岩					座標(TWD97)： 337190 2714198 305				
磁感率紀錄： 平均= 0.359 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
0.416	0.339	0.423	0.299	0.374	0.386	0.416	0.339	0.423	0.299
0.403	0.405	0.265	0.333	0.316	0.242	0.403	0.405	0.265	0.333
0.387	0.293	0.37	0.276	0.353	0.665	0.387	0.293	0.37	0.276
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									
現場照片									
									

編號： 33		樣本編號： 2206			地點： 蘇花公路旁				
地層： 南蘇澳層／板岩					座標(TWD97)： 337661 2716754 254				
磁感率紀錄： 平均= 0.121 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
0.096	0.091	0.077	0.07	0.136	0.174	0.096	0.091	0.077	0.07
0.068	0.123	0.126	0.131	0.113	0.153	0.068	0.123	0.126	0.131
0.177	0.109	0.14	0.071	0.157	0.117	0.177	0.109	0.14	0.071
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									
現場照片									
									

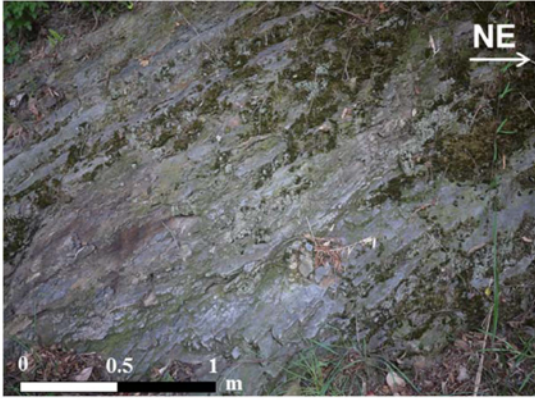



編號： 34		樣本編號： 2207			地點： 粗坑溪				
地層： 西村層／硬頁岩					座標(TWD97)： 314761 2734835 121				
磁感率紀錄： 平均= 0.109 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
0.204	0.248	0.131	0.132	0.188	0.088	0.204	0.248	0.131	0.132
0.082	0.077	0.081	0.111	0.161	0.074	0.082	0.077	0.081	0.111
0.114	0.108	0.071	0.098	0.082	0.126	0.114	0.108	0.071	0.098
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									
現場照片									
									

編號： 35	樣本編號： 2208	地點： 台 7 線 英士山莊路旁							
地層： 廬山層(清水湖段)／變質砂岩					座標(TWD97)： 304476 2724326 289				
磁感率紀錄： 平均 = -0.001 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
0.008	0.001	-0.006	0.1	-0.009	-0.008	0.008	0.001	-0.006	0.1
-0.01	-0.008	-0.003	-0.005	-0.007	-0.01	-0.01	-0.008	-0.003	-0.005
-0.008	-0.001	-0.002	0.006	0.005	0.004	-0.008	-0.001	-0.002	0.006
電阻率紀錄： 平均 = unit: ohm-m									

現場照片



編號： 36		樣本編號：			地點： 台 7 線 英士山莊路旁				
地層： 廬山層(清水湖段)/板岩					座標(TWD97)： 304428 2724231 281				
磁感率紀錄： 平均= 0.029 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
0.034	0.063	0.027	0.033	0.028	0.007	0.034	0.063	0.027	0.033
0.056	0.039	0.026	0.036	0.025	0.015	0.056	0.039	0.026	0.036
0.005	0.023	0.009	0.021	0.027	0.007	0.005	0.023	0.009	0.021
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									
現場照片									
									

編號： 37	樣本編號： 2209	地點： 台 7 線 英士山莊路旁							
地層： 廬山層(清水湖段)/變質砂岩					座標(TWD97)： 305714 2725302 297				
磁感率紀錄： 平均= 0.011 unit: SI×10 <sup>3</sup>									
0.021	0.031	-0.013	-0.004	0.004	0.001	0.021	0.031	-0.013	-0.004
-0.002	-0.006	0.024	0.004	0.014	0.001	-0.002	-0.006	0.024	0.004
-0.005	-0.006	0.025	0.024	0.039	0.059	-0.005	-0.006	0.025	0.024
電阻率紀錄： 平均= unit: ohm-m									

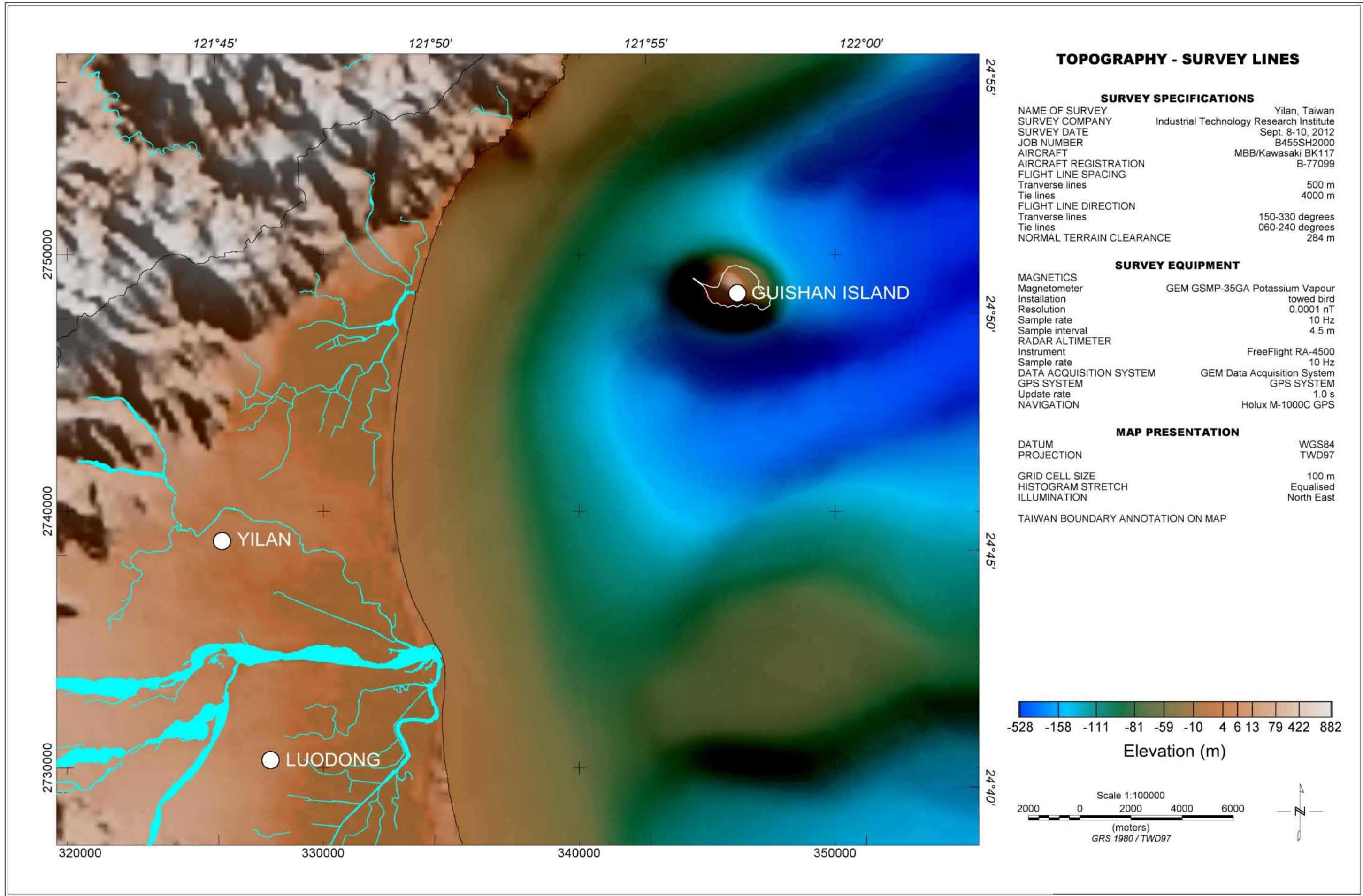
現場照片



## 7.8 磁力異常圖幅

- (1) 地形圖(topography map)
- (2) 航線分布圖(survey lines map)
- (3) 全磁力異常圖(Total Magnetic Intensity map, TMI map)
- (4) 經歸極換算後磁力異常圖(TMI-RTP map)





**TOPOGRAPHY - SURVEY LINES**

**SURVEY SPECIFICATIONS**

NAME OF SURVEY	Yilan, Taiwan
SURVEY COMPANY	Industrial Technology Research Institute
SURVEY DATE	Sept. 8-10, 2012
JOB NUMBER	B455SH2000
AIRCRAFT	MBB/Kawasaki BK117
AIRCRAFT REGISTRATION	B-77099
FLIGHT LINE SPACING	
Transverse lines	500 m
Tie lines	4000 m
FLIGHT LINE DIRECTION	
Transverse lines	150-330 degrees
Tie lines	060-240 degrees
NORMAL TERRAIN CLEARANCE	284 m

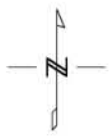
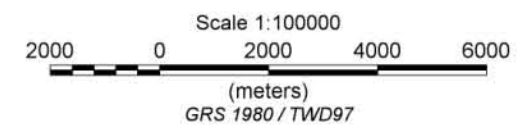
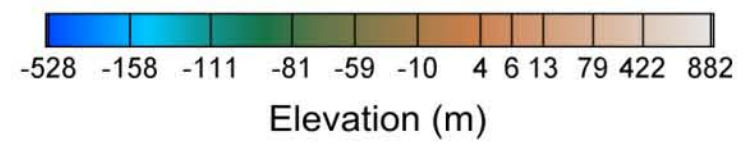
**SURVEY EQUIPMENT**

MAGNETICS	
Magnetometer	GEM GSMP-35GA Potassium Vapour
Installation	towed bird
Resolution	0.0001 nT
Sample rate	10 Hz
Sample interval	4.5 m
RADAR ALTIMETER	
Instrument	FreeFlight RA-4500
Sample rate	10 Hz
DATA ACQUISITION SYSTEM	GEM Data Acquisition System
GPS SYSTEM	GPS SYSTEM
Update rate	1.0 s
NAVIGATION	Holux M-1000C GPS

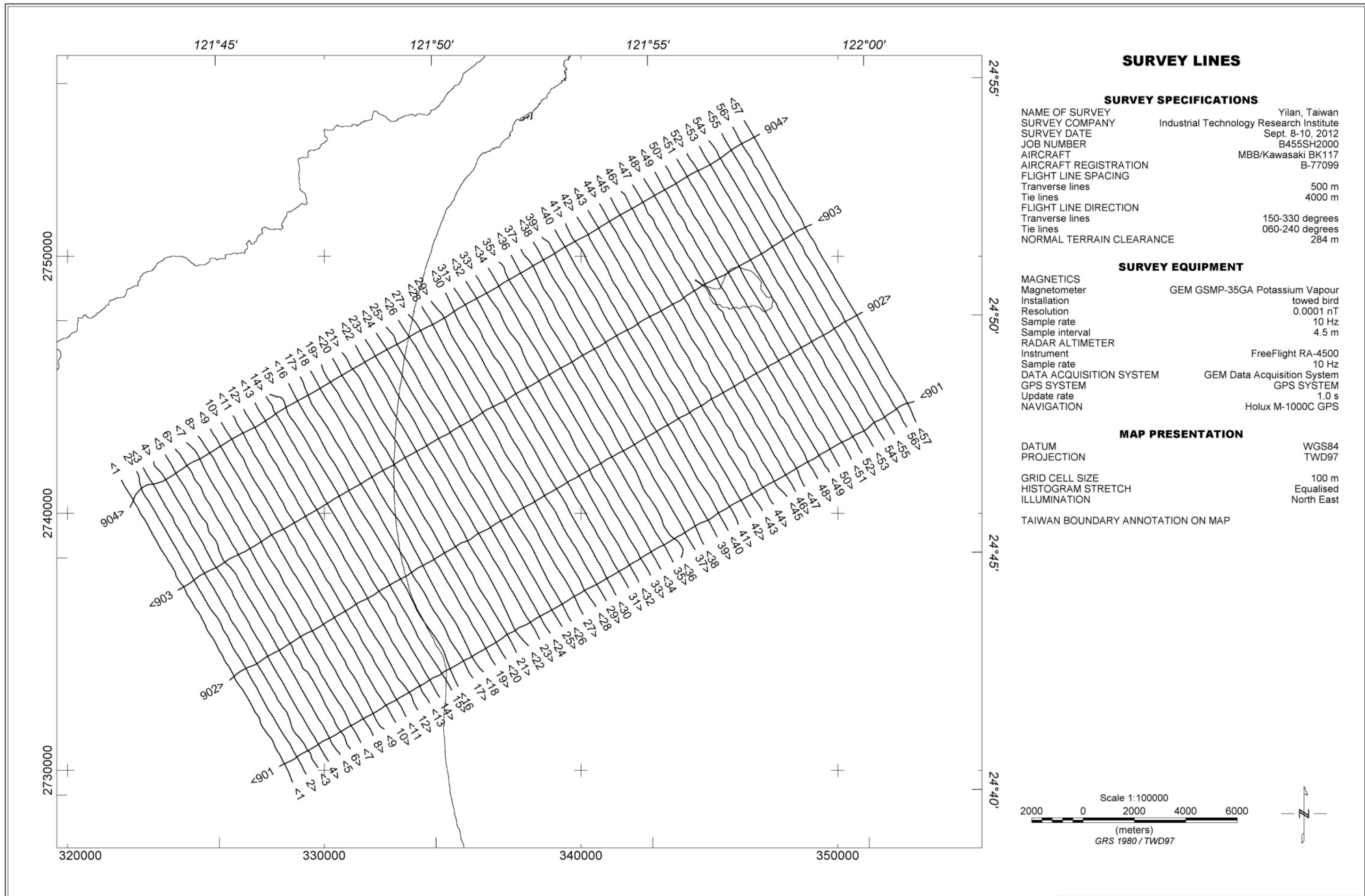
**MAP PRESENTATION**

DATUM	WGS84
PROJECTION	TWD97
GRID CELL SIZE	100 m
HISTOGRAM STRETCH	Equalised
ILLUMINATION	North East

TAIWAN BOUNDARY ANNOTATION ON MAP







**SURVEY LINES**

**SURVEY SPECIFICATIONS**

NAME OF SURVEY	Yilan, Taiwan
SURVEY COMPANY	Industrial Technology Research Institute
SURVEY DATE	Sept. 8-10, 2012
JOB NUMBER	B455SH2000
AIRCRAFT	MBB/Kawasaki BK117
AIRCRAFT REGISTRATION	B-77099
FLIGHT LINE SPACING	
Transverse lines	500 m
Tie lines	4000 m
FLIGHT LINE DIRECTION	
Transverse lines	150-330 degrees
Tie lines	060-240 degrees
NORMAL TERRAIN CLEARANCE	284 m

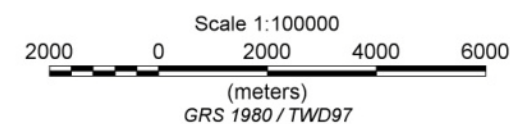
**SURVEY EQUIPMENT**

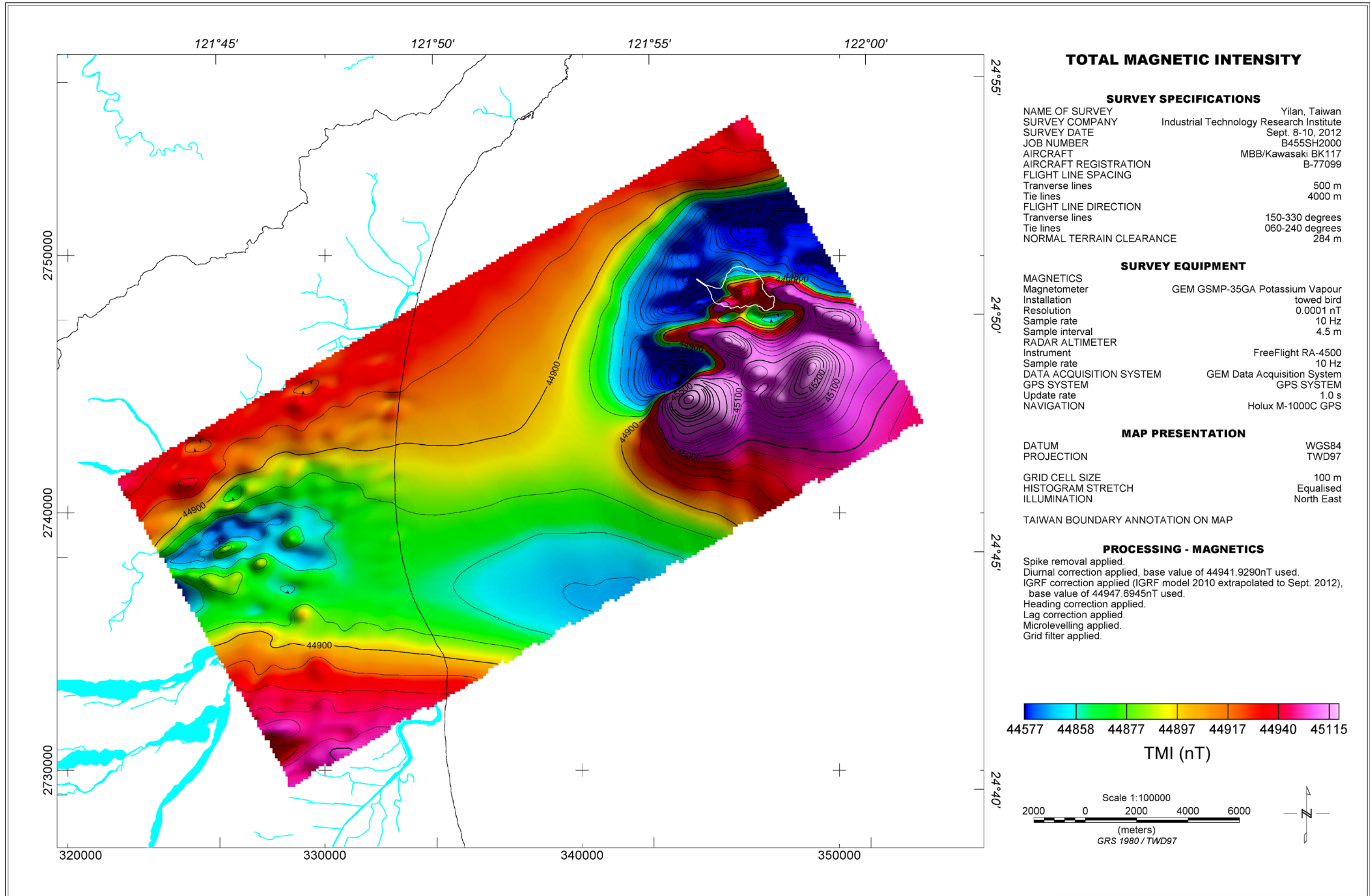
MAGNETICS	
Magnetometer	GEM GSMP-35GA Potassium Vapour
Installation	towed bird
Resolution	0.0001 nT
Sample rate	10 Hz
Sample interval	4.5 m
RADAR ALTIMETER	
Instrument	FreeFlight RA-4500
Sample rate	10 Hz
DATA ACQUISITION SYSTEM	GEM Data Acquisition System
GPS SYSTEM	GPS SYSTEM
Update rate	1.0 s
NAVIGATION	Holux M-1000C GPS

**MAP PRESENTATION**

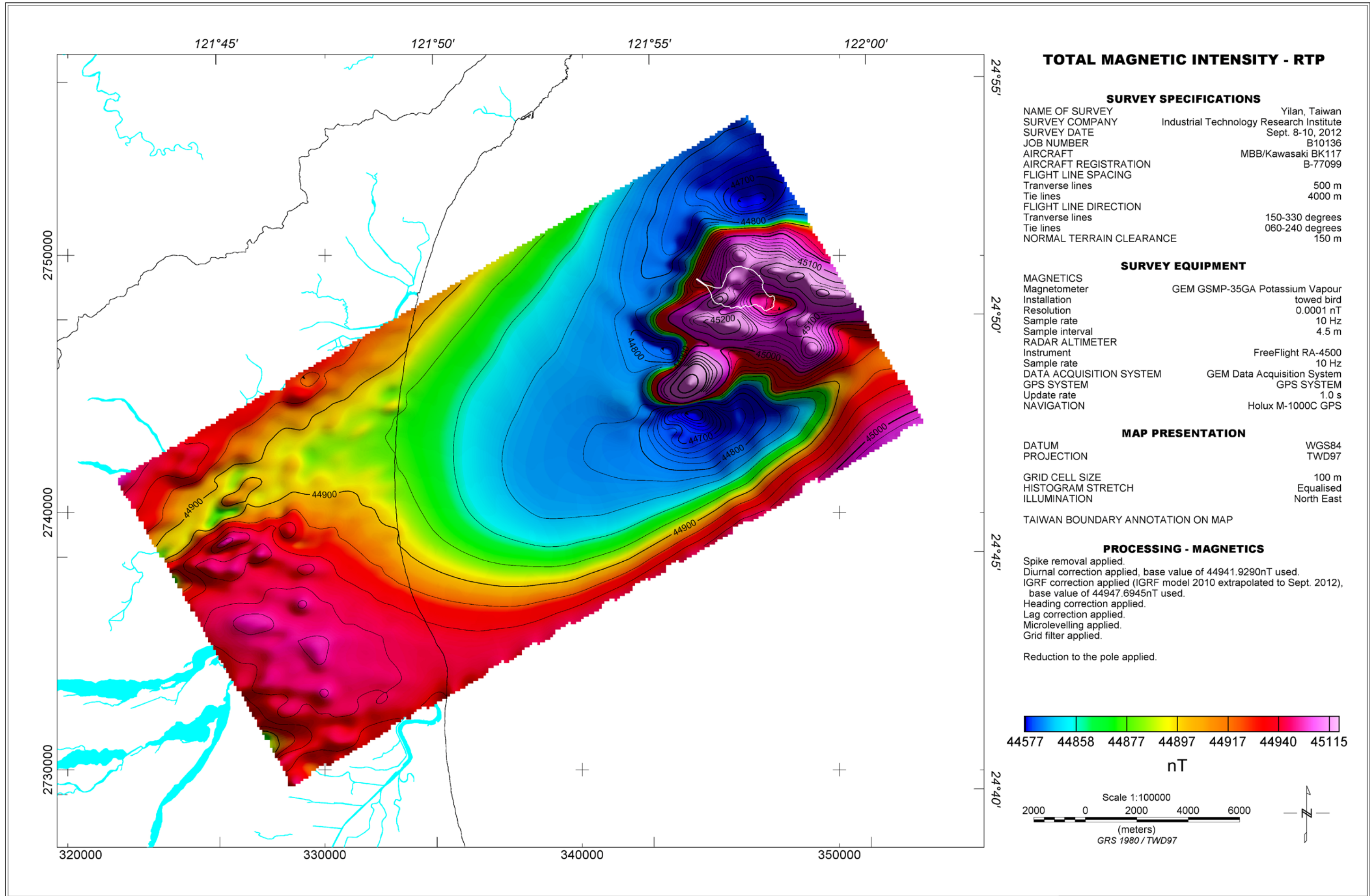
DATUM	WGS84
PROJECTION	TWD97
GRID CELL SIZE	100 m
HISTOGRAM STRETCH	Equalised
ILLUMINATION	North East

TAIWAN BOUNDARY ANNOTATION ON MAP









**TOTAL MAGNETIC INTENSITY - RTP**

**SURVEY SPECIFICATIONS**

NAME OF SURVEY	Yilan, Taiwan
SURVEY COMPANY	Industrial Technology Research Institute
SURVEY DATE	Sept. 8-10, 2012
JOB NUMBER	B10136
AIRCRAFT	MBB/Kawasaki BK117
AIRCRAFT REGISTRATION	B-77099
FLIGHT LINE SPACING	
Transverse lines	500 m
Tie lines	4000 m
FLIGHT LINE DIRECTION	
Transverse lines	150-330 degrees
Tie lines	060-240 degrees
NORMAL TERRAIN CLEARANCE	150 m

**SURVEY EQUIPMENT**

MAGNETICS	
Magnetometer	GEM GSMP-35GA Potassium Vapour
Installation	towed bird
Resolution	0.0001 nT
Sample rate	10 Hz
Sample interval	4.5 m
RADAR ALTIMETER	
Instrument	FreeFlight RA-4500
Sample rate	10 Hz
DATA ACQUISITION SYSTEM	GEM Data Acquisition System
GPS SYSTEM	GPS SYSTEM
Update rate	1.0 s
NAVIGATION	Holux M-1000C GPS

**MAP PRESENTATION**

DATUM	WGS84
PROJECTION	TWD97
GRID CELL SIZE	100 m
HISTOGRAM STRETCH	Equalised
ILLUMINATION	North East
TAIWAN BOUNDARY ANNOTATION ON MAP	

**PROCESSING - MAGNETICS**

Spike removal applied.  
 Diurnal correction applied, base value of 44941.9290nT used.  
 IGRF correction applied (IGRF model 2010 extrapolated to Sept. 2012),  
 base value of 44947.6945nT used.  
 Heading correction applied.  
 Lag correction applied.  
 Microlevelling applied.  
 Grid filter applied.  
 Reduction to the pole applied.

