

# 國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

不同設定參數對 GravitonEG 相對重力儀

觀測資料品質影響之研究

The Relationship Between Different Setup Parameters of  
GravitonEG and the Quality of Gravity Observation



研究生：林進福

指導教授：陳春盛

中華民國九十三年七月

不同設定參數對 GravitonEG 相對重力儀  
觀測資料品質影響之研究

The Relationship Between Different Setup Parameters of  
GravitonEG and the Quality of Gravity Observation

研究生：林進福

Student : Chin-Fu Lin

指導教授：陳春盛博士

Advisor : Dr. Chun-Sung Chen



碩士論文

*A Thesis*  
*Submitted to Department of Civil Engineering*  
*College of Engineering*  
*Nation Chiao Tung University*  
*in Partiar Fulfillment of the Requirements*  
*for Degree of Master*  
*in*  
*Civil Engineering*  
*July 2004*  
*Hsinchu, Taiwan, Republic of China*

中 華 民 國 九 十 三 年 七 月

# 不同設定參數對 GravitonEG 相對重力儀 觀測資料品質影響之研究

研究生：林進福

指導教授：陳春盛博士

國立交通大學土木工程學系

## 中文摘要

本文針對 GravitonEG 型相對重力儀原理、儀器的參數設定意義與觀測使用方式做說明，為求得適當之設定參數，本文中設計各種不同之參數設定組合，於室內環境下進行多次相對重力測量重複觀測，計算每一種參數設定之實驗例的儀器標準偏差，且連續 24 小時之室內觀測測試儀器之特性與儀器內部軟體對海潮模式改正之評估。於室外進行之閉合觀測路線，經最小約制平差後，對各種不同定平容忍值設定之觀測資料做精度評估分析，可顯示不同參數對觀測品質之影響。根據實驗得到之結果，建議 GravitonEG 相對重力儀的使用者用來進行觀測時最適當的參數設定值。

# **The Relationship Between Different Setup Parameters of GravitonEG and the Quality of Gravity Observation**

Student : Chin-Fu Lin

Advisor : Dr.Chun-Sung Chen

**Department of Civil Engineering  
Nation Chiao Tung University**

## **Abstract**

This thesis interpreted the surveying principle, the meanings of setup parameters and the operation method of relative gravimeter--GravitonEG. To find out the best setting, we designed kinds of experiments using different “Measure Timeout”, ”Filter Length” and “Level Noise” settings in different observation environment. We could analysis observation precision of experiments using different parameters settings after calculating the readings by using least constrain adjustment. According to the results of experiments mentioned before, we suggested the most appropriate setting of GravitonEG to take readings.

## 誌謝

首先感謝我的指導教授陳春盛老師，兩年來不管是在課業、待人接物或是生活…等等各方面的教導與指正，甚至老師常常跟我們分享的生活經驗，都使我受益良多；此外，對於史天元教授、黃金維教授與李振燾教授在授課上的用心也是十分的感激，我真的很喜歡測量組的每一位師長。

其次，在論文的實驗計畫中，感謝王成機學長不厭其煩的鼎力相助，使得在最危急的時候，我仍能不放棄要完成論文的念頭；貓哥、小支、印淞還有思源學長陪我辛苦的在外面吹風晒日進行相對重力觀測。每次我中斷論文寫作，一想到你們，就會再繼續打拼，真的是十分的你們辛苦的陪伴，有你們的幫忙，真好。

而論文的口試委員青雲技術學院楊潔豪校長、還有李振燾老師、工研院量測中心的李瓊武博士給予我的寶貴意見與指教，促使這本論文更加的完善，我也十分的感激，並希望這本論文的成果能對相對重力測量儀器的使用者有所助益。

還有許許多多關心我的朋友，包括遠在各地、陪我渡過許多美好時光的大學死黨、同學、學長姊及學弟妹、在工研院當實習生時對我十分照顧與包容的伙伴們、一直追問論文下落的國中的死黨們、台南女院音樂系的朋友……啊，一本論文的催生，要感謝的人真的是數不盡哪！由衷感謝每一位關心這本論文誕生，因為有你們不斷地關心，我才有動力寫完論文，持續到今天，謝謝你們。

隨著論文的完成，也表示在交大兩年即將結束。從剛進來時候的學長姊，同學之間或是後來這年加入的學弟們，不只是在學業上相互扶持幫忙而已，在生活上大家一起打鬧、玩樂的畫面，還有大家最後互相打氣寫論文這段難熬的日子，這些畫面將會一一留在我腦海裡，因為這是在交大留下最美好的回憶。

最後，讓我把這一切歸功於辛苦養育、支持我的媽和爸(希望你能聽見)，還有一直支持、照顧家裡大小事的姊姊們，當然還有常被我使喚的妹，沒有你們，或許我現在只是調皮搗蛋的阿福吧！這本論文，獻給我的家人。

# 不同設定參數對 GravitonEG 相對重力儀

## 觀測資料品質影響之研究

### 目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌 謝.....	iii
目 錄.....	iv
表目錄.....	viii
圖目錄.....	x
第一章 前言.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 研究方法與實驗步驟.....	2
1-3 研究內容與架構.....	3
第二章 重力測量理論基礎.....	4
2-1 重力測量之基本概念.....	4
2-1.1 何謂重力.....	4
2-1.2 重力的單位與大小.....	5
2-2 重力測量.....	5
2-2.1 重力網的設立.....	5
2-2.2 重力測量使用的儀器原理.....	6
2-3 重力值與高程系統.....	8
第三章 相對重力儀.....	10
3-1 常見之相對重力儀.....	10
3-2 GravitonEG 相對重力儀.....	16
3-2.1 儀器功能簡介.....	16

3-2.2	操作面板說明 .....	17
3-2.3	螢幕選單導覽 .....	20
3-2.4	AUTO 自動模式(AUTO MODE) .....	21
3-2.5	EXPERT 專家模式(EXPERT MODE) .....	32
3-2.6	傳輸模式(TRANSFER MODE) .....	36
3-2.7	設定模式(SETUP MODE) .....	37
3-2.7.1	一般設定區 .....	38
3-2.7.2	控制設定區 .....	39
3-2.7.3	資料獲取設定區 .....	41
3-2.8	率定模式(CALIBRATE MODE) .....	45
3-2.9	觀測資料格式 .....	48
3-3	建議操作使用程序 .....	50
第四章	實驗的進行與資料處理之方法 .....	52
4-1	實驗內容規劃 .....	52
4-1.1	場地的選擇 .....	52
4-1.2	實驗目的與儀器參數的設定 .....	52
4-2	相對重力讀數資料處理方法 .....	54
4-2.1	記錄資料格式 .....	54
4-2.2	各項改正量的處理 .....	56
4-2.2.1	計算重力儀隨時間漂移之改正量 .....	56
4-2.2.2	計算儀器高改正量 .....	58
4-2.2.3	潮汐改正量(Tidal Correction) .....	59
4-2.2.4	氣壓改正量 .....	60
4-3	平差計算 .....	61
第五章	實驗成果分析 .....	63
5-1	不同觀測時間與過濾濾波長度的搭配對觀測品質之分析 .....	63

5-2	同一點位上長時間觀測重力值.....	65
5-3	戶外閉合環線之觀測.....	67
5-2.1	單向閉合環線.....	67
5-2.2	往、返、往重複觀測閉合環線.....	68
5-4	不同觀測條件下使用不同容忍值參數之差別.....	72
第六章	結論與建議.....	75
6-1	本研究之結論.....	75
6-2	後續研究之建議.....	77
	參考文獻.....	78
附錄 A.	各種影響重力之環境因素的影響量值表.....	80
附錄 B.	實驗(1)之觀測原始數據.....	81
附錄 C.	實驗(3)、(4)之觀測原始數據.....	83
附錄 D.	有關 GravitonEG 儀器使用之相關問答集.....	85
	作者簡歷.....	95





## 表目錄

表 3-1	各類不同型號之相對重力儀的官方公告精度值	15
表 3-2	GravitonEG 重力觀測讀數的程序步驟說明表	31
表 3-3	EXPERT 專家模式折線圖控制選單 1 之選項與功能說明	34
表 3-4	EXPERT 專家模式折線圖控制選單 2 之選項與功能說明	35
表 3-5	SETUP 模式中一般設定區設定種類與提供之選項一覽表	38
表 3-6	SETUP 模式中控制設定區之設定種類與提供之選項說明一覽表	40
表 3-7	SETUP 模式中資料獲取設定區之設定種類與提供之選項說明一覽表	44
表 3-8	GravitonEG 相對重力儀觀測記錄資料格式(一)	48
表 3-9	GravitonEG 相對重力儀觀測記錄資料格式(二)	48
表 4-1	依不同類型觀測條件預定所做的參數設定測試設定	54
表 5-1	搭配 30 秒的瀘波時間長度觀測精度	63
表 5-2	搭配 60 秒的瀘波時間長度觀測精度	63
表 5-3	搭配 120 秒的瀘波時間長度觀測精度	64
表 5-4	搭配 10 秒的瀘波時間長度觀測精度	64

表 5-5	室內 24 小時觀測重力值讀數之成果	67
表 5-6	單向閉合觀測之平差成果	68
表 5-7	單向閉合觀測平差後之各點重力值	68
表 5-8	四種不同資料處理方法後整體平差之成果比較表	69
表 5-9	分段進行平差之成果表(一)	70
表 5-10	分段進行平差之成果表(二)	71
表 5-11	由整段資料進行平差與分段進行平差後重力值之比較	71
表 5-12	不同定平容忍值參數重複觀測閉合環線之整段平差成果比較	72
表 5-13	使用不同定平容忍值在不同觀測環境(點位)下之重複觀測讀數之單位權中誤差	73

## 圖目錄

圖 2-1 地球上某一點重力值的物理意義示意圖	04
圖 2-2 台灣現有重力點之分佈圖。	06
圖 2-3 目前內政部委託放置於國家工業研究院量測中心大地實驗室進行調校測試之絕對重力儀 FG5。	07
圖 2-4 橢球高、正高與大地起伏之關係示意圖	08
圖 3-1 相對重力測量儀 LaCoste Romberg Model-D	11
圖 3-2 左圖相對重力測量儀 LaCoste Romberg Model-G；右圖為其儀器的截面側視圖	12
圖 3-3 相對重力測量儀 LaCoste Romberg GravitonEG	13
圖 3-4 相對重力測量儀 Scintrex CG-3	14
圖 3-5 相對重力測量儀 Scintrex CG-5	14
圖 3-6 GravitonEG 相對重力儀的前操作面板對應名稱	15
圖 3-7 GravitonEG 相對重力儀背側的操作面板對應名稱	19
圖 3-8 GravitonEG 相對重力儀選單導覽	22
圖 3-9 進入自動模式所顯示之畫面	22
圖 3-10 儀器狀態視窗	24

圖 3-11	觀測點屬性資料對話窗	24
圖 3-12	自動命名對話窗	25
圖 3-13	GravitonEG 相對重力儀開始進行自動模式的重力測量讀數之主畫面區所顯示的資訊	27
圖 3-14	主畫面中左下角，會顯示近三次的重力讀數值與其相鄰重力讀數間的差值	30
圖 3-15	專家模式中，LCD 上所顯示的畫面說明	33
圖 3-15	傳輸模式的主畫面	36
圖 3-16	設定模式的主畫面主要分為三個部分	37
圖 3-17	率定模式的主畫面。	45
圖 4-1	GravitonEG 儀器內部 sensor 之位置之正視圖與側視圖	55
圖 5-1	同一點位上觀測 24 小時之原始重力讀數值與時間的關係圖	64
圖 5-2	同一點位上觀測 24 小時，儀器對重力值讀數提供的潮汐改正量值與時間的關係圖	65
圖 5-3	同一點位上觀測 24 小時，加入潮汐之改正量後，改正過後的重力讀數值與時間的關係	65

# 第一章 前言

## 1-1 研究動機與目的

在台灣地區重力測量的領域，一直以來，因為擁有的儀器與相關觀測技術人員的多半集中在中油、聯勤等少數機關單位中，因此一直以來，與水準測量與細部測量或是 GPS 測量定位相較之下，顯得技術層面與相關知識方面都較不普級。

然而重力測量工作的重要性，與精密的水準測量卻是不可分離的。由於地球重力場產生的重力異常的不同，使得高程系統需要經過正高改正才能求得真正的高程。因此，在未來國家的基本高程系統的建立上，當然不可能少了重力網的建制。



近年來，內政部大力推行相關重力網的建制工作計畫，並且採購了精度可高達 1 個  $\mu\text{Gals}$  級的絕對機力儀「FG-5」，同時也引進了一部新的電子讀數記錄相對重力儀「GravitonEG」，未來甚至還將採購更高精度的超導重力儀。新型的 GravitonEG 相對重力儀與過去台灣最常使用的 Locaste-G(或 Locaste-D)型相對重力儀相較之下，由於高度自動化的設計，使得相對重力的觀測不再需要長期訓練，即可測得可靠的相對重力值。

然而，有關儀器的使用上，最重要的就在於儀器參數的設定對於觀測品質與精度的影響。不同的觀測模式有何不同的差別?在何種環境下需要如何設定儀器的參數才能得到較佳又可靠的讀數值?因此，本文的目的，即經由各種儀器的參數設

定所做的試驗結果，做出適當的建議，提供未來的 GravitonEG 相對重力儀使用者一個完整的使用指引。

## 1-2 研究方法與實驗步驟

本研究首先除了蒐集舊有的相關重力測量資料外，並參考 GravitonEG 相對重力儀之使用手冊，以及原廠工程師的使用經驗等，針對該儀器做各項參數義意的說明。隨後於交通大學土木系館儀室中，將對儀器進行下列參數設定之測試：

(1)不同觀測時間使用不同的濾波長度所觀測的品質

(儀器所使用之觀測時間為 90 秒、3 分鐘、5 分鐘、10 鐘，各搭配 10 秒、30 秒、1 分鐘、2 分鐘的濾波各取三次觀測成果)

(2)連續 24 小時於實驗室內進行觀測

經由以上測試，期能得到一個參數設定最佳化的方法，並且了解該儀器對海潮模式改正後的可靠性。

此外，我們選定在新竹市區多個戶外地點上進行以下觀測實驗：

(3)進行一個單向觀測(閉合到原點)環線

(4)於四個不同環境條件下，使用不同的儀器定平容忍值進行往、返、往重複觀測。

以上兩個實驗例，除了期望能比較出此儀器單向觀測之精度與重複觀測之精度差異外，藉由第四個實驗，我們也希望能針對不同的環境下，針對儀器設定選單中「定平容忍值(Level Noise)」項目給予最適當的建議。

## 1-3 研究內容與架構

本文之基本架構共分為六章，各章節之研究內容與綱要簡述如下：

**第一章** 前言：敘述本研究之主題、研究動機與目的，研究方法之概述與本研究之基本架構。

**第二章** 重力測量理論基礎：本章闡述相對重力測量、精密水準測量及重力異常值與高程系統之間的關係。

**第三章** 相對重力儀：簡介相對重力儀，並針對 GravitonEG 相對重力儀之功能、特色做介紹，並詳細說明儀器之操作設定選項及其意義，及不同的設定對觀測作業可能產生之影響。

**第四章** 實驗的進行與資料處理之方法：有關本文研究所使用之實驗場地、實驗進行之方式等介紹，以及本文中對相對重力測量所觀測得之讀數的處理方式。

**第五章** 實驗成果分析：分析在各項實驗中，不同參數設定對於觀測品質所造成的差異。

**第六章** 結論與建議：根據前述之研究過程與成果分析，做本文研究之結論與成果整理並且對未來可接續、進行的相關研究課題做建議。



## 第二章 重力測量理論基礎

本章節主要在介紹重力測量之基本概念與重力網建立之方式，還有重力值與精密高程系統之間的關係。

### 2-1 重力測量之基本概念

#### 2-1.1 何謂重力？

何謂重力？簡而言之，在地球上某一位置，由於地球所產生的引力，與地球自轉所產生的離心力的合力(如圖 2-1)，即為該位置所受之重力值。重力測量的最終目的即在計算此值。

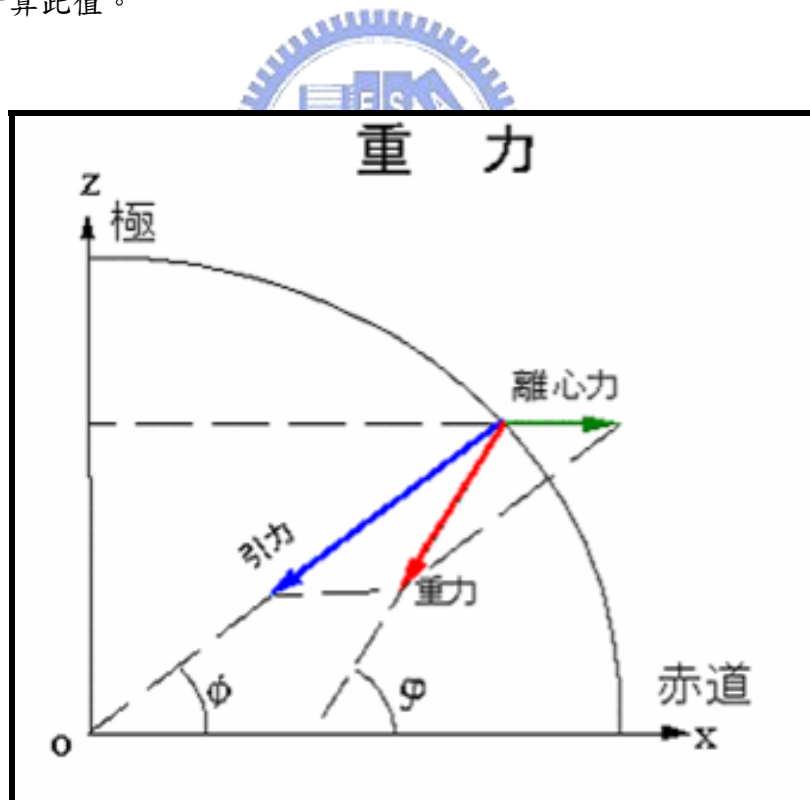


圖 2-1 地球上某一點重力值的物理意義示意圖



## 2-1.2 重力值的單位與大小

重力之物理量為重力加速度，為了紀念物理學家伽利略，以伽 Gal(公分/秒<sup>2</sup>)為單位。地球上的重力值在赤道附近最小，往兩極漸增；在赤道上的重力值約為 978 Gal，在兩極上約為 983 Gal。一般來說，山區的重力值會比較低，靠近海洋的地區重力值會較高一點。

$$10^{-3} \text{ Gal} = 1 \text{ mGal(讀為：milli-Gal)}$$

$$10^{-6} \text{ Gal} = 1 \mu\text{Gal(讀為：micro-Gal)}$$

## 2-2 重力測量

### 2-2.1 重力網的設立



一般而言，重力網建制需要先佈設絕對重力點，再以絕對重力儀先測得絕對重力點之重力值後，以相對重力儀在需加密的點位上觀測與已經重力值的相對重力差值，以求得加密點之重力值，組成重力網。

重力網的形成，可以再進一步的以內差或是其他加權方式解算出整個台灣地區的大地水準面，即可得到一個含有大地起伏值的模型，可提供高程基本控制。

目前國內的重力網圖 2-2 所示，全島已具備密度相當高的重力網。

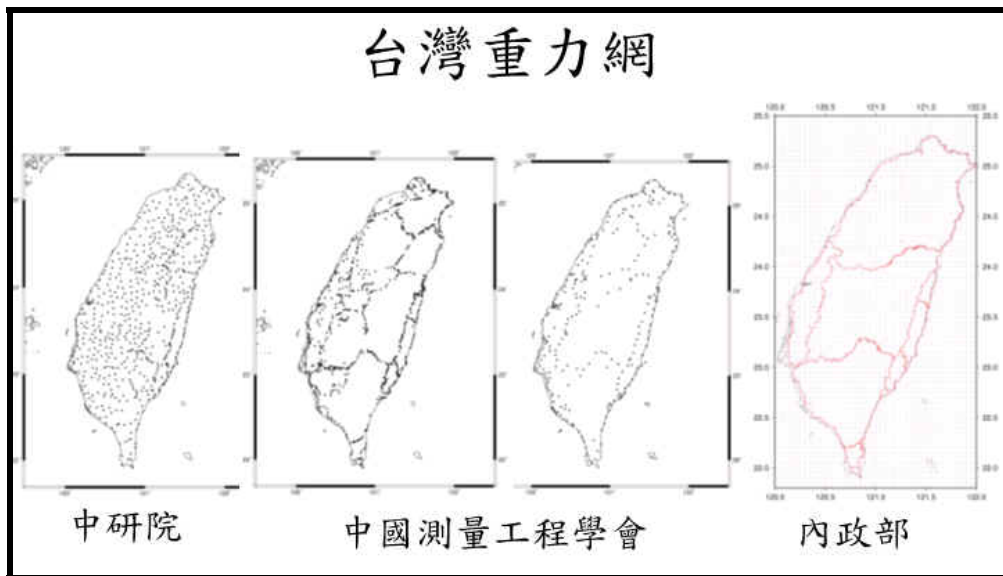


圖 2-2 台灣現有重力點之分佈網。最近一次觀測是 2002 年內政部完成在一等二級水準點上加測重力值的委託計畫。[1, 2, 3]

## 2-2.2 重力測量使用之儀器



觀測重力值的儀器分別有「絕對」重力儀與「相對」重力儀。

絕對重力儀早期是由計算鐘擺時間來推算重力值，後來設計在真空管中計算自由落體平均下落的時間來推算重力值，更有利用電磁超導特性設計出來可求解超高精度重力值的超導重力儀，原理([4])是利用持續電流方式運行的超導線圈所產生的磁場，把特製的超導球懸浮起來。由測定球體的垂直位置變化或反饋力變化，來確定沿垂直方向重力方向或慣性力的變化。

上述的絕對重力儀，顧名思義乃直接用來求得儀器所在位置的重力值；而相對重力儀的主要用途則是測量其他待測重力點與已知重力值之絕對重力點的重力差值，再推算出該待測點的重力值。目前世界上精度最高的絕對重力儀，為由美

國 GWR 公司生產之超導重力儀，在實驗室的觀測精度已高達  $0.001 \mu\text{Gal}$ 。而目前國內所引進由美國 Micro-g 公司生產的 FG5 絕對重力儀則是利用計算自由落體平均下落時間的方式，重複觀精度可達 1 個  $\mu\text{Gal}$ 。高精度的絕對重力儀可長期、準確地監測重力值的變化，多半應用在地球物理上的研究，例如可以研究地球的彈性性質，長週期地殼運動和預測地震等。[5]



圖 2-3 目前內政部委託放置於國家工業研究院量測中心大地實驗室進行調校測試之絕對重力儀 FG5。圖中右側為儀器本體，主要有雷射干涉測距系統與自由落體機制；左側為其控制系統與處理觀測資料之電腦。

## 2-3 重力值與高程系統

一般在全球而言，區域進行的水準測量所量得的高程我們稱之為為正高、正高差。衛星測量之基準為世界大地系統 WGS84，所測得之高程為自 WGS84 橢球面起算之橢球高，也稱之為幾何高。

正高是相對於某一個大地基準面而計算，由於大地水準面為一不規則面，其與各地之重力有關，所以此面在實際上基準面是一個變動的面。故當基準面不同時，其正高必有所不同。因此採用全球一致之基準面是較佳的選擇，然而由於正高之應用大多與當地國家或地區有關，因此並無全球一致的大地基準面。至於大地基準面之變動速率因較小，故一般工程測量多被忽略不計。

而當在同一個點位上，垂線偏差極小時，正高  $H$  與大地起伏  $N$  (Geoid Undulation) 之和即為橢球高  $h$ ，其關係式為：

$$h = H + N \quad (2-1)$$

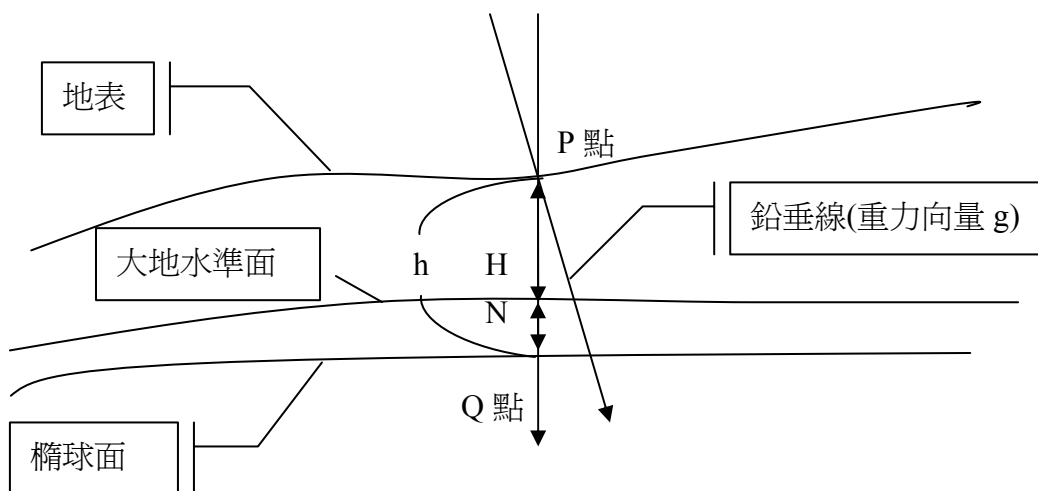


圖 2-4 橢球高、正高與大地起伏之關係示意圖

在此仍須注意的是，該結論之假設是垂陷偏差極小或接近於零時，才能成立。也就是在山區之垂陷偏差較大，利用此法其誤差會偏大，因此沿海地區地勢較平坦者，較適合利用此法[6]。

因此我們要求得大地起伏值，除了用 GPS 測得之高程與水準測量所測得之高程值相差，來推算出大地起伏值。最可靠的方式還是以重力值來計算重力異常  $\Delta g$ ，再以 Stokes 積分公式直接求出大地起伏值。Stokes 積分公式如(2-2)所示：

([7] Heiskanen, W., and H. Moritz, 1985)

$$N(\varphi, \lambda) = \frac{R}{4\pi G} \int_{\lambda'=0}^{2\pi} \int_{\varphi'=-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \Delta g(\varphi', \lambda') S(\varphi) d\sigma \quad (2-2)$$

其中  $N$  為大地起伏值， $\Delta g$  為重力異常值，可由觀測點  $P$  之實測重力值  $g$ ，再利用橢球參數、求解觀測點對應在橢球上一點  $Q$  應有的正常重力值  $g'$ ，兩者的差值即為重力異常值。 $R$  為地球半徑(6371Km)， $G$  為地球平均重力值， $S(\varphi)$  為 Stokes Function  $d\sigma = \sin \varphi d\varphi d\alpha$ 。

## 第三章 相對重力儀之簡介與操作設定說明

本章除了詳細介紹國內外常見之相對重力儀，並對其原理、操作方式與觀測精度做比較外，更著重在目前國內所引進的 GRAVITON-EG 相對重力儀的功能與操作設定的說明。

### 3-1 常見之相對重力儀[8][9]

#### 3-1.1 LaCoste Romberg Model-D

第一台 LaCoste 重力儀於公元 1939 年問世，此為 G 型重力儀的前身，重力儀體積小、重量輕，其長寬高為 20×18×25 公分，儀器本體之重量約僅為 4.2 公斤。

由於全球重力值之大小範圍約由 977 Gal 至 984Gal，為使 G 型重力儀可攜往世界各地實施相對重力作業，其所能量測相對重力值之範圍為 7000mgal，讀數精度為 0.01mgal。

D 型重力儀在使用上相似於 G 型重力儀，例如相同的彈簧、軸與質量系統。其不同處在於零刻度盤變成範圍在 200mgal 的零螺旋，縮減了規格上圓盤誤差。使用時，須以 12 伏特之電池，保持重力儀於最佳工作溫度中，通常為攝氏 49 度至 51.5 度之間。電池充電器與電池聯接充電時，須將蓄電池放置於儀器箱外，以防止電池過度發熱。亦可利用 110 伏特之交流電充電器暖機，以保持重力儀之工作溫度，如圖 3-1 所示。



圖 3-1 相對重力測量儀 LaCoste Romberg Model-D

### 3-1.2 LaCoste Romberg Model-G

LaCoste G 型重力儀乃最近四十年以來，全世界使用來獲取區域重力資料的標準儀器。擁有涵蓋世界的量測範圍約  $7,000 \mu\text{gal}$ ，且具有不必重置的優點。其中儀器上零刻度盤一圈相當於  $1 \mu\text{gal}$ 。

LaCoste G 型重力儀，其外觀尺寸為  $20 \times 15 \times 25$  公分，重量約 4.2 公斤，如外加裝箱、電池、定平底盤和充電器，總重量約為 12.3 公斤(見 LR, 1997)。

儀器設計時，為了讓重力儀能適應於全球重力值觀測(約  $977\text{Gal} \sim 984\text{Gal}$ )，G 型重力儀觀測相對重力的讀數範圍為  $7000\text{mgal}$ ，而讀數精度為  $0.001\text{mgal}$ ，儀器的每月漂移量小於  $0.5\text{mgal}$ 。為了減低大氣壓力改變對儀器造成的影響，重力儀出廠時完全密封，其內部也加上大氣補償以提高精度，而儀器的感應器(Sensor)也在去磁後密閉於防磁盒中，如圖 3-2 所示：

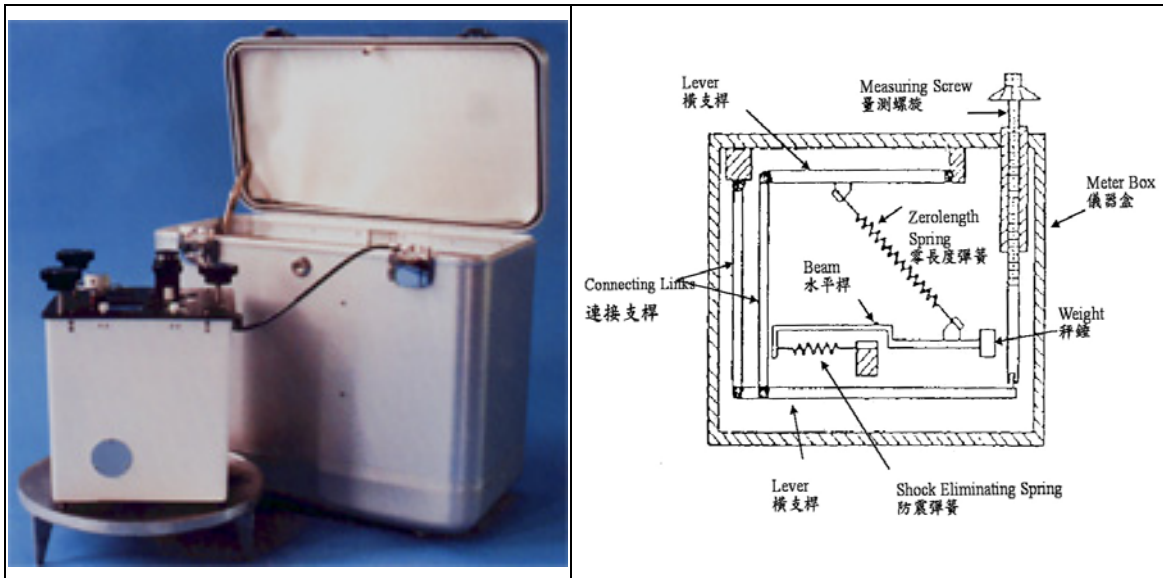


圖 3-2 左圖相對重力測量儀 LaCoste Romberg Model-G；右圖為其儀器的截面側視圖，可看到其利用零長度彈簧設計用來量測相對重力的設計。

LaCoste G 型重力儀的運作原理，如上圖(右)所示，圖中重力儀之截面說明儀器的重力感應系統及量測系統，重力感應系統包括水平桿(Horizontal Beam)一端的秤錘，水平桿由一防震彈簧(Shock Eliminating Spring)組成浮動支軸，俾消除運動過程中的任何摩擦。由於重力感應系統完全懸掛彈簧上，除非遭受到足以損壞儀器外殼的震動，此系統不致損壞。量測系統由槓桿系統與量測螺旋所組成。此系統須於已知之重力值間，精確校正，其校正因子(如內插因子或重力單位換算常數)與量測螺旋及水平桿系統的品質有關，而與其他輔助彈簧無關。因而 LaCoste G 基重力儀的校正因子，並不因時間而有明顯改變，故可免除須經常檢定之煩。

國內重力測量工作者為了確保重力儀的最佳工作狀態，一般都習慣此儀器在作業前及作業期間(每三週或長距離搬運後)需對重力儀進行檢定及校正，其詳細內容請參閱聯勤重力測量作業手冊[11]。



### 3-1.3 LaCoste Romberg GravitonEG

GravitonEG 是一台全功能、全自動化且自動水平的可攜式重力儀，目前國內已有內政部採購一部，國內測量公司也即將進口該儀器。而此部儀器不同於其他電子重力儀透過數值推算以補償傾斜，GravitonEG 自然地透過伺服馬達驅動的嵌腳得到一真正水平的讀數。所有功能都是全自動的，不再用旋轉刻度盤以校正，免除了手算每一站重力值的繁複程序。此一項先進的電子設備經過數年研究與改進，提供了相當好的靈敏度與觀測範圍。其優點有：容易操作、自動水平、堅固耐用、重量輕、全功能、高靈敏度、整合資料讀取、可擴充性等等。

至於 GravitonEG 觀測相對重力差值之感應器型式則以 Zero-Length Metal Spring 為主，此感應器為 LaCoste Romberg 的產品，其使得獲得之資料解析度約在小於  $0.0001 \mu\text{gal}$  的範圍，其重複性在可控制情況下可達到  $0.001\text{mgal}$ ，而在野外情況下則約在  $0.003$  到  $0.020\text{mgal}$ 。其每月絕對偏移量小於  $1.0 \mu\text{gal}$ ，配合使用的 32MB 快閃記憶體，可以觀測記錄 100,000 站以上，如圖 3-3 所示。



圖 3-3 相對重力測量儀 LaCoste Romberg GravitonEG

### 3-1.4 Scintrex CG-3

Scintrex CG-3 儀器相較於其他重力測量儀器更為簡單操作的優點，且其量測

速度迅速、即時測量(Real-time)再加上具有統計分析的功能，可以提高精度與可靠度。於測量的同時，儀器可自動修正由潮汐所造成的誤差，並即時將資料儲存於微電腦處理器，為一自動化的重力測量儀器，如下圖所示。



圖 3-4 相對重力測量儀 Scintrex CG-3

### 3-1.5 Scintrex CG-5

自動相對重力測量儀器 CG-5 不但精度高、量測速度快，更具備了許多新科技設備的最新相對重力儀，其可以自動讀數、自動補償傾斜、溫度、潮汐等改正，另外於觀測者輸入測站之經緯度、高程值後，可以自動進行地形改正等方便後續資料之應用，如下圖所示。



圖 3-5 相對重力測量儀 Scintrex CG-5

表 3-1 各類不同型號之相對重力儀的官方公告精度值(單位  $\mu\text{Gal}$ )

儀器	量測準確度 (Precision)	精度 (Accuracy)	重複觀測精度 (Repeatability)
LaCoste D	1 $\mu\text{gal}$	10 $\mu\text{gal}$	5 $\mu\text{gal}$
LaCoste G	1 $\mu\text{gal}$	40 $\mu\text{gal}$	10 $\mu\text{gal}$
LaCoste EG		20 $\mu\text{gal}$	3~20 $\mu\text{gal}$
Scintrex CG-3M		20 $\mu\text{gal}$	5 $\mu\text{gal}$
Scintrex CG-5		5 $\mu\text{gal}$	5 $\mu\text{gal}$



## 3-2 GravitonEG 相對重力儀[9][10]

GravitonEG 是 LaCoste Romberg 公司目前最新的相對重力儀，就外觀而言，他的儀器本體大小約為 21.5 x 22 x 31 cm，重量 9 約公斤。為了保護儀器在搬運的過程中不受損傷，其原廠所附的儀箱加入了大量的泡棉保護，整個儀器箱(含儀器)比儀器大了約三~四倍，重量約為 12 公斤。

### 3-2.1 儀器功能簡介

GravitonEG 相對重力儀即將成為國內重力測量的主要設備，其重力測量精度在實驗室控制外在環境因素下，可達 1~5  $\mu$ Gal；在戶外量測也能達到 3~20  $\mu$ Gal。



而與國內以往常使用的 Lacoste-G 型(或是 D 型)相對重力儀來說，新增的功能如下列所示：

- ◆ 操作簡便，設定要各項數後，只要一個按鍵就能自動讀數。
- ◆ 可長時間觀測記錄。
- ◆ 儀器可自動調整水平(最大到 13° 的傾角、並可自動補償傾斜的重力改正值)。
- ◆ 可選擇即時加入海潮模式的重力改正。
- ◆ 自動記錄時間、溫度等資訊。
- ◆ 提供自動操作與進階者操作兩者模式

接下來的各個小節將會陸續的介紹說明儀器的各項操作與設定。

### 3-2.2 操作面板說明

要認識 GravitonEG 相對重力儀，首先我們先來介紹儀器的操作面板，在儀器正上方的前操作面板(the front panel controls)如圖 3-6 所示包括有：



圖 3-6 GravitonEG 相對重力儀的前操作面板對應名稱

- ◆ LCD 螢幕：所有儀器目前正在進行的模式、訊息顯示
- ◆ 儀器在鬆開彈簧時指示燈：這個紅色的指示燈有兩個，在面板的左上與右上都有一個。當燈亮著的時候，即表示目前儀器內部彈簧的固定機制已處於打開的狀態，正在進行相對重力的量測的。此時切記千萬不可觸動儀器，以免儀器受損。

- ◆ 功能鍵：這一系列藍色的按鍵，其功能分別對應到 LCD 螢幕上最右邊的功能圖示(有點像提款機的操作方法)，按下對應的按鍵即可執行所選擇的功能。值得注意的是，在不同模式，所對應的功能圖示將會有所不同。
- ◆ 數字鍵：可用來輸入時間、經緯度或是測站名稱等……。
- ◆ 電源鍵：用來開關儀器用。不論是開、關機都需要長按 1-2 秒再放開。此外，這個按鍵也能當做是電池剩餘電量的指示；當這個燈是呈現淺綠/白色時，表示目前的電力相當充足。一但電池蓄電低過 1/3 時，這個燈會變成亮黃/橘色，當轉變成紅色時，即表示電池已經快沒電了。需注意的是，若是閃紅燈，是表示電腦正在進行關機的程序，而非電池快用完了的指示。
- ◆ 背光鍵：這個按鍵控制 LCD 的背景光源機制，可提供夜間測量操作員觀看 LCD。而為了結省電力，一般時候背光是關著的，若測量的環境需要，可長按這個鍵 1~2 秒直到背光打開。而背光功能在打開後一陣子也會自動關閉來結省電力(或是關機時也會自動關閉)。背光鍵功能的維持時間可在 SETUP 設定選單中更改。
- ◆ ENTER 鍵：用來選擇選單上高亮度顯視的選項或是輸入一段文字的按鍵，跟電腦鍵般上的 ENTER 很類似。
- ◆ 方向鍵：用來移動指標在螢幕上各個選單的選項之間。



儀器背側有一長條型的面板，包含有各種連接埠與 LCD 明暗對比的調整。如

圖 3-7 所示：



圖 3-7 GravitonEG 相對重力儀背側的操作面板對應名稱

- ◆ 外接鍵盤埠：如果覺得工作需要，覺得外接鍵盤會較方便，此儀器可以外接任何一種有 PS2 接頭的電腦標準鍵盤來使用
- ◆ LCD 對比調整：可以使用適合的一字形的螺絲起子來旋轉這個。嵌壁式的螢幕對比度控制扭。
- ◆ DB-9 資料傳輸埠：可經由此傳輸部把儀器中的資料傳送到電腦中。
- ◆ 感應器熱指示燈：這個紅色的指示燈表示儀器的感應器是否達到適合運作的溫度。當感應器是「冷」的(低於儀器的操作溫度)時，這個指示燈會持續的發光。若是儀器已經加溫到適合運作的溫度時，這個燈會以 3~10 秒的頻率閃爍。

- ◆ 保險絲裝置處：外接的電源接上保險絲可防止因為接上過大的電流而造成儀器產故障損壞。保險絲的類型是 F5H-250V(5×20mm，5Amp)。
- ◆ 外接電源連接埠：外接直流電給儀器時的連接孔。當接上外接直流電源時，儀器會同時維持感應器的溫度並且對電池充電。
- ◆ 外接電源指示燈：當接上外接電源時，此燈會呈現亮綠色，表示是由直流電供應電源，而不是電池。

### 3-2.3 螢幕選單導覽

這個小節將說明 GravitonEG 相對重力儀的人機介面。打開儀器電源，首先會看見的是如圖 3-8 的選單畫面。在這個選單畫面中，最上方有五個模式欄位可選擇，最右邊由上而下依序是功能圖示、儀器使用的軟體版本、時間與日期等資訊。正中央的主畫面會因為目前所在模式不同而改變，下方有可做調整的控制鈕，螢幕最下方則是訊息列。

- ◆ 功能圖示區：被以一直列安排放在螢幕最右上角的部分，這些圖示指出目前在儀器面板上的四個藍色功能鍵所對應的功能。不論是何種模式，最上面的一個功能圖示一直會是「Goto Tab」，功能是把指標切換到螢幕最上方選擇模式的欄位去。若有功能圖示呈現灰色時，表示該功能目前不能執行。
- ◆ 模式欄位選單：被以一橫列安排在螢幕最上方，這個欄位顯示了在此儀



器中總共有五種不同的模式可選擇，可以用「Goto Tab」鍵來切換。目前選擇的模式名稱會呈現高亮度，而其他模式則會以灰色顯示。

- ◆ 控制按鈕區：這個按鈕可提供使用者在某些模式中，使用一些較不常用的功能。可以利用上下鍵來切換選擇，直到想使用的功能呈高亮度顯示時，按下 ENTER 鍵確定。
- ◆ 訊息列區：每一個畫面，在螢幕最下方的這個區域將會偶爾出現目前儀器正在做什麼事情的訊息。
- ◆ 時間、日期：顯示目前的時間和日期。需要注意的是：GRAVITON-EG 相對重力儀的時間必需設定為 G. M. T / U. T. C 時，而不是地方區域時間，否則儀器內部所做的海潮重力改正值將會造成錯誤的改正量。對台灣地區來說，台灣時刻減去八小時，即為 G. M. T / U. T. C 時。
- ◆ 軟體板本：顯示目前儀器使用之軟體板本資訊。



### 3-2.4 Auto 自動模式(AUTO MODE)

在這個 AUTO 自動模式中，在各方面而言，已經使得到重力讀數簡單、自動化。使用者只需要把儀器設置在待測的重力點上，按下 START 功能鍵後(觀測人員此時最好稍微退後，離儀器一點距離)，即可看著儀器一步步的進行自動觀測。當你進入 AUTO 自動模式時，首先你會看到如圖 3-9 的畫面：

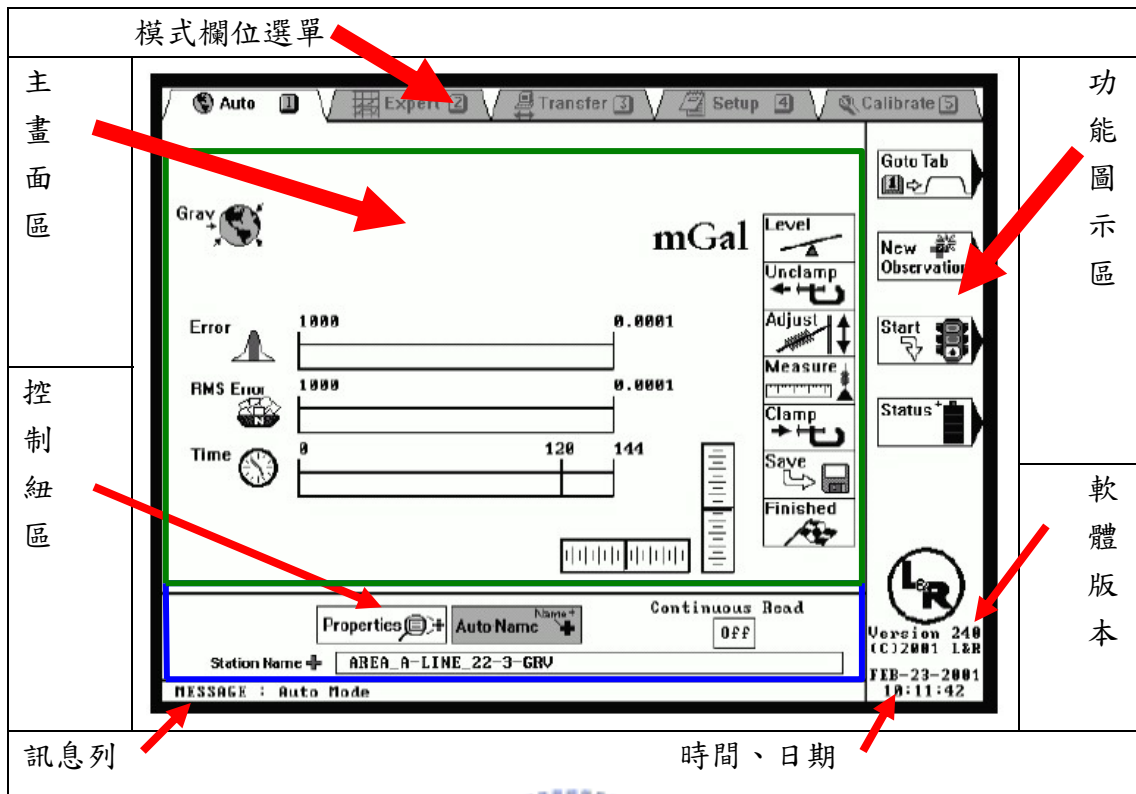


圖 3-8 GravitonEG 相對重力儀選單導覽

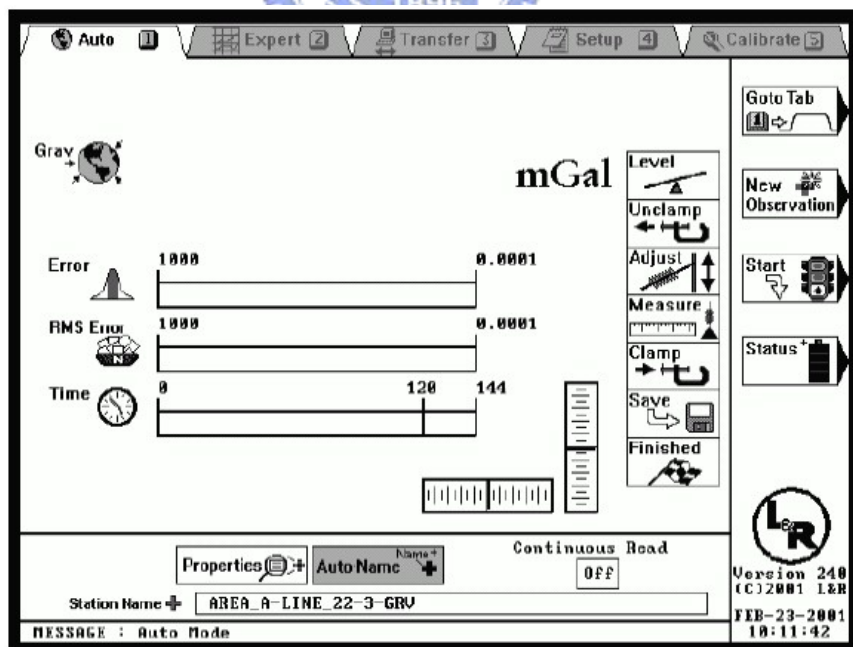




圖 3-9 進入自動模式所顯示之畫面


## 一、功能鍵：

由於此時還未開始測量，所以此時主畫面上還未有任何重力讀數值，儀器目前在前在等著使用者下達操作命令，在此模式中，四個功能鍵分別對應的功能圖示為：


- ◆  Goto Tab：按下此鍵，接著再按下 1~5 任一個數字鍵，將會切換主畫面到每個數字鍵分別代表的模式(AUTO 自動模式【1】，EXPERT 專家模式【2】，傳輸模式【3】，SETUP 設定模式【4】，率定模式【5】)，此外也可以在按下 Goto Tab 鍵後，再用左右鍵來回切換到所要的模式，再按 ENTER 來選擇。

- ◆  New Observation：這個功能鍵能開啟「Auto Name」(自動命名)對話窗的畫面，並展示出下一筆測站記錄會被指定的名稱，並且可以更改為自己所需的名稱來更改。

- ◆  START：按下此功能鍵，將會指示 GravitonEG 開始進行重力讀數。

- ◆  Status：這個功能鍵能開啟「Status」(儀器狀態)視窗的畫面(如圖 3-10)，將提供儀器基本的狀態資訊，包括感應器的溫度、電池蓄電量、記憶體空間等。

二、控制按鈕：自動模式的控制按鈕區，包括有以下的幾個選項：

- ◆  屬性資料：這個功能鍵能開啟「Observation Properties」(觀測點屬性資料)視窗的畫面(如圖 3-11)，允許使用者檢

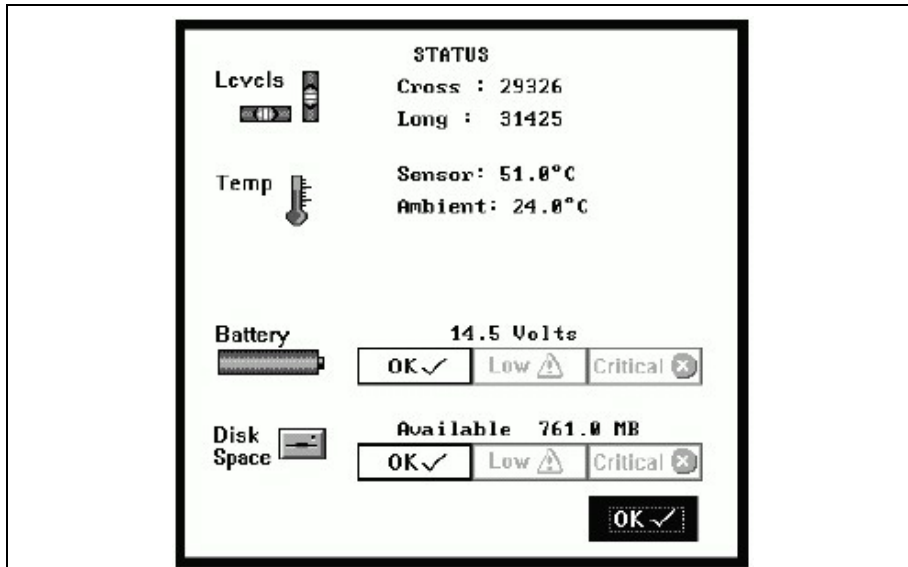


圖 3-10 儀器狀態視窗，依序分別為水平狀態(橫向與縱向)、溫度資訊(感應器與儀器通風口)、電池蓄電量、磁碟空間。

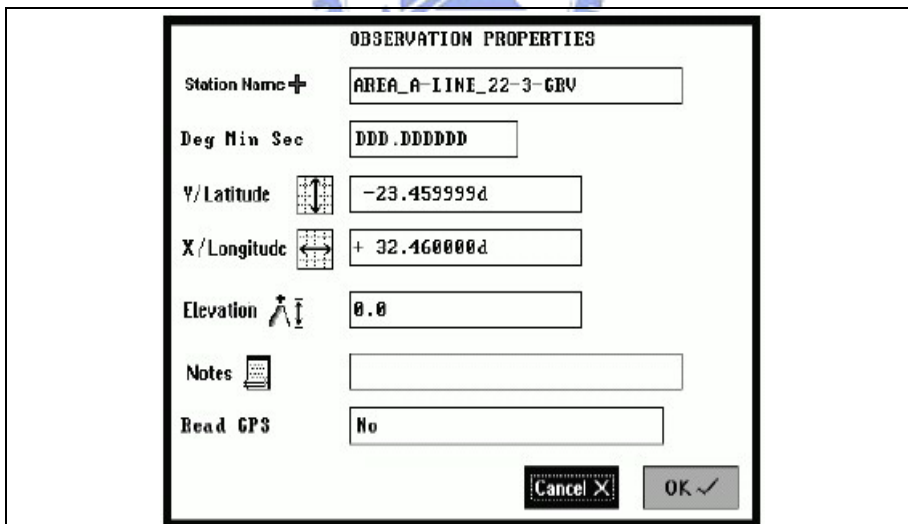
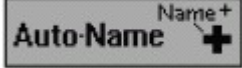



圖 3-11 觀測點屬性資料對話窗，由上而下依序是：待測點名稱、經緯度顯示方示選單(1.度 2.度/分 3.度/分/秒)、經緯度值、高程(從海平面起算)、備註欄、是否外接 GPS 接受儀。

查或更改目前所在待測重力點的各項資料，包括目前所在地之經緯度、高程等。切記在進行有效的重力測量觀測之前要檢查、這些屬性是否有誤。

◆  自動命名：這個功能鍵能開啟稍早提到過的  功能鍵相同，都能開啟「Auto Name」(自動命名)對話窗的畫面。這個圖示上的「+」號表示自動命名模式目前是啟動狀態，若是「-」號則表示目前自動命名模式為關閉的。需要注意的是，若自動命名功能啟用時，則在 Observation Properties 視窗中所輸入的點名資料將會失效。

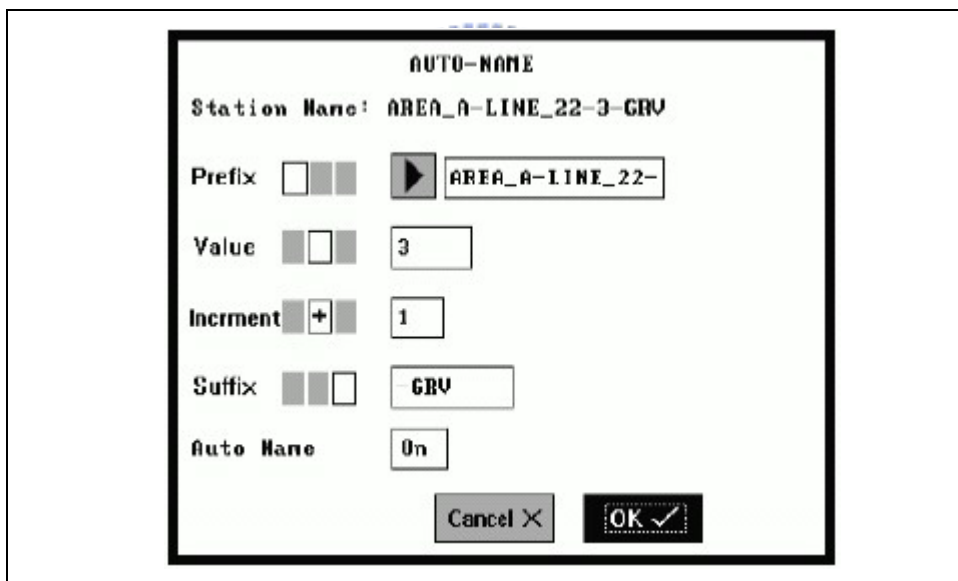


圖 3-12 自動命名對話窗。自動命名系統把檔案名稱分為三段，使用者可以依需求，輸入前段固定的檔案前面字元(Prefix)，中段的數值(Value)，還有中段數值的每新增一個檔案的增加值(increment)，後段是檔案的字尾(suffix)標註。最後可選擇是否啟用自動命名系統(ON 或是 OFF)。

## Continuous Read

Off

- ◆ 連續讀數設定：這個可供選擇的選項欄是用來開啟或關閉「連續讀數」這個功能，可以做的選項如下：




- OFF：當設定為關閉時，按下  鍵開始測量後，儀器只會進行一次完整的觀測讀數程序並儲存。


- ( $\chi$ )：當設定為一個數值(儀器可選擇 3, 5 或 10)時，當按下



- 鍵開始測量後，儀器將會進行  $\chi$  次的讀數，直到達成所需的讀數次數或是按下  或是  功能鍵才會停止。

在讀數的過程中，儀器本身將不會一直重複完整的「鬆開固定彈簧裝制→調校→測量→鎖上固定彈簧裝制」測量步驟，而只會再每一次讀數前進行自動定平。

- ON：當設定為開的時候，按下  鍵開始測量後，儀器將會一直進行無限次的觀測讀數程序，直到按下  或是  功能鍵才會停止。

三、自動模式的主畫面：在自動模式中，按下  開始進行測量後，儀器將會開始進行重力測量的讀數，螢幕上的畫面將會變為如圖 3-13 所示：

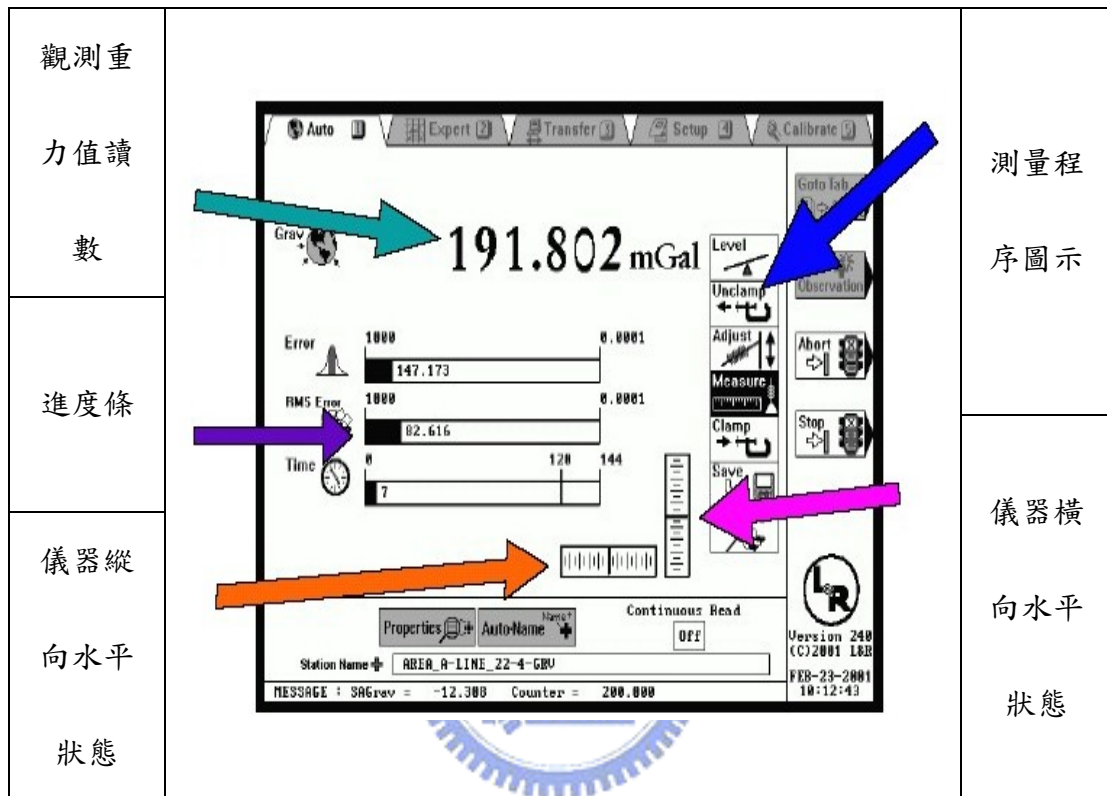








圖 3-13 GravitonEG 相對重力儀開始進行自動模式的重力測量讀數之主畫面

區所顯示的資訊。

首先，開始進行測量後，功能鍵所對應的圖示會有所改變， 和  這兩個功能鍵會呈灰色的，表示這兩個功能此刻不能使用；而  和  這兩個功能鍵則變成了  與  這兩個功能鍵，這兩個功能鍵按下後都能使儀器停止目前的測量讀數進行，不同處在於，ABORT 鍵將會直接取消這個測量並放棄掉這次觀測成果，而 STOP 鍵將會在停止讀數後，供使用者決定是否要接受此次不完整重力讀數作業。

而在這個主畫面中，觀測重力值讀數是經過儀器軟體的過濾後，加上海潮模式改正重力值後的讀數，將會以粗黑色的大型數字體來顯示，讀數單位為 mGal，可讀到小數點以下第三位，即  $\mu\text{Gal}$ 。而在重力值讀數的正下方，有三個進度條，分別可代表：



(Error 值)：這個 Error 值在 GravitonEG 儀器中表示在相隔「Error Window」時間的兩筆儀器取樣資料的差值(可在 setup 模式中更改 Error Window 的長度，範圍由 10~30 秒)。這代表著：在測量時，是否每一次儀器的取樣都會很接近同一個讀數值。

重複出現的這個差值(Error)，一般來說，應該會介於 0.003 ~ 0.02 mGals 之間。在原廠公司使用兩個相隔 1 英哩遠的測站進行率定的時候，能達到 0.005 mGals 的重複性。儀器由一個混凝土平台帶到一個運載工具上，然後行駛經過一座小山丘，到另外一個混凝土的平台，再被從運載工具上搬運到平台上放置。不論在任何一種相對重力測量的過程中，確實的保護儀器不受風力影響是很重要的。

假若為了得到 0.003 mGals 的讀數重複性，使用者必需準備好要進行一個 micro 級，高精度的重力值量測的工作。例如：使用相鄰很近兩個觀測站，再加上幾乎沒有風的影響、小心的搬運儀器、放置儀器，儘量使儀器在每一個測站放置的方位角度相同並且細心的重複量測，就會常常重複出現相近的觀測值。



在一般戶外的測量中，這個差值(Error)，想要都低於 0.003mGal 是很不常見的，通常介於 0.008 ~ 0.015 mGals 之間。



(RMS Error)：這是在一個 1 秒取樣過濾時間長度的 RMS 雜訊值，這個數據能被用來評計你所在工作地點的背景震動雜訊。在原廠內，這個數據通常在 0.015 與 0.045mGals 之間。在我們的率定基站做的戶外測試中，這個值會因為環境因素不同而在 0.020(沒有風)與 0.080(有風，但是有做保護，沒有直接對著儀器影響)mGals 間變動。在全球某個地方有發生大地震的時候，這個值會變得大得許多，最大約到 0.8mGal 左右。如果這個值超過了 0.1mGal 時，你就要注意一下，確定你所選用的過濾時間長度能夠過濾出雜訊，產生重複出現的數據資料。(在實際觀測時，此項數值在台灣地區出現的量值一般在 0.300 以下，偏差量較大的值會達到 1 以上，甚至有到 9 的值，故此值的單位仍需與製造商工程師確認，是否因為軟體版本之不同而有所差別。)



(此次重力讀數已經過的時間)

當我們進行一次讀數時，這些進度條可能會由左往右進展，這指出儀器距離駁回這個重力讀數值、需要重新讀數的情況有多接近。一但這兩個誤差視窗的差值在誤差容忍門檻之下(即可接受的誤差量，原廠的設定為 0.002mGal)，或是儀器預先設定好的觀測時間(原廠設定為 180 秒)已經到了，GravitonEG 將會停止資料的取樣，並且呈現觀測成果，供使用儀器者來決定是否接受或是駁回這次的

觀測讀數資料。誤差容忍值門檻與觀測時間可依需求在 SETUP 模式下修改。

螢幕上，在進度條下方有最近三次的重力值讀數，在「-1」下方的讀數表示最近一次的重力讀數值，「-2」下方的讀數表示第二近的重力讀數值，「-3」則為第三近的讀數值。而在其重力值讀數下方會列出其相鄰兩次重力讀數的差值。

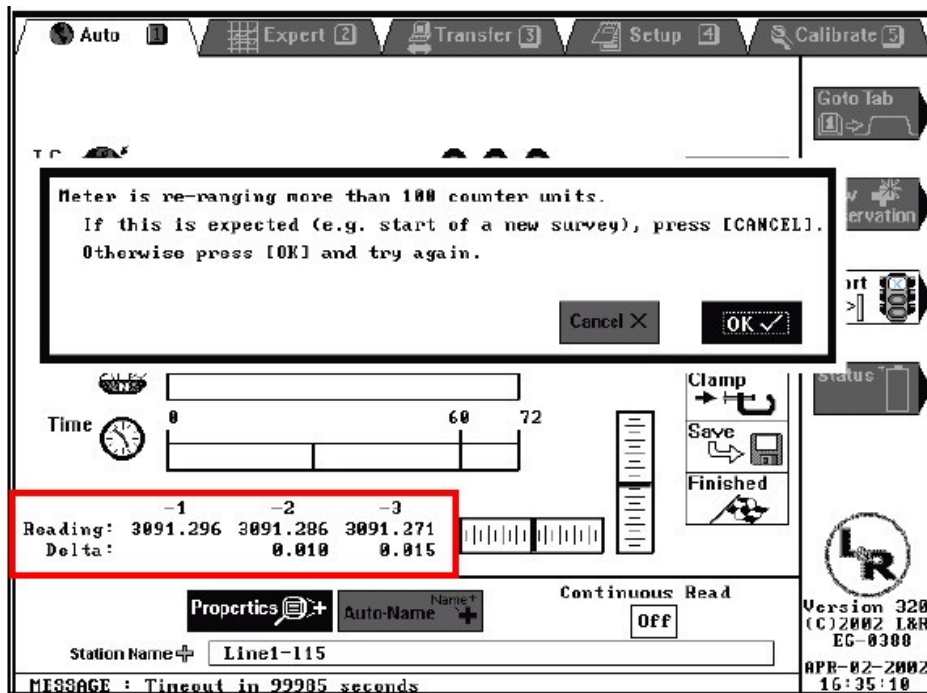



圖 3-14 主畫面中左下角，會顯示近三次的重力讀數值與其相鄰重力讀數間的差值。

#### 四、自動模式的重力觀測讀數的程序列：

在主畫面右側有一垂直排列的圖示為「重力觀測讀數的程序」，雖然不是可以選擇的功能鍵。卻可以顯示儀器目前所進行的測量程序。每個圖示所代表的步驟名稱與意義說明如表 3-2 所示。

表 3-2 GravitonEG 重力觀測讀數的程序步驟說明表(儀器會自動進行每一步驟)。




	<p>儀器正在進行自動定平。如果儀器傾斜的角度過大，超出了儀器能定平的範圍，儀器會發出錯誤的訊息。</p>
	<p>鬆開鎖住彈簧與感應器的固定機制，此時面板上兩個紅色的指示燈會開始閃爍，此時切記不要再觸動儀器，以免感應測量重力裝置受損。</p>
	<p>感應器進行調整儀器的電子回饋至「IN RANGE」的狀態。如果此次的重力讀數與前一次的重力讀數相差很大時，例如：儀器從北歐的海上搬到赤道附近多山的某個區域進行重力測量--在這個極端的例子中，這個調校的程序將會費時約 40 分鐘才能完成。而在一般的測量中，通常約費時 10 秒鐘左右即可完成，最多 1~3 分鐘。若需要調整超過 100mGals 時，會出現詢問選單，可視是否如上例子出現之情況選擇「ok」選項會繼續調校，「calcel」則會取消。</p>
	<p>相對重力儀開始進行讀數的取樣，此時在主畫面重力讀數值與三個進度條每秒都會更新一次。當觀測時間到了，或是符合觀測精度容許值時，此步驟即會結束。</p>
	<p>重新鎖上彈簧與感應器的固定機制。此時面板上兩個紅色的指示燈會停止閃爍，表示現在可以移動儀器了。</p>
	<p>此時要把觀測的讀數資料儲存到儀器中，會出現一個重力點資訊對話視窗。在此視窗可加註解、更改輸出檔名、選擇接受或是放棄此次觀測成果。若是操作者沒有做決定，儀器會在五分鐘後自動儲存資料。(此功能可方便在連續讀數模式時，不需操作者介入，就可以一直進行。)</p>
	<p>完成整個重力觀測讀數的程序。可再進行一次新的讀數或移動至下一個觀測點進行讀數。</p>


### 3-2.5 Expert 專家模式(EXPERT MODE)

專家模式提供給較進階的使用者。和 AUTO 自動模式的不同點在於 EXPERT 專家模式是處在連續觀測、讀數的狀態，並且可以即時、自動的繪圖顯示資料的相關資訊。一旦 EXPERT 專家模式開始進行觀測，儀器將會持續進行讀數直到我們按下 STOP 或是 ABORT 功能鍵，儲存資料的方法會依我們所選擇的儲存資料方式而有不同(稍後的 SETUP 模式設定中會提到)。

#### 一、功能鍵：

當我們進入 EXPERT 專家模式時，我們會看到如圖 3-14 的畫面，而其模式在功能圖示區的四個功能，與 AUTO 自動模式的相同：

- ◆  Goto Tab：按下此鍵，接著再按下 1~5 任一個數字鍵，將會切換主畫面到每個數字鍵分別代表的模式(AUTO 自動模式【1】，EXPERT 專家模式【2】，傳輸模式【3】，SETUP 設定模式【4】，率定模式【5】)，此外也可以在按下 Goto Tab 鍵後，再用左右鍵來回切換到所要的模式，再按 ENTER 來選擇。
- ◆  New Observation：這個功能鍵能開啟「Auto Name」(自動命名)對話窗的畫面，並展示出下一筆測站記錄會被指定的名稱，並且可以更改為自己所需的名稱來更改。
- ◆  START：按下此功能鍵，將會指示 GravitonEG 開始進行重力讀數。

- ◆  Status：這個功能鍵能開啟「Status」（儀器狀態）視窗的畫面，將提供儀器基本的狀態資訊，包括感應器的溫度、電池蓄電量、記憶體空間等。

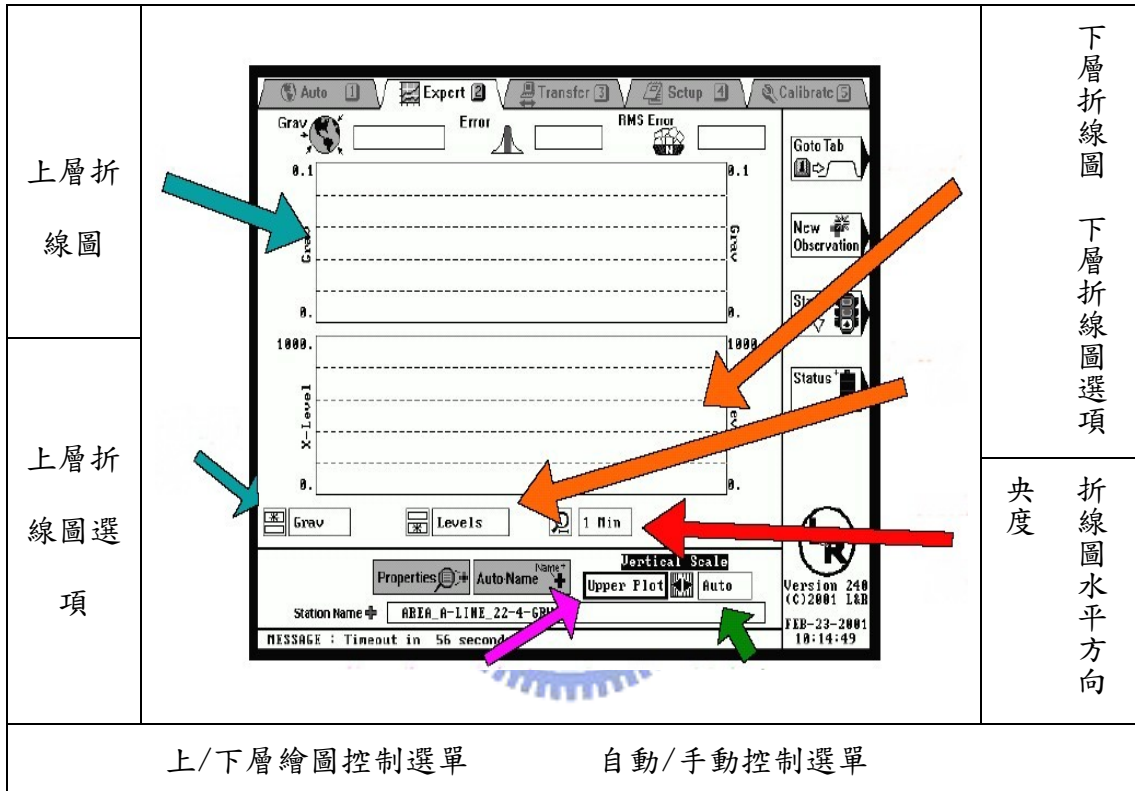


圖 3-15 專家模式中，LCD 上所顯示的畫面說明(尚未進行觀測)。



## 二、控制選單選項：

除了在主畫面區很明顯的多了兩個上下層的折線圖(折線圖縱軸的顯示項目可以更改，橫軸為時間)。在開始進行觀測後，上層的折線圖可表示重力值(原始重力值或是加入海潮改正量的重力值)與時間的關係圖；而下層的折線圖則可表示重力改正量(海潮改正、溫度改正、水平改正)與時間的關係

圖。

在自動模式中的重力讀數資料、ERROR、還有 RMS ERROR 資訊，在 EXPERT 專家模式中，被縮小改放在主畫面的最上方，開始進行觀測的時候才會有數值出現。在主畫面中的折線圖下方也多了三個控制選單，功能說明如下表 3-3 所示：


表 3-3 EXPERT 專家模式折線圖控制選單 1 之選項與功能說明

EXPERT 專家模式折線圖控制選單 1 (縱軸顯示選項與橫軸尺度控制)			
圖	 Grav	 Levels	 1 Min
功能	更換上層折線圖縱軸顯示代表值	更換下層折線圖縱軸顯示代表值	更換折線圖橫軸的時間比例尺顯示
提供選項	Grav(原始重力值讀數)	Tide(海潮改正量)	
	TC Grav(加入海潮模式重力改正量的讀數)	Temperature(溫度改正量)	
		Levels(水平改正量)	

另外，在控制選單區，除了原本在自動模式中有的 Properties 和 Auto Name 兩個控制鈕外，在 EXPERT 專家模式還加入了 Vertical Scale 調整的功能(如表 3-4)：





表 3-4 EXPERT 專家模式折線圖控制選單 2 之選項與功能說明

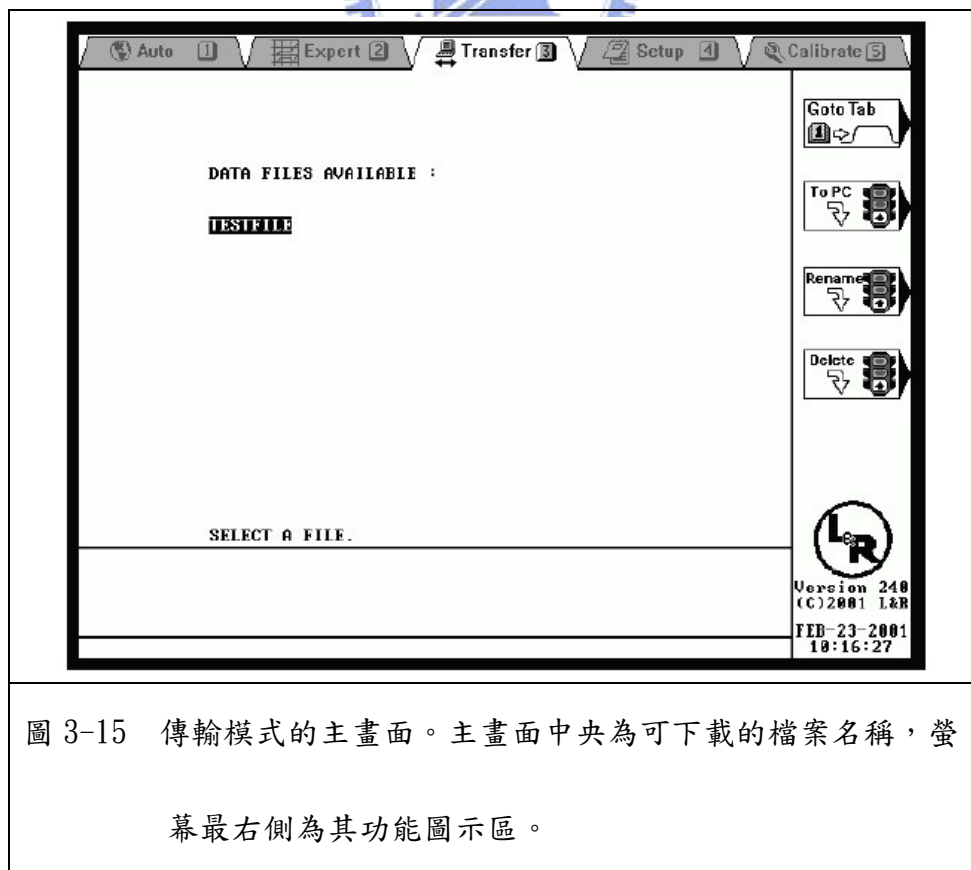
EXPERT 專家模式折線圖控制選單 2 (控制縱軸尺度)		
圖		
功能	可選擇更改上層或是下層折線圖的縱軸顯示	決定繪圖時縱軸的尺度以自動或是手動調整
提供選項	Upper Plot/ Lower Plot 上層圖 / 下層圖	Auto / Manual 自動調整 / 手動調整

在以專家模式開始進行重力觀測之作業時，此時主畫面各項測量相關之資訊欄位與折線圖都會開始有資料顯示(折線圖會由左自右一直進展，並在折線進行到螢幕能顯示的最右端之後，自動捲動顯示畫面，以顯示新的折線點(圖))。此時功能鍵圖示區會出現一個新的圖示--，此圖示名稱為測量階段圖示(Measurement-Phase Icon)，沒有對應的功能鍵可供選擇，只是一個表示目前儀器正在進行讀數的取樣程序，這個圖示的意義，包含了在表 3-2 中所有自動模式中所提到的 GravitonEG 重力觀測讀數的程序步驟。

### 3-2.6 傳輸模式 (TRANSFER MODE)

在此模式中，可以利用 Serial port 傳輸線--兩邊各有一個 DB-9F，9pin 的接頭，把儀器中的檔案傳輸至電腦中。在此模式下可以修改、刪除儀器中的檔案。四個功能鍵分別為：

- ◆  Goto Tab：切換到選擇模式欄位區，功能與之前在 AUTO 自動模式中介紹的相同。
- ◆  To PC：可以把所選擇的資料傳輸到電腦中。
- ◆  Rename：可以改變所選擇的檔案的名稱。
- ◆  Delete：可以刪除所選擇的檔案，刪除檔案前，會要求再確認一次。注意：檔案一但刪除之後，就不可回復。





### 3-2.7 設定模式 (SETUP MODE)

這個設定模式，可看到主畫面主要區分為三個設定區，總共包括有 18 個選項，如圖 3-16 所示：

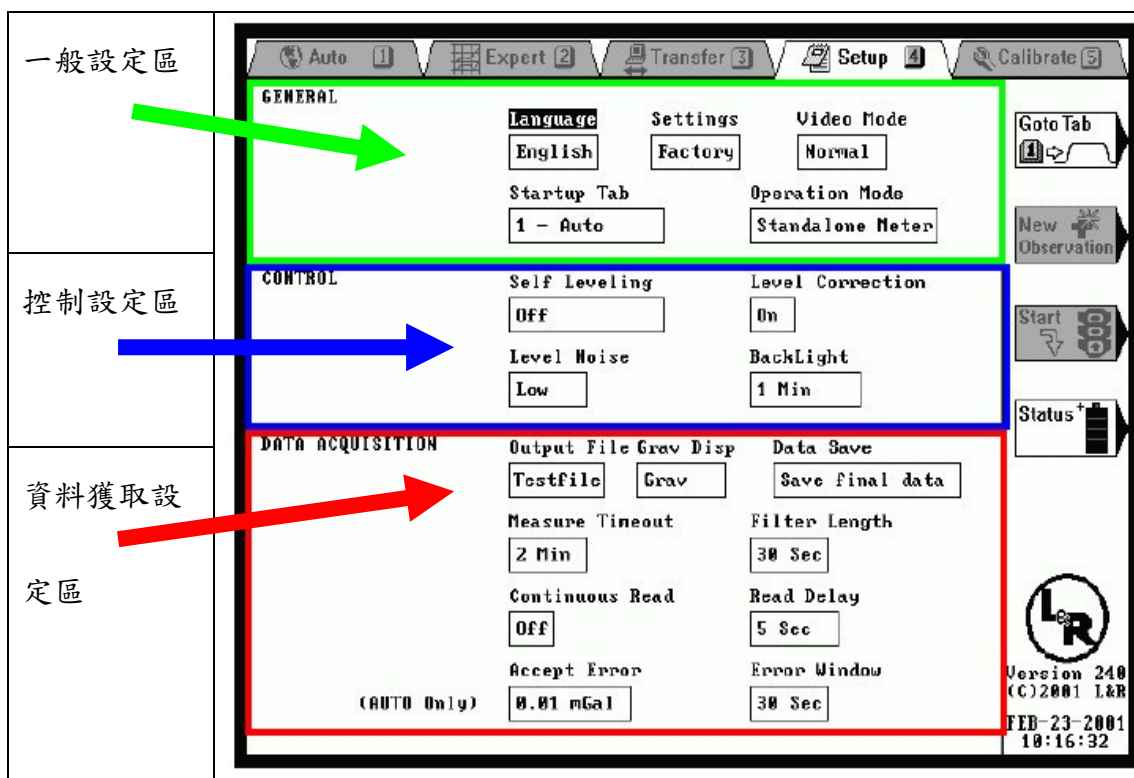


圖 3-16 設定模式的主畫面主要分為三個部分。

在此模式中，使用者可以用「左右鍵」來切換要更改的設定種類，按下 ENTER 鍵後，即可用「上下鍵」來更換需要的選項，選擇完要再按一次確定鍵，才會變更選項。

### 3-2.7.1 一般設定區：一般設定區共包含五個設定種類，其選單設定種類

與提供之選項說明如表 3-5 所示：

表 3-5 SETUP 模式中一般設定區設定種類與提供之選項一覽表。

一般設定區(General)					
設定種類	提供選項				備註
語言介面 (Language)	ENGLISH (英文)				目前提供 唯一選項
慣用設定模組 (Settings)	Factory (原廠設 定)	User1 (自訂使 用者 1)	User2 (自訂使 用者 2)	User2 (自訂使 用者 3)	
顯示模式 (Video Mode)	Normal(標準白底黑字)				目前提供 唯一選項
起始模式 (Startup Tab)	1-AUTO(自動模式) 2-EXPERT(專家模式) 3-Transfer(傳輸式) 4-Setup(設定模式) 5-Calibrate(率定模式)				開機後立 即會進入 的模式
操作模式 (OperationMode)	Standalone Meter				目前提供 唯一選項

### 3-2.7.2 控制設定區：包括有四個設定種類，其中有三項與儀器自動水平

相關的設定：

#### 1、 自動水平設定(Self Leveling)：

這個選項可以設定儀器自動定平機制的運做形式，一般都會設定在 Only at Start(在開始測量之前定平)選項，as needed 選項在儀器處於開機的狀態下時，就會隨時檢視目前的定平狀態，並且自動做適當的調整定平。而 OFF 選項將關閉儀器自動定平的功能，只適合在原廠測試或疑難排解時使用。

#### 2、 水平改正(Level correction)：

這個選項可以啟動或關閉是否因為儀器略有傾斜時，因為不水平所造成的重力值加以改正。這個選項一般設定為 ON(開啟)，此時會多加入一筆改正的值在最後要記錄的觀測資料中。而打開這個改正的功能，也使得在接下來的定平容忍值(Level noise)能夠放寬較大的限度(MEDIUM 或是 HIGH)，進而加快一些自動定平的時間。也因為能放寬容忍度，所以在較不佳的工作平台上，也能得到相當精確的資料。

#### 3、 定平容忍值(Level noise)：

顧名思義，則是儀器的自動定平裝置對於目前水平狀態是否可進行觀測的容忍值。容忍值愈高，表示要求較寬鬆(要開啟水平重力值改正才能設定為 medium 或是 high)，容忍度愈低，表示對於定平的要求較嚴苛。因此，若是在一個平穩的工作環境，我們可以使用 low 的設定，來要求精確的定平，以獲取


較精確的讀數；反之，若是在一個背景震動頻率較雜亂的工作環境(例如：上層的建築物、大馬路旁、風大的地區)，我們可能必需放寬容忍度到 high 才有辦法進行測量的工作。一般的測量工作，我們會使用 medium 的容忍值，並開啟對於儀器微傾，重力讀數所需進行的水平改正量。要注意的是：設定為 high 即時有加入水平的改正，但仍會降低觀測品質的精度，因此非必要的話，不要設定為 high。

表 3-6 SETUP 模式中控制設定區之設定種類與提供之選項說明一覽表。

控制設定區(Control)				
設定種類	選項			註記
自動水平設定 (Self Leveling)	Only at Start	As needed	OFF(關閉)	一般設定為 Only at Start
水平改正 (Level correction)	ON(開)	OFF(關)		一般設定為 ON (若是設定 OFF，則定平容度值不能設定為中或高)
定平容忍值 (Level noise)	Low(低，表示要求受得干擾最小、精度最高)	Medium(中)	High(高)	一般設定為 MEDIUM
螢幕背景光源持續時間(Backlight)	可依需求設定為 1、2、3... 甚至 10 等。			此設定要重新按下背光鍵後才會生效

### 3-2.7.3 資料獲取設定區(Data Acquisition)：在資料獲取設定區中，

總共有 9 個種類可更改設定：

- 1、 輸出檔案名稱(Output File)：可以用面板上的字母、數字鍵直接在此輸入想要輸出檔案名稱。輸出檔案名稱的副檔名為\*.CVS。
- 2、 重力讀數顯示(Grav Disp)：這個選單可以選擇在自動模式或是在專家模式中，進行重力讀數的時候，面板上所顯示的讀數值是否要包括海潮模式的重力改正值。有 Grav(不加海潮改正的讀數值)和 TC Grav(含海潮改正的讀數值)兩個選項可供選擇。(需注意的是，改變此處的選項，也會使得在專家模式中「Grav/TC Grav」的細線圖選項改變。)
- 3、 觀測時間(Measure Timeout)：這個選項中的設定意義，會根據目前所使用的是 AUTO 自動模式或是 EXPERT 專家模式進行重力讀數而有所不同。
  - ◆ AUTO 自動模式：在這個模式中，Measure Timeout 會決定儀器累積有效的重力讀數的時間。時間到了之後，儀器會停止目前的讀數，然後等待使用者進一步的操作(如果連續讀數的選項是 OFF 關閉的)，或是過幾分鐘後，會自動的儲存該次的讀數中，最佳的一筆觀測讀數資料。如果連續讀數功能啟動的話，儀器便會自動再行進下一次的觀測。
  - ◆ EXPERT 專家模式：在這個模式中，Measure Timeout 決定了 GRAVITON-EG 每隔多久會記錄一筆讀數資料。(需要把 EXPERT 模式中的 Data Save 設定為 Save detail data(儲存每一讀數的詳細資料)選項)。

4、 資料儲存(Data Save)：這個選項只會對 EXPERT 專家模式產生影響。有兩個選項：

◆ Save detail data(儲存每一讀數的詳細資料)：儀器每隔一段時間，就會記錄一筆讀數資料到記憶體中，一直到操作儀器者按下 STOP 功能鍵才會停止。間隔時間可由 SETUP 模式中的「觀測時間(Measure Timeout)」選項來更改。

◆ Save final data(儲存最後一筆讀數資料)：當操作員按下 STOP 功能鍵後，儀器只會記錄一筆最新/後得到的的重力讀數資料。

5、 過濾器濾波長度(Filter Length)：設定在儀器顯示資料還有儲存資料時的數位 FIR(有限脈衝響應濾波器)低通濾波器的濾波時間長度。提供的選項有 1、10、30、60、120 秒，此值的設定必需小於觀測時間。

6、 連續讀數設定(Continous Read)：這個選項只會對 AUTO 自動模式產生影響。可以使儀器在進行完一次重力讀數後，自動的再進行下一個重力讀數。(在每個連續讀數間，儀器感應器與彈簧的固定機制是不會鎖上的。)

7、 讀數間隔時間(Read Delay)：決定儀器在鬆開感應器與彈簧的固定機制後、在開始取樣資料之前要經過多久的等候等待時間。一般設定通常為 none(無需等待)或是 2 秒，可設定範圍是 0~120 秒。

8、 讀數誤差容忍值(Accept Error)：這個選項只會對 AUTO 自動模式產生影響。這個設定可以藉由軟體來告訴儀器，僅要讀數差異在這個讀數誤差容

忍值之內，即存取此資料，而不用等到觀測時間到才停止觀測，藉此可加快獲取重力讀數資料的速度。當這個功能啟用時，軟體會一直監控兩筆資料窗口，而只要兩筆資料間的誤差值低過所設定的讀數誤差容忍值，儀器就會停止再取樣，然後這個重力值讀數就會被儲存下來。如果兩筆資料間的誤差值一直高過所設定的讀數誤差容忍值，儀器就會一直進行讀數取樣到觀測時間用完為止。這個方法並不如固定觀測一段時間來的可靠，因為在儀器真正安置好、感應器與彈簧裝置安頓下來之前，可能會得到兩個相差不大、平穩的讀數，若此時接受此讀數值了，但是儀器尚未安頓下來，可能會是一個錯誤的讀數值。

- 9、 誤差窗口設定(Error Windows)：這個選項只會對 AUTO 自動模式產生影響。可以決定兩筆資料窗口的間距長度(比較相差 n 秒之間的取樣值)，提供給開啟讀數誤差容忍值(Accept Error)設定時，計算重力值讀數差。可設定範圍為 10~30 秒。

表 3-7 SETUP 模式中資料獲取設定區之設定種類與提供之選項說明一覽表。

資料獲取設定區(Data Acquisition)				
設定種類	選項			備註
輸出檔案名稱 (Output File)	直接輸入名稱			下載後副檔名.CSV
重力讀數顯示 (Grav Disp)	Grav(不加海潮改正的讀數值)	TC Grav(含海潮改正的讀數值)		
資料儲存(Data Save)	Save detail data(每隔一段時間儲存一讀數的詳細資料，可長期觀測)	Save final data(僅在停止儀器取樣後，儲存最後一筆讀數資料)		Expert 模式專用
觀測時間 (Measure Timeout)	2、10、60、90 秒、2、3、5、10 分鐘			依模式不同有不同義意
過濾濾波長度 (Filter Length)	1、10、30、60、120 秒。			
連續讀數設定 (Continuous Read)	3、5、10...等 不同設定之 讀數次數	ON(長期觀測 用)	OFF	AUTO 模式專用
讀數間隔時間 (Read Delay)	0(None)-120 秒			建議設定 none 或 2 秒
讀數誤差容忍值 (Accept Error)	None (關閉)	0.002mGal(原廠 設定)	依需求設定其他大 小	AUTO 模式專用
誤差窗口設定 (Error Windows)	10~30 秒			AUTO 模式專用



### 3-2.8 率定模式 (CALIBRATE MODE)

此模式可以用來設定儀器的時間和日期，並進行儀器內部系統的一些測試，且還可以手動調整感應器的「range」（跟重力值讀數值相關）。總共有以下 10 個欄位可供選擇、設定。率定模式的畫面如圖 3-17：

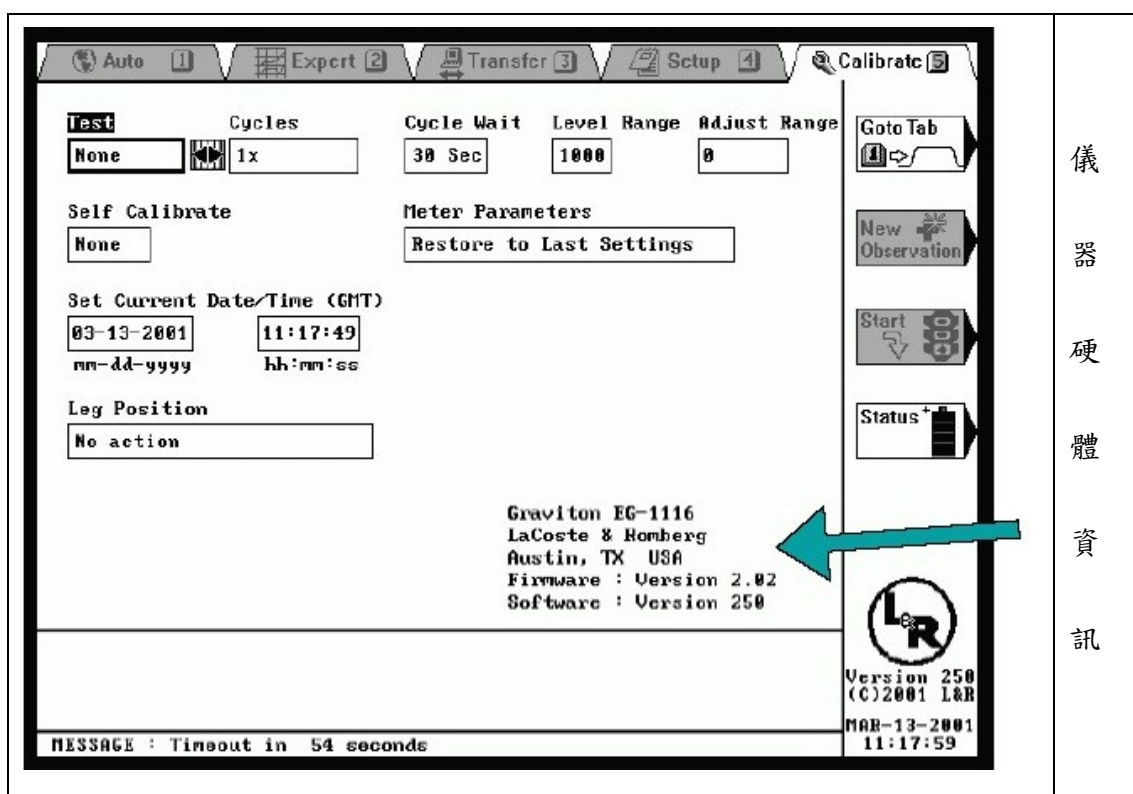


圖 3-17 率定模式的主畫面。此模式可設定儀器時間或是進行一些儀器的調校、測試。主畫面右下角是儀器的硬體資訊。

- 1、 Test：可以選擇要進行的測試項目。包括有 none(不進行)、Latitude Reset、Long-Level test、Cross-Level test、combined cross/long-level test、manual counter sensor-range adjustments(即 Adjust)、Off-level

test 等選項。

- 2、 Cycles：可以決定所選定的測試要重覆做幾次。可以選擇 1~50 次，或是持續的進行測試，直到按下 STOP 功能鍵為止。
- 3、 Cycles Wait：可以決定每個測試循環的間隔時間為多久。大多數的測試，設定範圍從 5~30 秒通常就夠了。最久可以設定到 5 分鐘。
- 4、 Level Range：這個數值表示，當儀器原本的中心與定平機制感應器感應到超出水平量多少時，將會自動自行水平測試(Level Test)。一般而言， $\pm 1000$  左右的設定值，對測試定平機制與感應器是很有效率的設定。水平測試(Level Test)把這個值域分成十個不連續的步驟，每一個步驟都會記錄資料到記憶體中。
- 5、 Adjust Range：這個數值設定，當移動到目前所在的位置時，感應器的 range 調整需要到達多大的值。這個功能主要在原廠的測試使用，一般使用者不會用到此功能，對於進階的使用者來說，如果知道兩個已知測區的資訊，可以利用這個功能先設定 range 的調整值。
- 6、 Self Calibrate：這個選項可以啟動 GravitonEG 相對重力儀內部的率定模式。目前有兩個可以選擇的選項：

◆ None：不進行測試

◆ 水平模式(Level)：進行水平系統的自動率定

◆ 診斷模式(Diagnostics)：可以啟動程式進行儀器的診斷。只在儀器有問

題產生時才使用。

在進行任何一個項目之前，請先與原廠公司商議。

- 7、 Meter Parameters：這個選項允許使用者回復儀器至前一次前一次率定時的各項參數設定。也可以回復到原廠在出廠，貨運來之前的設定。切記，因為只能回復到前一次率定時的參數，所以假設若是連續做了兩次水平率定模式，儀器將只會回復到做第二次水平率定之前的參數設定。
- 8、 Set Current Date/Time(GMT)：顯示並可更改目前日期、時間。原廠公司建議這個設定在每一次進行觀測的時候，最少在一開始的時候要檢查一次，以避免儀器內部電腦因為電力或是溫度影響而有偏差。要注意的是，這個時間設定是使用格林威治平均時(GMT/UTC)，用 24 小時制的方式計算，提供海潮模式做計算改正量用。台灣時間扣掉 8 小時，即為 GMT/UTC 時。
- 9、 Leg Position：這個選項允許使用者把儀器的腳架完全的縮起，收入儀器本體(箱)中(若是有特殊的需求的時候)。

一般而言，除了日期與時間的設之之外，儀器製造公司並不鼓勵儀器使用者任意進行率定模式來修改儀器內部參數之設定。建議使用者，在進行任何一項儀器率定參數的調整之前，先與儀器製造公司商議，以免因為儀器不當的率定而使觀測發生誤差。

### 3-2.9 觀測資料格式

GravitonEG 相對重力儀所記錄的檔案為\*.csv，可以用 EXCEL 軟體或是其他文書軟體開啟來處理。而 GravitonEG 相對重力儀所記錄的檔案項目、格式(此處之單位只是說明用，真正下載的檔案中並不記錄此項)依序如表 3-8、3-9 所示：

表 3-8 GravitonEG 相對重力儀觀測記錄資料格式(一)。

記錄檔頭	EG-1184	DATE	TIME	RAW GRAV	TC GRAV	RMSERR	TIDE	LATITUDE
單位	儀器序號	日/月/年	時/分/秒	mGal	MGal	mGal	mGal	度
說明	(除了檔頭外，接下來都是測站點名稱)	日期	時間	原始重力讀數值	經過海潮模式改正後的讀數值	評估觀測背景震動頻率值	海潮模式改正量	經度

表 3-9 GravitonEG 相對重力儀觀測記錄資料格式(二)。表 3-9 之格式應

接於表 3-8 之右方，因限於文章篇幅而分為兩表格，實際上是存於同一個檔案中，不同欄位之資料。

LONGITUDE	ELEV	X-LEVEL	L-LEVEL	SEN TM	AMB TM	LCORR	BARO	NOTE
度	m	-	-	度	度	mGal	0.1hPa	
經度	高程(從海平面起算)	X 方向定平參數值	Y 方向定平參數值	感應器溫度	儀器通氣孔溫度	水平重力改正量	氣壓	該測點備註欄

在此檔案中，值得注意的是，經緯度的值不論在操作儀器時所輸入的單位為何，記錄下來的值均以「度」為單位；儀器位於通風口附近的感溫裝置記錄下之溫度值與外界實際測量有不小的出入值；還有氣壓的單位經過實測後，發覺該儀器對氣壓記錄的單位為 0.1hPa，這些為較不尋常之處。

另外有關儀器所記錄下來的重力讀數值與改正量的關係為：

$$\text{RAW GRAV} = \text{TC GRAV} + \text{TIDE} \quad (3-1)$$

注意在此並沒有加入儀器因為在定平的改正而產生的重力值變化量，推估原因可能是該改正量太小(約 0.001mGal)，故在一般精度之相對重力測量可乎略。

若是在高精度的觀測作業中，需要注意此值的大小，並加入此改正量。



### 3-2.10 建議操作使用程序

經過前一節的介紹，可以得到一個使用 GravitonEG 進行觀測的程序如下所述（以 Auto 自動模式進行重力觀測）：

- 1、 將重力儀取出置於待測點位正上方，按下【POWER】鍵約 1~2 秒後放開。
- 2、 經過幾秒鐘的重力儀電腦的啟動程序之後，依 GravitonEG 相對重力儀的原廠設定，開機後畫面即處於 AUTO 模式選單。
- 3、 進入【SETUP】選單依需求更改連續觀測模式(可設定為：只讀數一次、連續觀測至手動中斷為止、觀測 N 次，建議設定 off)、每次觀測之時間 (Measure Timeout 建議 3 分鐘) 搭配低通過濾器時間長度(Filter Length 建議 30 秒)，觀測值誤差容許範圍(Accept Error 建議設定 none 或 2)。
- 4、 在【SETUP】選單中，將自動水平項目改為【Only at Start】模式，【Level Correction】選項設定為 on(啟動水平校正之重力修正)，【Level Noise】依需求將定平容忍值設定為 Low、Medium 或是 High，在此建議設定為 Medium。(一般而言，定平容忍值愈低時所獲取的讀數愈準確，但是若位於馬路旁此類外在干擾大的環境下，則可能需設定為 High 儀器才能進行讀數。)
- 5、 進入【PROPERTIES】選項，輸入該測點之名稱、經度、緯度值(即時做全球海潮模式的重力值修正用)。
- 6、 按下相對應於 LCD 上【START】程序的功能鍵(在 AUTO 模式中為第三個功

能鍵)。儀器就會進入自動量測的步驟，要注意從此時起不要再觸動儀器。

- 7、 觀測的過程中首先，儀器會自動調整水平(Level)，接下來會自動鬆開內部彈簧的固定螺旋(Unclamp)，接下來調整彈簧的 RANGE(Adjust)，然後自動讀數(Measure)，完畢後會自動再鎖上固定螺旋(Clamp)、自動存檔(Save)後完成該站的觀測(Finished)。
- 8、 在步驟 7 中的 Adjust 項目中，若是該儀器所在位置與前一次讀數之的重力值有很大的改變時(例如由平原地帶移至高山區)，為了使儀器調整至電子補償系統「in range」的狀態下，可能會調整超過 100mGals，此時會跳出一個對話視窗詢問是不是要中止 re range 的工作，此時該選擇【cancel】選項，則 GravitonEG 將會繼續做 re range 的調整，此項工作約需費時 40 分鐘左右。若非如上述情形者，則不需要做 re range 的工作，選擇【OK】即可。
- 9、 每一次觀測完後，會出現該測點觀測的觀測資訊，可提供做為該次觀測資料取選的參考。若不滿意可以用【Reject】該次觀測結果，若成果達到所求即可決定輸出的檔名，選擇【Accept】接受，移動至下一個待測點進行觀測。
- 10、 手動記錄下重力值讀數及觀測間隔時間，以便計算時間漂移量。
- 11、 用鋼捲尺量儀器高(由待測點算起，至儀器面板最上緣止)。

## 第四章 實驗的進行與資料處理之方法

本章節的重點在介紹對儀器所進行的測試實驗場地、內容之規畫，並說明實驗進行與資料處理之方式。

### 4-1 實驗內容規劃

#### 4-1.1 場地的選擇

針對儀器有關時間參數的設定測試，我們需要一個穩定、干擾小的環境來做測試。因此我們考慮利用空調保持一定溫度，且在實驗進行中無人員進出的顧慮下，選定在交通大學土木系的儀器室內，於晚上十點左右開始進行下列(1)、(2)的儀器測試實驗；而實驗(3)、(4)有關於戶外觀測的實驗部分，我們選擇了幾個位於新竹地區一等一級與一等二級水準點，做為單向觀測精度評估，以及在不同環境條件下，儀器定平容忍值設定之測試之點位。

#### 4-1.2 實驗目的與儀器參數的設定

經由先前的資料蒐與製造商公司手冊的的建議與儀器的實際操作經驗，吾人發現儀器中會影響觀測資料品質的設定值，主要有「觀測時間」、「過濾濾波長度」（兩者是互相搭配的），以及「定平容忍值」等三項設定參數的影響；還有，為了了解 Graviton 儀器的特性與內部所使用的改正模式是否適用，我們亦需使用該儀器進行長時間的觀測。因此，我們擬訂了下列各種實驗項目：

- (1)不同觀測時間搭配不同過濾濾波長度的實驗：目的在找出最適當的觀測時間與所搭配的過濾濾波長度的設定建議。我們將使用 AUTO 模式，使用各種不同



的儀器參數來觀測，以進行實驗。所使用的參數設定值如下：

一、觀測時間(Measure Timeout)：3、5、10 分鐘。(因為在實際戶外觀測時，若是過短的觀測時間，可能會因點位間的搬運過程後，儀器仍未達穩定狀態而有偏差產生，故吾人捨棄掉儀器中小於三分鐘以下的觀測時間的設定。)

二、過濾濾波長度(Filter Length)：10、30、60、120 秒。(為了搭配各個觀測時間，小於 10 秒以下的過濾濾波長度設定值，相對於本實驗中使用的觀測時間來說太大，故捨棄不用。)

此項實驗的觀測，使用 AUTO 自動觀測模式連續三次讀數，水平改正設定為「on」，定平容忍值設定為「Medium」。

(2) 長時間於實驗室內進行觀測之實驗：了解在台灣地區之重力讀數使用了儀器內建之軟體做的海潮模式改正後(全球海潮模式)，所得到之觀測精度。此項實驗採用 EXPERT 模式進行觀測，設定儀器每隔三分鐘會自動記錄一次讀數值，搭配 30 秒之濾波長度，水平改正設定為「on」，定平容忍值設定「Low」。

觀測時間從晚上十點到隔天晚上十點，共 24 小時。

(3) 戶外進行一個單向觀測(閉合到原點)環線：評估使用儀器於室外觀測時，單向觀測之精度。使用 AUTO 模式進行觀測，使用 3min 觀測時間，搭配 30 秒濾波時間長度，定平改正設定「on」、定平容忍值設定「Medium」。原則上每個點位只取一個讀數，記錄一次；但是在起始、閉合的點位，還有外在干擾

較大之點位，都採用三次讀數的資料。

- (4) 於四個不同環境條件下之點位，使用不同的儀器定平容忍值進行往、返、往重複觀測[11]：除了可以了解在不同條件下，針對不同定平容忍值設定下的觀測品質會有多大的差別外，還可以與實驗(3)比較重複觀測與單向觀測的精度的差異。本項目的實驗中，根據所假定三類型之場地的不同，我們在各點位中進行測試的參數項目設定如表 4-1 所示：

表 4-1 依不同類型觀測條件預定所做的參數設定測試設定

	類形一：中央分隔島，兩邊來往車多。 (點位：D037、1039)			類形二：人行道，離車道稍遠，偶有人經過。(點位：X028)			類形三：人跡罕至、平靜。 (點位：新竹工研院量測中心外絕對重力點附點)		
定平改正 on	定平容忍設定			定平容忍設定			定平容忍設定		
	低	中	高	低	中	高	低	中	高

此項實驗中，我們均使用 AUTO 觀測模式，搭配觀測時間三分鐘與 30 秒的過濾濾波長度，每到一個點位(每次經過時)都對儀器所提供的三個設定值(Low、Medium、High)進行一次讀數。

## 4-2 相對重力讀數資料處理方法

### 4-2.1 所需記錄之資料

使用 GravitonEG 相對重力儀時，由於儀器內建了溫度(度)、氣壓計(單位：0.1 百帕，要注意此單位頗特殊)，下載的檔案中會提供這些外在環境資訊的記

錄(格式請參照本文 3-2.9 觀測資料格式),因此不另外使用計量儀器來記錄這些環境資訊。

GravitonEG 相對重力儀的設計,由面板最上緣量至待測點位的距離,再扣掉 0.1778m(即七英寸,參照圖 4-1)才是感儀器感應器所在之位置。因此在丈量儀器高時,我們先從地面量至儀器面板的高度,再扣掉 0.1778m,即為儀器距離地面高;再加上(或扣掉,視該待測點位是低於地面或高於地面而定)該待測點距離地面之高度,即為儀器高。

本文在室內進行的測試實驗中,只要記錄所設定的參數以供後續處理辨別外,不需另外記錄其他資料。在戶外的實驗中,原則上除了儀器高之外,我們也僅需在儀器使用前注意一下時間的設定是否為 GMT/UTC 時(台灣當地時間減去八小時)即可,不需再另外記錄其他資訊。然而在實際的作業中,則建議在戶外需要記錄下讀數的間隔時間與重力值讀數供做返測時的檢核用。

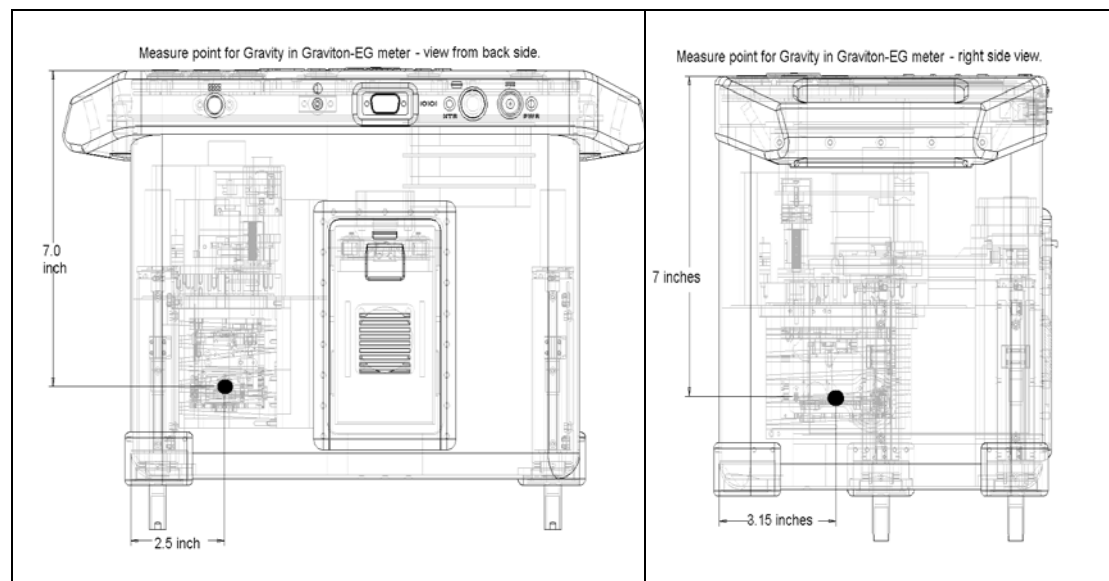


圖 4-1 左圖為 GravitonEG 儀器內部 sensor 之位置之正視圖,右圖為側視

圖

## 4-2.2 各項改正量的處理

由於重力測量受到許多環境與儀器因素的影響而使得每台儀器測出來的觀測量值都不儘相同，為了方便資料的使用，我們必需假設所要的重力讀數值處於以下之環境狀態：氣壓為標準大氣壓力，無日月潮位引力、無海潮(即海平面為平均海面)變化、無極移、地下水位為一長時間平均位([2]黃金維、陳春盛、李振燾，2001)。另外還有儀器因為本身可能引起的變化，如率定函數、重力漂移等，也需加以改正，才能得到一個「正常」狀態下，該待測點點位之重力值(重力值與環境因素有關的改正量值，請參照附錄 A.)。

所以，在本文的研究中，針對所觀測的資料進行的改正項目的的原理、實際計算該改正值之方法將於隨後各小節分別說明。

### 4-2.2.1 計算重力儀隨時間漂移之改正量[1, 8, 12]

- ◆ 原理簡述：由於儀器感應器與彈簧的彈性疲乏或是無法補償的外部因素，會使得不同時間，在同一點觀測的重力值在經過各項改正之後，仍然存在一個殘差。每一個不同時間點的讀數值與與參考時刻，可用泰勒展開式寫成函數關係(4-2 式)：

$$z(t) = z(t_0) + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)_0(t-t_0) + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial^2 z}{\partial t^2}\right)_0(t-t_0)^2 + \frac{1}{6}\left(\frac{\partial^3 z}{\partial t^3}\right)_0(t-t_0)^3 + \dots$$

(4-2-1)

其中  $t_0$  為各個量測時段的參考時間。

上式可轉換成漂移多項式(4-3 式)：

$$\begin{aligned} z(t) &= z(t_0) + d_1(t-t_0) + d_2(t-t_0)^2 + d_3(t-t_0)^3 + \dots \\ &= z(t_0) + \sum_{p=1}^s d_p(t-t_0)^p = z(t_0) + D(t) \end{aligned} \quad (4-2-2)$$

其中  $z(t_0)$  表示參考時刻  $t_0$  時的近似儀器漂移。

通常我們可以簡單的用一階或二階的多項式，配合觀測之重力值與觀測間隔的時間記錄，算出每一個時間的重力漂移量，加以改正。

- ◆ 實際計算(使用一階線性式)：我們在得到一個測線往返測的重力值之後，假設起始點(在此次觀測工作中最早進行觀測的點)往測時之重力觀測讀數值為  $a$ ，返測的重力觀測讀數值為  $b$ ，讀數間隔時間為  $\Delta t$ 。讀數值加入儀器高、海潮模式改正之後分別變成  $a'$  與  $b'$ ，此時我們可以得到在這個起始點返測時進行的觀測，當時儀器的重力漂移量：

$$D(t) = b' - a' \quad (4-2-3)$$

而此次觀測時，儀器的漂移率  $D$  為：

$$D = \frac{D(t)}{\Delta t} = \frac{b' - a'}{\Delta t} \quad (4-2-4)$$

因此我們可以計算出每個與起始點觀測隔間時間為  $\Delta t_i$  的觀測重力讀數的重力漂移改正量  $D(t_i)$ ：

$$D(t_i) = D \times \Delta t_i \quad (4-2-5)$$

在本文的測試實驗(1)中，由於每一種個參數設定的測試時間均在一個小時內，我們不考慮時間漂移的因素；而本文的測試實驗 (3)、(4)中，若是各點位有進行重複觀測者，我們則先將計算漂移量的起始、閉合點讀數取平均，依起始與閉合之平均觀測時間為基準，逐一計算其他時間點之重力值讀數的時間漂移量。

#### 4-2.2.2 計算儀器高改正量[13]

- ◆ 原理簡述：重力儀量測時，是量測出來的重力值讀數是表示在其儀器感應器位置上的重力值讀數。而由於儀器與待測點樁位存在一個距離，為了求得在待測樁位點上真正的重力讀數值，我們必需改正由於這個距離產生量值。
- ◆ 實際計算：一般而言，每抬昇一公尺高，重力值會減少 0.3086mGal(重力梯度  $\text{grad}G=0.3086\text{mGal/m}$ )。在點位上的重力值應該由原本的重力讀數值加上  $\Delta g_h$  (0.3086 乘上儀器高)這個改正量：

$$\Delta g_h = 0.3086 \times \text{InstHeight} \quad (4-2-6)$$

通常在高精度的觀測時，我們需要先求得該觀測點的重力梯度值：在同一個點位，先把儀器擺在相差高度  $h$  的位置進行觀測，計算重力差值，除以高度  $h$ ，把重力差值除以高度  $h$ ，即為該點位正確測量過的重力梯度，用此值取代 0.3086 這個一般重力梯度值會比較來的正確。(尤其若是在同一個點位長時間觀測時，更需要如此)

然而在本文的研究中，由於主要目的不在求得每個點位「上」重力值讀數，而且每一個點位觀測時之儀器高變動均少於 1 公分，若依  $0.3086\text{mGal/m}$  的重力梯度值來計算，差異量小於  $3\mu\text{Gal}$ ，因此雖然有記錄儀器高，但在最後資料處理上不將重力值化算到點位上。

#### 4-2.2.3 計算潮汐改正(Tidal Correction)量[1, 2, 12]

- ◆ 原理簡述：重力值因為日月引力使得潮汐變化而會產生相當大的變化量，包括有地球固體潮(Solid Earth Tide)、海潮起伏(Ocean Tide)與海潮承載負荷(Ocean Loading)等影響量。

地球固體潮：地殼雖然是剛性的，但是仍有其「彈性」在，尤其是地球內部中如呈液態或是流動性的物質，將會因為日月引力而使地球有一週期性的「彈性」，重力值因此也有週期性的變化，此改正值最大約會到  $0.3\text{mGal}$  左右。

海潮：因為海水的漲退使地球質量分佈改變而連帶使重力值產生變化。在台灣地區，台灣的潮高以台中港附近最大，可達 3 公尺。由此處而往南、北遞減，到達基隆，高雄時，其最大潮高僅為 50 公分左右，而東岸之潮高則更小。由台中驗潮站所觀測的最大重力變化值約為  $\pm 0.02\text{mGal}$  左右。

海潮承載負荷：因為潮汐使海水質量重新分佈而使地球質量變重所造成的重力變化值，台灣地區此項改正值約在  $\pm 0.008\text{mGal}$  左右。

([14]陳南松，2003)

因為潮汐所引起的重力值改正量最高可達到 $\pm 0.3mGal$ 左右，因此這個改正量對於重力測量的工作來說，是非改正不可的因子。有關因為海潮引起的改正量，國內外做過相當多的研究，深入研究者可參考相關文獻。

- ◆ 實際計算：以往 LocasteG 型相對重力儀可使用 Gravmaster 軟體，來計算有關海潮部分的改正量，或是使用交通大學黃金維教授開發之程式來計算；現今使用 GravtionEG 相對重力儀，儀器內建的軟體可以依所設定的 GMT/UTC 時與測站點的經緯度值即時的便計算好因為日月引力引起潮汐變化而需改變的重力值，並記錄在最後輸出的檔案中。本文研究中直接採用其內建之改正量。

#### 4-2.2.4 計算氣壓改正量

- ◆ 原理簡述：因為大氣也是有質量，因此不同的氣壓會引起重力變化。
- ◆ 實際計算：此變化量為([15]Torge，1989)

$$g_p = -3(P - P_n) \times 10^{-4} mgal \quad (4-2-7)$$

其中：

P：觀測時之壓力( $hPa$ ，百帕)

$P_n$ ：標準壓力

而標準壓力與海拔有關，其公式為：



$$P_n = 1013.25 \left( 1 - \frac{0.0065H}{288.15} \right)^{5.2559} \quad (\text{百帕}) \quad (4-2-8)$$

其中H為重力點之海拔高(單位為公尺)。若觀測兩站時壓力差為 $10 hP_a$ ，則此兩站相對重力值由壓力引起之誤差為 $3 \mu\text{Gal}$ 。

在本文之研究中，由於氣壓的差異均小於 $1 hP_a$ ，因此不需做此項改正。

### 4-3 平差計算

本文研究中，在戶外進行之閉合觀測，我們需要進行平差的計算。在對每一個重力值觀測讀數都做完改正之後，現在可以得到每一個觀測點上不受外在環境因素影響的重力值，接下來我們可以把這些觀測量組成相對重力方程式：

$$l + v = g + N_0 + \Delta F(z) + D(t) \quad (4-3-1)$$

其中， $v$ 為 $l$ (約化後重力觀測值)之改正數， $N_0$ 為未知基準， $D(t)$ 為儀器的時間漂移量， $\Delta F(z)$ 為儀器之率定函數，可表示為([15]Torge, 1989)：

$$\Delta F(z) = \sum_{k=1}^m b_k z^k + \sum_{l=1}^n (x_l \cos \omega_l z + y_l \sin \omega_l z) \quad (4-3-2)$$

其中， $\omega_l$ 為頻率，其值可參考 Krieg(1981)，Jiang et al. (1988)， $b_k$ 、 $x_l$ 、 $y_l$ 為係數，可由平差中求解。[16, 17]

則 $i, j$ 兩站的約化後的重力觀測組成方程式為：

$$\Delta l_{i,j} + v_{i,j} = g_j - g_i + (\Delta F(z_j) - \Delta F(z_i)) + (D(t_j) - D(t_i)) \quad (4-3-3)$$

其中  $v_{i,j}$  為  $\Delta l_{i,j}$  之殘差，上式中未知基準  $N_0$  及  $Z(t_0)$  因相減而消除。 $t_i, t_j$  為觀測時間。因為率定函數  $\Delta F(z)$  對於觀測方程式的影響不大([1]郭重言，1998)，所以拿掉率定函數之後，相重重力觀測方程式改寫如下式：

$$\Delta l_{i,j} + v_{i,j} = g_j - g_i + (D(t_j) - D(t_i)) \quad (4-3-4)$$

若觀測時間短，採用一階的時間漂移函數  $D(t) = at$  的觀測方程式為：

$$\Delta l_{i,j} + v_{i,j} = g_j - g_i + a(t_j - t_i) \quad (4-3-5)$$

若觀測時間較長，採用二階的時間漂移函數  $D(t) = at + bt^2$  的觀測方程式為：

$$\Delta l_{i,j} + v_{i,j} = g_j - g_i + (a(t_j - t_i) + b(t_j^2 - t_i^2)) \quad (4-3-6)$$

組合觀測方程式後，我們可以假設每一觀測閉合環線之起始點為基準點(令該點重力值為 0)，進行最小約制平差。



## 第五章 實驗成果分析

本節主要在分析各項針對使用 GravitonEG 相對重力儀進行各種不同參數設定與長時間觀測之精度做出儀器之相關精度評估。

### 5-1 不同觀測時間與過濾濾波長度的搭配對觀測品質之分析

由實驗(1)當中，我們用不同觀測時間搭配各種濾波時間長度來進行重力值的讀數，我們可以得到以下成果表。其中平均值表示原始觀測讀數之平均值，單位權中誤差為原始讀數之單位權中誤差；加註 2 表示加入潮汐改正量之讀數相關的量值。

表 5-1 搭配 30 秒的濾波時間長度觀測精度(單位：mGal)

觀測時間	平均值	平均 2	單位權中誤差	單位權中誤差 2	比值
3 min	2547.4907	2547.4097	0.0050	0.0040	6
5min	2547.5667	2547.4873	0.0146	0.0142	10
10min	2547.5887	2547.5157	0.0167	0.0170	20

表 5-2 搭配 60 秒的濾波時間長度觀測精度(單位：mGal)

觀測時間	平均值	平均 2	單位權中誤差	單位權中誤差 2	比值
3 min	2547.5455	2547.4805	0.0106	0.0092	3
5min	2547.5667	2547.5103	0.0120	0.0114	5
10min	2547.5460	2547.5030	0.0142	0.0110	10

表 5-3 搭配 120 秒的濾波時間長度觀測精度(單位：mGal)

觀測時間	平均值	平均 2	單位權中誤差	單位權中誤差 2	比值
3 min	2547.5343	2547.5097	0.0060	0.0050	1.5
5min	2547.5197	2547.5027	0.0110	0.0092	2.5
10min	2547.5080	2547.5037	0.0060	0.0081	5

表 5-4 搭配 10 秒的濾波時間長度觀測精度(單位：mGal)

觀測時間	平均值	平均 2	單位權中誤差	單位權中誤差 2	比值
3 min	2547.4803	2547.4910	0.0148	0.0154	18
5min	2547.4963	2547.5103	0.0327	0.0318	30
10min	2547.4890	2547.5070	0.0384	0.0384	60

由表 5-1~表 5-4，我們可以得到幾個有關「觀測時間」與所搭配使用「過濾波長度」參數設定實驗的結論：

- 1、在短時間的觀測中(每一實驗約都在一個小時內完成)，是否進行海潮模式的改正量對觀測品質的影響量值並不大。
- 2、同一點位，使用較長時間的觀測(如 10 分鐘)，不論搭配何種長度的濾波長度來取樣，所得到的結果幾乎都較短時間觀測精度來得差。推估其原因，其一可能是本研究中，較長時間的多次觀測，或多或少仍然殘留著些許的時間漂移量；其二可能是實驗室內部雖然表面呈現穩定、無干擾狀態，但或許實驗內外或附近仍有大型機具的運作，形成一個較雜亂的觀測背景；較長時間的觀測較可發覺此類的變化，得到的單位權中誤也因而較大。

3、觀測時間與濾波長度的比值若是大過 10，觀測精度都會較差(單位權中誤差均大於  $14 \mu\text{Gal}$ )，甚至由第四個組合中，可見到因為比值達到 20、30，也即過大時，觀測的精度已超出該製造廠商官方公告的觀測精度值。

## 5-2 同一點位上長時間觀測重力值

在實驗(2)中，我們在實驗室環境下，對同一點位進行長時間、高密度的觀測記錄，經過 24 小時的觀測，得到 480 個讀數資料。由得到的讀數與改正量，繪圖如圖 5-1、5-2、5-3 所示。

其中，圖 5-1 顯示了在同一個點位上觀測之重力值讀數，雖然會因為背景的躁動而有些起伏，不過由於日月潮汐引力等對於重力值的影響量最大，因此我們可以得如一個隨著時間而有週期性起伏的關係圖。而圖 5-2 中，顯示的是 GravitonEG 相對重力儀內建之海潮模式對於我們所選的實驗地點提供的重力值改正量。此關係圖的曲線相當的平滑，很明顯是該改正量與時間存在某一人為設計之函數關係，即儀器中軟體提供海潮改正模式所使用之數學函式。

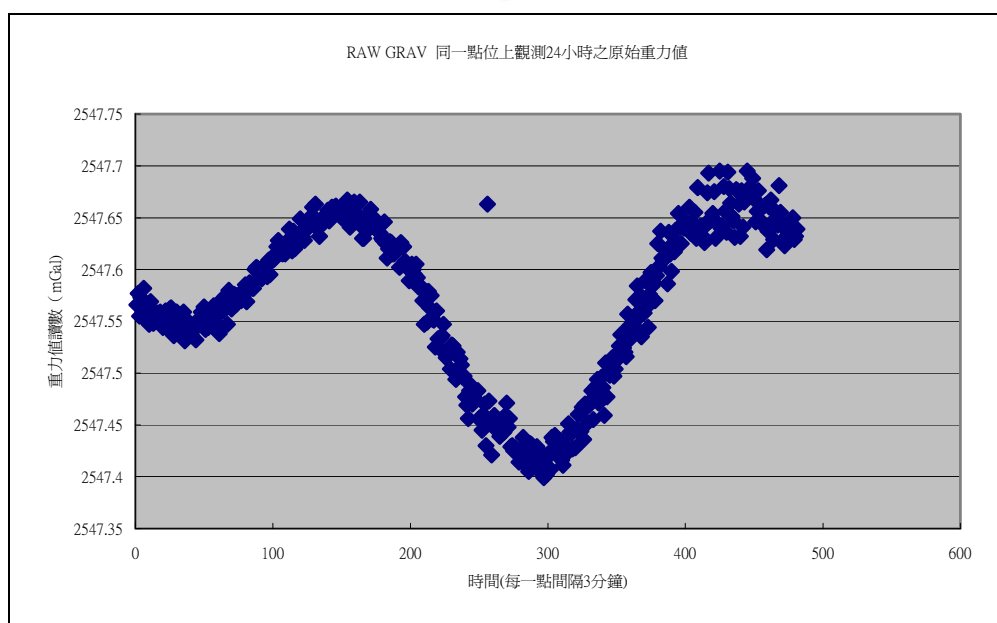


圖 5-1 同一點位上觀測 24 小時之原始重力讀數值與時間的關係圖

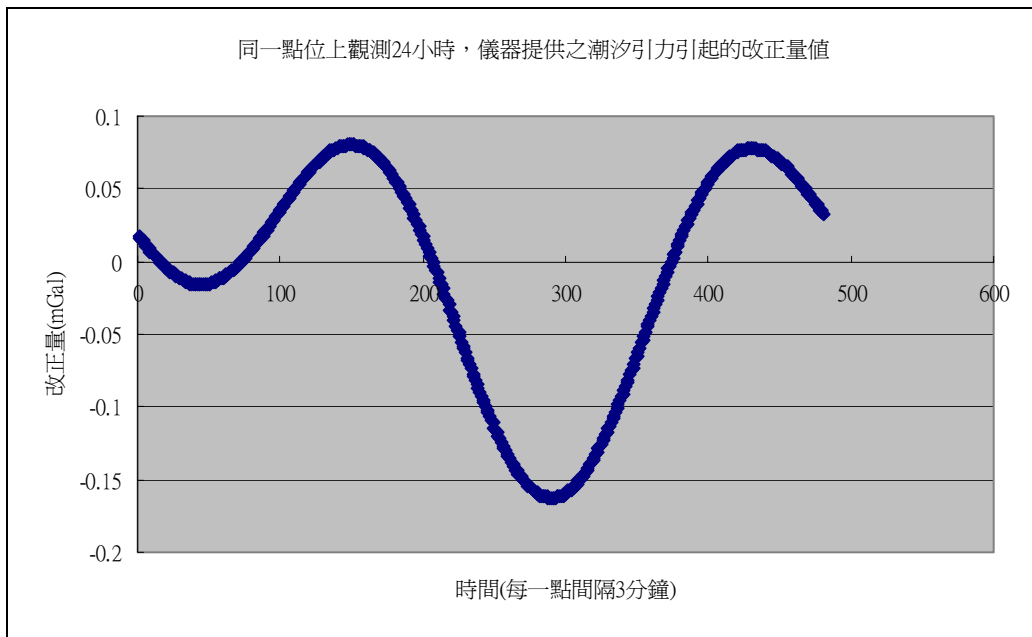


圖 5-2 同一點位上觀測 24 小時，儀器對重力值讀數提供的潮汐改正量值與時間的關係圖

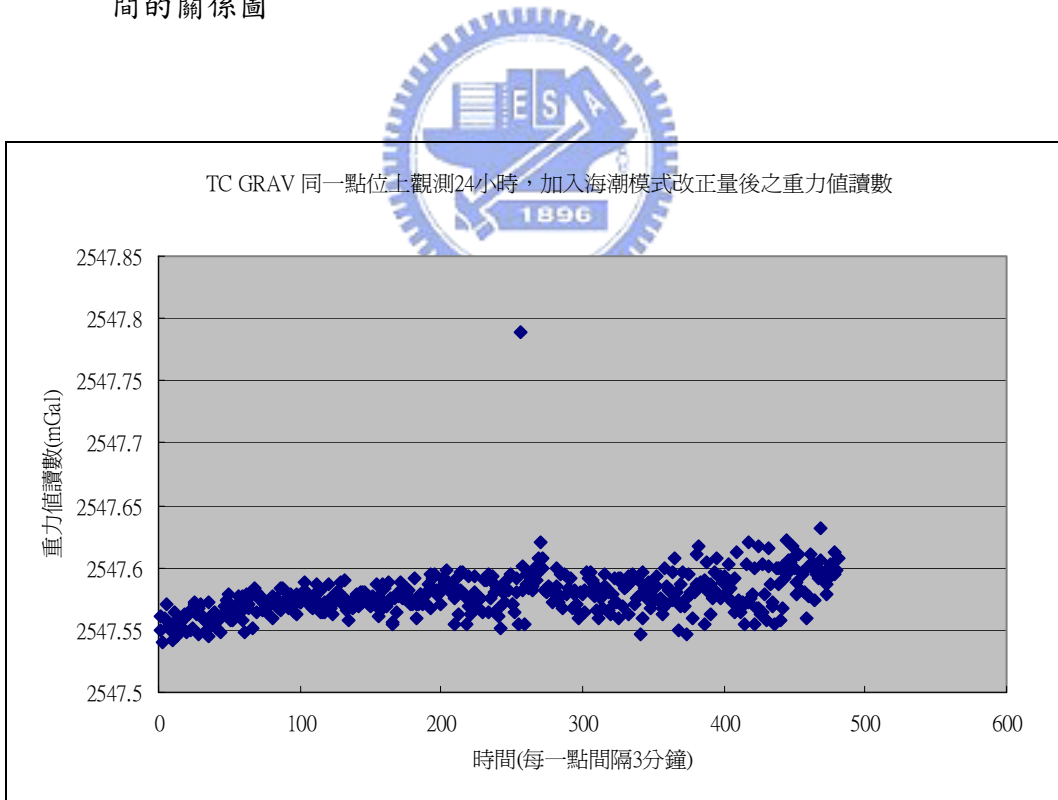


圖 5-3 同一點位上觀測 24 小時，加入潮汐之改正量後，改正過後的重力讀數值與時間的關係圖

由圖 5-3 我們可看出來，每個不同時間的重力觀測讀數加入潮汐改正量後，整個重力值即會約略呈現一個線性的趨勢，觀測時間愈久，偏離第一個觀測讀數的量就會愈大，與我們之前提到的重力漂移理論相符合。

GravitonEG 相對重力儀在連續觀測 24 小時，該儀器觀測讀數之單位權中誤差約為  $18 \mu\text{Gal}$ ，與製造廠商所宣稱  $20 \mu\text{Gal}$  的觀測精度相去不遠。另外，經由一階線性計算重力漂移改正量後，改正後的讀數之精度僅有  $0.3 \mu\text{Gal}$ ，相差量非常小，但是在平均值上卻相差到  $31 \mu\text{Gal}$  很大，證明了在長時間觀測重力儀的漂移量改正影響不可不注意。

表 5-5 室內 24 小時觀測重力值讀數之成果(單位：mGal)

點位	讀數平均值	漂移改正後之 讀數平均值	單位權中誤差	24 小時之 重力漂移量	漂移改正後 單位權中誤差
交通大學土木系儀器室	2547.5782	2547.5492	0.0179	-0.058	0.0182

## 5-3 戶外閉合環線之觀測

### 5-3.1 單向閉合環線

在實驗(3)的觀測中，我們觀測的路線為：

工研院(ITRI)→1039→X028→D037→D040→工研院，

觀測後，針對時間漂移量加以修正完後進行最小約制平差，成果如表 5-6 與表 5-7。由於該觀測路線之閉合差值僅有  $-0.0003\text{mGal}$ ，每個觀測量之改正數值均相當的小，平差後得到之觀測中誤差表面上看起來也相當的好，但是可信度卻因為僅進行一次單向觀測，重複觀測量數目只有 1 個而大大的降低。

表 5-6 單向閉合觀測之平差成果

觀測量	必要觀測數	多餘觀測量	平差後觀測量之中誤差	閉合差
6	5	1	趨近 0	-0.0003

表 5-7 單向閉合觀測平差後之各點重力值

點位	平差後各點位之重力值
ITRI	0
1039	5.9123
X028	8.4255
D037	18.9916
D040	11.9704

### 5-3.2 往、返、往重複觀測閉合環線

在往、返、往的觀測中，我們的路線為：

工研院(ITRI)→1039→ITRI→1039→

X028→1039→X028→D037→X028→D037→ITRI→D037→ITRI

假設為等權觀測，起始點為零基準點，做最小約制平差。

平差的時候，我們分為下列幾種 case。

CASE1、使用全部的 TC\_GRAV(儀器記錄，已經過潮汐改正之讀數)資料。

CASE2、使用全部的 TC\_GRAV 資料，並且經過一階計算重力漂移量的改正。

CASE3、同 case1，但剔除粗差資料。

CASE4、同 case2，剔除粗差資料。

CASE5、將測線分為以下四段閉和環線，依每一段得到之 TC\_GRAV 重力讀數組成

觀測量，進行平差。

◆ 工研院(ITRI)→1039→ITRI→1039



◆ 1039→X028→1039→X028

◆ X028→D037→X028→D037

◆ D037→ITRI→D037→ITRI

CASE6、同 case5，但所使用的讀數數據，需要先依照每一段環線之閉合時間重新計算觀測讀數之漂移量後，再進行平差。

CASE1 到 CASE4 中平差後各點之重力值與成果如表 5-8 所示，可見到在平差之後，每個 case 中計算各點位之重力值，在點位 D037 中有別除掉粗差與沒有別除掉的情況下會產生較大的影響量，其餘的點位兩差異量最大約 0.003mGal。顯示我們所使用的資料處理方式，在沒有包含粗差時，對重力值的影響量並不大。但是在有粗差量存在時，會影響該點位之重力值平差結果。

而由表 5-7 與表 5-8 的比較，在點位 X028，單向觀測與重複觀測之重力值相差約 0.040mGal，在點位 D037 相差約 0.100mGal，驗證了單向觀測不易檢驗錯誤而使得單向觀測之可靠性易受質疑，故一般不建議使用單向觀測之方式。

表 5-8 四種不同資料處理方法後整體平差之成果比較表

單位：mGal	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
ITRI 重力值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1039 重力值	5.9154	5.9156	5.9168	5.9165
X028 重力值	8.3803	8.3805	8.3830	8.3825
D037 重力值 (誤差來源最大之點位)	18.9066	18.9068	18.8718	18.8716
單位權中誤差	0.0314	0.0319	0.0157	0.0150
最大改正數絕對值	0.0525	0.0565	0.0229	0.0244
改正數絕對值之平均值	0.0231	0.0233	0.0113	0.0110

此外，由表 5-8 也顯示了在觀測量的單位權中誤差中，有拿掉粗差的成果較佳。但是在加入一階計算時間漂移的改正量後，對於整體的平差成果並沒有顯著提昇，甚至在 CASE2 中，單位權中誤差還比 CASE1 來得大。追究其原因，可能是由於在計算時間漂移量時，若到用來做漂移量計算的起始、結尾點的觀測量差異太大，會造成在計算漂移量的值的時候，此項改正量值偏大、改正不當。剔除掉粗差後，儀器觀測的單位權中誤差在 0.015mGal 左右。

表 5-9 分段進行平差之成果表(一)。括弧內之值表示剔除掉粗差後的平差成果(Case5)。

單位：mGal	第 1 段	第 2 段	第 3 段	第 4 段
ITRI 重力值	0.0000			-18.8915 (-18.8662)
1039 重力值	5.9172	0.0000		
X028 重力值		2.4700	0.0000	
D037 重力值 (誤差來源最大之點位)			10.5203 (10.4846)	0.0000
單位權中誤差	0.0143	0.0096	0.0290 (0.0065)	0.0355 (0.0129)

由表 5-9 顯示，分段進行平差的資料處理方式中，各段觀測之單位權中誤差值約在 0.006~0.015mGal 之間(扣除粗差量後)。加入時間漂移量的改正後成果如表 5-10，經比較後，兩個 Case 求得之重力值的差最大在 0.009mGal，但是在觀測的單位權中誤差方面，因為我們加入重力漂移改正量反而增大。這個結果顯示，我們在分段進行的觀測中所進行的時間漂移改正量的計算上或許出現了問題，很可能是由於在短時間內，理論上相對重力儀的漂移量應該很小，但若是用來計算改正量的觀測讀數若是偏差稍微大一點，則計算每一點之漂移改正量時可能就會大於理論上應有之改正量值，而產生錯估的情形。造成了「加入漂移改正」

之觀測精度反而比沒加入此項改正的精度差的假像。

表 5-10 分段進行平差之成果表(二)。與成果(一)不同在於成果(二)依照每一段之觀測時間重新計算觀測讀數之漂移量。括弧內之值表示剔除掉粗差後的平差成果(Case6)。

單位：mGal	第 1 段	第 2 段	第 3 段	第 4 段
ITRI 重力值	0.0000			-18.9677 (-18.8643)
1039 重力值	5.9062	0.0000		
X028 重力值		2.4710	0.0000	
D037 重力值 (誤差來源最大之點位)			10.5213 (10.4855)	0.0000
單位權中誤差	0.0196	0.0102	0.0284 (0.0077)	0.0825 (0.0173)

拿掉粗差後，將分段進行平差後累加而得各點位之重力值與先前整個測線進行平差後得到的重力值做比較，可由表 5-11 得知，在這四個對觀測資料處理方式不同的 Case 中，平差得到之重力值差異值，相差在 0.011mGal 內(主要誤差量在 1039 與 X028 兩點，推估其原因可能是由於在點位 1039 中有含誤差量較大，但又未達剔除標準之觀測讀數)。

表 5-11 由整段資料進行平差與分段進行平差後重力值之比較(均以工研院 ITRI 絕對重力點之附點為零基準點，且均拿掉粗差觀測量)。

單位：mGal	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6
ITRI 重力值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1039 重力值	5.9168	5.9165	5.9172	5.9062
X028 重力值	8.3830	8.3825	8.3870	8.3772
D037 重力值	18.8718	18.8716	18.8716	18.8718

#### 5-4 不同觀測條件下使用不同容忍值參數之差別

在實驗(3)、(4)的重復閉合環線觀測中，我們在每一點位，每一次觀測均使用 Low、Medium、High 三種不同程度的定平容忍值參數來進行讀數。我們將在各點位上使用同樣參數的資料截取下來，組成三條使用不同參數(Low、Medium、High)重複往、返、往觀測的閉合環線。

針對三條使用不同參數的環線，我們分別以最小約制平差後，得到如表 5-12 之成果。由該表中得知，拿掉粗差觀測量，平差後的重力值呈現大小不一的差異量，兩兩間相差值約在 0.020mGal 左右。但是在與前面 Case3 與 Case4 平差後的重力值比較下，發現與 medium 的設定的平差成果較為接近。

表 5-12 不同定平容忍值參數重複觀測閉合環線之整段平差成果比較(括號內為拿掉粗差觀測量後的平差成果)。

單位：mGal	LOW	MEDIUM	HIGH
ITRI 重力值	0.0000	0.0000	0.0000
1039 重力值	5.9242 (5.8946 )	5.9265	5.8953 (5.9319 )
X028 重力值	8.4245 (8.3651 )	8.3899	8.3266 (8.3996)
D037 重力值 (誤差來源最大之點位)	18.9423 (18.8533 )	18.8697	18.9079 (18.8714 )
單位權中誤差	0.0601 (0.0090 )	0.0202	0.0753 (0.0208 )
最大改正數絕對值	0.1001 (0.0146 )	0.0480	0.1134 (0.03047)
改正數絕對值之平均值	0.0434 (0.0061)	0.0114	0.0552 (0.0141)

此外，在這三種不同的設定下，以 medium 的設定亦顯示出較能符合不同點

位之觀測條件，並無較大的粗差量出現，其他兩個設定分別在 D037 點位均有較大的粗差量。不過，在拿掉粗差後，平差後儀器觀測的單位權中誤差，即呈現容忍值較高者，改正數之絕對值取平均、單位權中誤差都會較大一些。

最後，我們計算在每一個觀測點位上，在不同時間使用相同參數的重複觀測量，計算其單位權中誤差，成果如表 5-13 所示。基本上，此項成果並非如預期想像中的有規律，只在在點位 X028，位於一個較遠離車道、較平穩的觀測條件下，隨著容忍值設定的由高至低而呈現由大至小的單位權中誤差量值。而原先認定會較無干擾條件的 ITRI 點位，由於觀測當日在距離觀測點位不到十公尺內有冷卻水塔的以及灑水器的使用，或許也造成了觀測環境件的不穩定，而使得觀測精度呈現較雜亂的跳動。

表 5-13 使用不同定平容忍值在不同觀測環境(點位)下之重複觀測讀數之單位權中誤差。(讀數 1 含潮汐改正量之讀數，讀數 2 為包括潮汐改正與重力漂移改正之讀數)

單位 mGal	儀器記錄 RMS 偏高觀 測量數目	剔除之 粗差數	Low		Medium		High	
			讀數 1	讀數 2	讀數 1	讀數 2	讀數 1	讀數 2
ITRI	0	0	0.0165	0.0127	0.0108	0.0116	0.0245	0.0074
1039	0	0	0.0010	0.0063	0.0286	0.0330	0.0240	0.0297
X028	0	0	0.0087	0.0055	0.0184	0.0126	0.0252	0.0196
D037	5	2	0.1028	0.0969	0.0240	0.0173	0.1116	0.1167

至於在三角分隔島、中央分隔島的點位 1039 與 D037 的部分，兩點使用 Low 選項時，都出現了粗差量，而且在 D037 點位觀測讀數的標準偏差值也相當大，雖然在 1039 點位的觀測精度呈現相當高的精度，但是因為使用 Midem 及 High 在同一點觀測時並沒有呈現現與點位 X028 點位相同之趨勢，故我們不採信此欄

數據顯示之資訊。

而設定在 High 的定平容忍值，由於所得到之單位權中誤差都呈現較大的現象，故也不考慮。基本上，在這麼混亂的觀測條件下，使用 medium 的設定，仍可達到約 0.030mGal 的觀測讀數精度；而且在此設定下沒有出現粗差量，表示使用此設定值，即使在較惡劣的背景條件下，仍然較正確的進行觀測讀數，因此這是目前在此觀測條件下較能接受的一種設定方法。



## 第六章 結論與建議

### 6-1 本研究之結論

本研究針對 GravitonEG 相對重力儀，深入說明其儀器之各項功能之使用方法，並且解釋該儀器與各項參數的設定方式與代表意義，期能對未來國內該儀器的使用者有所助益。

而經過第四章中提及的多項的實驗測試與第五章的分析之後，我們可以得到以下成果與結論：

- 1、 觀測時間與所搭配之過濾濾波長度的比值若是過大，會令觀測讀數的標準偏差過大，且在同一點重複觀測時，較長的觀測時間並不一定保證有較佳的觀測精度。因此建議使用時，「觀測時間：過濾濾波長度」之比值勿過大，可採用三分鐘的觀測時間搭配 30 秒的濾波長度，可令重複觀測精度在 0.005mGal 左右。
- 2、 有關定平容忍值(Level Noise)的設定，為了因應不同的觀測環境，使用 GravitonEG 相對重力儀進行可靠之觀測時，建議啟動儀器對自動對定平所需改正功能，並將定平容忍值設為 medium，除非是在室內絕佳的觀測條件下，否則不建議使用 low 的設定值。High 的設定值觀測之單位權中誤普遍偏大，故不建議使用。
- 3、 經過在室內連續 24 小時的觀測，得到儀器針重力值讀數所提供的潮汐改正量與時間的關係圖，由改正後的重力值來看，經由該模式改正後，重力值讀


數趨向一穩定，線性微幅增加的走勢(微幅增加的量為重力儀漂移之關係)，表示該改正模式可適用於台灣地區(單位權中誤差為 0.018mGal 左右)相對重力測量之重力值改正使用。

- 4、本文中於室內連續 24 小時的觀測時間漂移量為 0.052mGal。該儀器的重力漂移率為 0.002166mGal/hr(使用一階線性計算方法)。在精度要求較高的觀測時，需要注意觀測時間與漂移量的計算。
- 5、由資料處理過程中可知道重力漂移的計算需特別小心，不當的改正反而會造成觀測品質的下降。要避免過大的誤差量隱常在計算改正量的讀數值中，可以對用來計算漂移量的點位重複、長時間觀測，加以確保。儀器觀測後下載的檔案中，若是資料欄中「RMS」欄位的值異常偏高的話，需要留意該次觀測的讀數值可能包含粗差。





## 6-2 後續研究之建議

- 1、 在本研究中有關觀測時間與所搭配濾波長度時間的實驗中，由於每一項目所進行的重複觀測次數並不多，所以基本上看出來的只是儀器的一個基本性質，或許能定性，若想要定量，仍需經過多次的測試之後，才能有較明確的結果。
- 2、 有關 GravitonEG 相對重力儀，在資料取樣時所採用的低通過濾器(FIR low-pass filter)，這是一種資料的處理的方式，跟儀器內可設定的過濾器時間長度(Filter length)有關，建議後續使用者可針對這種資料處理的方法，經由理論值與實際測試，來研研最佳的儀器觀測時間與過濾器長度的相關設定值。
- 3、 利用此儀器長時間、高精度觀測潮汐改正量值，配合絕對重力儀，可以進行各種有關潮汐改正量的研究。
- 4、 由於 GravitonEG 相對重力儀的引進，未來幾年內，國內的重力測量可預見將會蓬勃展開多項施測工作，屆時，新舊儀器施測成果之比較、GravitonEG 相對重力儀之精度評估測試、加入 GravitonEG 相對重力儀觀測成果後的台灣地區重力值變化與相關的數值影響等，都是可供研究的課題。
- 5、 由國內引進的絕對重力儀，可施測絕對重力值。可參考國外資料，研究如何建立相對重力儀的校準基線與儀器校正之標準作業程序。

## 參考文獻

〈依本文中出現之先後次序〉

- [1] 郭重言，台灣重力網平差及重力資料應用，國立交通大學碩士論文，1998 年。
- [2] 黃金維，陳春盛，李振燾，一等一級水準點上實施重力測量工作報告書，內政部委託計畫，2001 年。
- [3] 陳春盛，高書屏，李振燾，一等二級水準點上實施重力測量工作報告書，內政部委託計畫，2003 年。
- [4] 北京云电英纳超导电缆有限公司首頁，超導技術應用  
<http://www.innower.com/superworld/w04.htm>，2004 年
- [5] 孫和平，重力場的時間變化與地球動力學，中國科學院院刊，2004 年。
- [6] 曾子青，應用GPS於大型儲槽最佳變形模式之研究，國立交通大學碩士論文，2002 年。
- [7] Heiskanen, W., and H. Moritz, Physical Geodesy, Institute of Physical Geodesy, Tech. University of Graz, Austria, 1985.
- [8] 陳春盛，研訂絕對重力測量及一、二等重力測量規範草案，內政部委託計畫，2002 年。
- [9] LaCoste & Romberg公司首頁，The New Standard in Land Gravity Meters  
<http://www.lacosteromberg.com/gravitymeters.htm>，2003 年。
- [10] LaCoste & Romberg LLC.，Graviton-EG user' s manual(revision 1.8)，2002 年。
- [11] 聯合勤務總司令部，重力測量作業手冊，1997 年。
- [12] 陳春盛，研訂絕對重力測量及一、二等重力測量規範工作成果總報告書，內政部委託計畫，2002 年。
- [13] 楊豐瑜，以不同類型的相對重力儀進行相對重力梯度量測的比較，工研院技術報告，2002 年。

- [14] 陳南松，地球固體潮與海潮負載對台灣地區衛星追蹤站坐標與重力之影響，國立交通大學碩士論文，2003 年。
- [15] Torge, W. Gravimetry, Walter de Gruyter Berlin, New York, 1989.
- [16] Krieg, L.A. Mathematical modeling of the behavior of the LaCoste and Romberg "G" gravity meter for use in gravity network adjustments and data analyses. Rep. No.321, Ohio State Univ., Columbus, 1981.
- [17] Jiang Z., C. Zuo, Q. Qiu, and S. Xu, China gravity basic net 1985, Scientia Sinica (Series B), 31 (9), 1143-1152, 1988.



## 附錄 A、各種影響重力之環境因素的影響量值表

影響重力值的因素	影響量(台灣地區而言)
1、日月潮位引力產生之重力變化	最大值約為 0.3 m Gal
2、海潮質量引起之重力變化	由台中港驗潮站處所感受到的海潮引起之重力變化，可達 0.02 m Gal
3、海洋負荷潮汐改正	通常在 $\pm 8 \mu Gal$ 之內。
4、壓力引起之重力變化	若觀測兩站時壓力差為 10hPa，則此兩站相對重力值由壓力引起之誤差為 $3 \mu Gal$ 。
5、極移引起之重力變化改正	自 IERS(國際地球自轉服務)取得之資料，而計算得之改正數量級為數 $\mu Gal$ ，且變化緩慢。
6、地下水影響(潛水與承壓水兩類)	1、潛水的影響量約為數 $\mu Gal$ 2、在地面沉降比較嚴重的地區，會達到數十個 $\mu Gal$ 以上。

由表中的影響量值，可根據儀器精度，決定那些是必要改正量，那些可省略不改正。

附錄 B. 實驗(1)之觀測原始數據

EG-1184			RAW	TC	RMSERR	TIDE
	DATE	TIME	GRAV	GRAV		
3M30F	17-Jun-04	10:43:15	2547.49	2547.409	0.454	0.081
3M30F	17-Jun-04	10:46:47	2547.496	2547.414	0.455	0.081
3M30F	17-Jun-04	10:49:58	2547.486	2547.406	0.325	0.081
5M30F	17-Jun-04	10:57:33	2547.577	2547.497	0.264	0.08
5M30F	17-Jun-04	11:02:58	2547.573	2547.494	0.358	0.079
5M30F	17-Jun-04	11:08:09	2547.55	2547.471	0.396	0.078
10M30F	17-Jun-04	11:20:02	2547.579	2547.503	0.442	0.076
10M30F	17-Jun-04	11:30:24	2547.608	2547.535	0.401	0.073
10M30F	17-Jun-04	11:40:34	2547.579	2547.509	0.333	0.07
3M60F	17-Jun-04	11:53:13	2547.553	2547.487	0.416	0.065
3M60F	17-Jun-04	11:56:13	2547.538	2547.474	0.384	0.064
5M60F	17-Jun-04	12:05:12	2547.569	2547.509	0.282	0.061
5M60F	17-Jun-04	12:10:12	2547.566	2547.507	0.319	0.059
5M60F	17-Jun-04	12:15:12	2547.579	2547.523	0.483	0.057
5M60F	17-Jun-04	12:20:12	2547.555	2547.501	0.332	0.054
10M60F	17-Jun-04	12:34:33	2547.551	2547.503	0.37	0.048
10M60F	17-Jun-04	12:44:34	2547.557	2547.514	0.427	0.043
10M60F	17-Jun-04	12:54:34	2547.53	2547.492	0.38	0.038
10M60F	17-Jun-04	13:04:33	2547.52	2547.486	0.401	0.033
3M2M	17-Jun-04	13:12:50	2547.543	2547.514	0.331	0.029
3M2M	17-Jun-04	13:15:50	2547.537	2547.509	0.357	0.028
3M2M	17-Jun-04	13:18:50	2547.535	2547.509	0.364	0.026
3M2M	17-Jun-04	13:21:50	2547.54	2547.515	0.409	0.025
3M2M	17-Jun-04	13:24:50	2547.528	2547.505	0.488	0.024
5M2M	17-Jun-04	13:33:38	2547.527	2547.508	0.313	0.019
5M2M	17-Jun-04	13:38:38	2547.525	2547.508	0.335	0.017
5M2M	17-Jun-04	13:43:38	2547.507	2547.492	0.326	0.015
10M2M	17-Jun-04	13:58:10	2547.508	2547.5	0.369	0.008
10M2M	17-Jun-04	14:08:11	2547.502	2547.498	0.41	0.004
10M2M	17-Jun-04	14:18:10	2547.514	2547.513	0.454	0
10M2M	17-Jun-04	14:28:10	2547.513	2547.517	0.346	-0.003
3M10F	17-Jun-04	14:48:47	2547.464	2547.474	0.25	-0.01
3M10F	17-Jun-04	14:51:47	2547.484	2547.495	0.259	-0.01
3M10F	17-Jun-04	14:54:46	2547.493	2547.504	0.349	-0.011

5M10F	17-Jun-04	15:02:15	2547.52	2547.533	0.307	-0.013
5M10F	17-Jun-04	15:07:15	2547.51	2547.524	0.254	-0.014
5M10F	17-Jun-04	15:12:15	2547.459	2547.474	0.228	-0.015
5M10F	17-Jun-04	15:17:15	2547.506	2547.521	0.282	-0.016
5M10F	17-Jun-04	15:22:15	2547.49	2547.507	0.286	-0.016
5M10F	17-Jun-04	15:27:15	2547.449	2547.466	0.331	-0.017
10M10F	17-Jun-04	15:38:54	2547.483	2547.501	0.279	-0.018
10M10F	17-Jun-04	15:48:54	2547.53	2547.548	0.38	-0.018
10M10F2	17-Jun-04	16:05:14	2547.454	2547.472	0.561	-0.018
L3M30F	17-Jun-04	16:34:03	2547.471	2547.485	0.3	-0.014
L3M30F	17-Jun-04	16:37:03	2547.462	2547.476	0.288	-0.013
L3M30F	17-Jun-04	16:40:02	2547.479	2547.492	0.38	-0.013
L3M30F	17-Jun-04	16:43:03	2547.486	2547.498	0.362	-0.012
L3M30F	17-Jun-04	16:46:03	2547.512	2547.523	0.37	-0.011
L60S10F	17-Jun-04	16:52:08	2547.495	2547.505	0.299	-0.01
L60S10F	17-Jun-04	16:53:08	2547.502	2547.512	0.335	-0.009
L60S10F	17-Jun-04	16:54:08	2547.466	2547.475	0.293	-0.009
L60S10F	17-Jun-04	16:55:08	2547.457	2547.466	0.397	-0.009
L60S10F	17-Jun-04	16:56:08	2547.484	2547.492	0.243	-0.009
3M60F	17-Jun-04	17:02:05	2547.49	2547.496	0.329	-0.007
3M60F	17-Jun-04	17:05:05	2547.495	2547.501	0.397	-0.006
3M60F	17-Jun-04	17:08:05	2547.518	2547.523	0.332	-0.005



附錄 C. 實驗(3)、(4)之觀測原始數據

EG-1184	DATE	TIME	RAW GRAV	TC GRAV	RMSERR	TIDE
NCTU	18-Jun-04	00:34:14	2547.517	2547.55	0.295	-0.033
NCTU	18-Jun-04	00:40:56	2547.498	2547.538	0.216	-0.039
NCTU	18-Jun-04	00:44:06	2547.494	2547.536	0.323	-0.042
ITRI	18-Jun-04	01:17:20	2556.631	2556.705	0.399	-0.073
ITRI	18-Jun-04	01:21:33	2556.631	2556.708	0.212	-0.077
ITRI	18-Jun-04	01:24:43	2556.633	2556.713	0.287	-0.08
1039	18-Jun-04	01:52:32	2562.515	2562.619	0.369	-0.104
X028	18-Jun-04	02:12:37	2565.011	2565.131	0.387	-0.12
D037	18-Jun-04	02:38:33	2575.744	2575.881	7.364	-0.137
D037	18-Jun-04	02:43:18	2575.453	2575.593	1.171	-0.14
D037	18-Jun-04	02:46:28	2575.47	2575.612	1.05	-0.142
D040	18-Jun-04	03:12:08	2568.892	2569.046	0.325	-0.154
D040	18-Jun-04	03:16:17	2568.895	2569.051	0.306	-0.156
D040	18-Jun-04	03:19:28	2567.762	2567.919	8.453	-0.157
ITRI	18-Jun-04	03:56:41	2556.521	2556.687	0.307	-0.165
ITRI	18-Jun-04	04:00:46	2556.538	2556.704	0.394	-0.166
ITRI	18-Jun-04	04:03:56	2556.539	2556.705	0.319	-0.166
NCTU	18-Jun-04	04:59:30	2547.379	2547.534	0.295	-0.156
NCTU	18-Jun-04	05:02:41	2547.365	2547.519	0.283	-0.154
NCTU	18-Jun-04	05:05:51	2547.37	2547.523	0.221	-0.153
NCTU	18-Jun-04	05:09:02	2547.381	2547.533	0.257	-0.152
NCTU	18-Jun-04	05:12:13	2547.373	2547.523	0.27	-0.15
NCTU	18-Jun-04	05:15:23	2547.384	2547.532	0.166	-0.149
NCTU	18-Jun-04	05:18:34	2547.378	2547.525	0.257	-0.147
NCTU	18-Jun-04	05:21:45	2547.379	2547.524	0.195	-0.146
NCTU	18-Jun-04	05:24:55	2547.395	2547.539	0.3	-0.144
NCTU	18-Jun-04	05:28:05	2547.382	2547.524	0.255	-0.142
ITRI	18-Jun-04	06:17:22	2556.613	2556.721	0.263	-0.108
ITRI	18-Jun-04	06:22:20	2556.622	2556.726	0.29	-0.104
ITRI	18-Jun-04	06:34:13	2556.613	2556.707	0.182	-0.094
1039	18-Jun-04	06:57:57	2562.562	2562.634	0.291	-0.073
1496	18-Jun-04	07:02:05	2562.61	2562.679	0.261	-0.069
1496	18-Jun-04	07:06:14	2562.595	2562.66	0.213	-0.065
ITRI	18-Jun-04	07:24:51	2556.696	2556.744	0.284	-0.048

1496	18-Jun-04	07:29:47	2556.703	2556.745	0.391	-0.043
1496	18-Jun-04	07:34:07	2556.685	2556.724	0.249	-0.039
1039	18-Jun-04	07:51:52	2562.613	2562.635	0.347	-0.022
1496	18-Jun-04	07:55:58	2562.607	2562.626	0.323	-0.019
1496	18-Jun-04	08:00:46	2562.621	2562.636	0.371	-0.014
X082	18-Jun-04	08:23:28	2565.108	2565.102	0.289	0.006
1496	18-Jun-04	08:28:42	2565.097	2565.087	0.164	0.01
1496	18-Jun-04	08:34:02	2565.092	2565.078	0.258	0.015
1039	18-Jun-04	08:53:00	2562.663	2562.633	0.237	0.029
1496	18-Jun-04	08:56:55	2562.667	2562.634	0.263	0.032
1496	18-Jun-04	09:01:06	2562.647	2562.612	0.311	0.035
X028	18-Jun-04	09:21:56	2565.167	2565.118	0.235	0.049
1496	18-Jun-04	09:26:27	2565.149	2565.098	0.295	0.052
1496	18-Jun-04	09:30:33	2565.167	2565.113	0.274	0.054
D037	18-Jun-04	09:54:46	2575.676	2575.61	1.021	0.066
1496	18-Jun-04	09:59:15	2575.651	2575.583	1.902	0.068
1496	18-Jun-04	10:03:35	2575.88	2575.811	3.954	0.069
X028	18-Jun-04	10:26:32	2565.193	2565.116	0.262	0.077
1496	18-Jun-04	10:30:46	2565.2	2565.123	0.341	0.078
1496	18-Jun-04	10:34:51	2565.205	2565.127	0.287	0.078
D037	18-Jun-04	10:55:43	2575.685	2575.604	1.4	0.081
1496	18-Jun-04	10:59:53	2575.686	2575.605	0.568	0.081
1496	18-Jun-04	11:03:47	2575.685	2575.604	0.445	0.081
ITRI	18-Jun-04	11:32:54	2556.84	2556.761	0.242	0.079
1496	18-Jun-04	11:37:59	2556.826	2556.748	0.249	0.079
1496	18-Jun-04	11:43:05	2556.831	2556.753	0.321	0.078
D037	18-Jun-04	12:11:26	2575.856	2575.785	9.189	0.071
1496	18-Jun-04	12:15:36	2575.7	2575.631	0.423	0.069
1496	18-Jun-04	12:19:44	2575.703	2575.635	0.409	0.068
ITRI	18-Jun-04	12:46:05	2556.803	2556.745	0.309	0.058
1496	18-Jun-04	12:51:12	2556.804	2556.749	0.407	0.056
1496	18-Jun-04	12:55:48	2556.813	2556.759	0.423	0.054



## 附錄 D. 有關 GravitonEG 儀器使用之相關問答集

以下是王弘基學長(交通大學空間資訊組博士班)與 Lacoste 公司原廠所進行有關 GRAVITON-EG 的一些問答：

1、We know that the Graviton-EG collect and record gravity data at different time stamps, like 1 record in 30 sec, 1 minute and so on.

Does the meter collecting data all the time? Do you know what is the algorithm of filtering the data to get the right gravity data we want?

我們知道 Graviton-Eg 會在不同的時間間隔採集並記錄重力資料，像是 30 秒一筆，或是 1 分鐘一筆等等。

試問：儀器是隨時隨地都在採集資料嗎？請問你們知道儀器是使用什麼樣的「filtering」演算法來過濾、取得我們想要的正確重力值資料呢

答：EG meter has a number of user selectable filter lengths - from 1 second to two minutes. All filters are digital FIR low pass filters. There are also user selectable reading lengths from 2 seconds to 10 minutes. In AUTO mode it just records 1 reading and stops. In EXPERT mode it can be set to keep reading/recording data until you stop it. In normal field use a one minute filter with either a 2 min or 3 minute record is adequate.

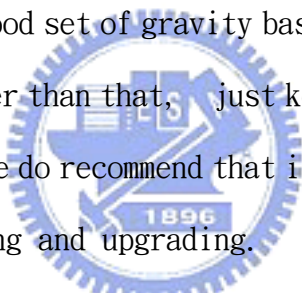
EG 有很多供使用者選擇的過濾長度(filter lengths)，從 1 秒到 2 分鐘不等。所有的過濾都是數位的 FIR 低通過濾器。這些也都是使用者可選擇的讀數長度(從 2 秒到 10 分鐘)。在自動模式下，儀器只會記錄 1 個讀數就停止了；在專家模式中，儀器可以被設定為持續讀數或是在我們按下 STOP 之後才記錄讀數資

料。在一般的野外量測中我們會採用 1 分鐘的過濾器配合 2 分鐘或是 3 分鐘的觀測時間。

2. Do we have to perform any calibration steps or how long for us to send it back to have a throughly test of its function?

我們需要執行任何的率定步驟嗎？ 或者是我們多久要送回貴公司做儀器功能徹底的檢校測試？

答：The only standard user calibration is to check the level settings before the start of a survey or every six months. Some users check the calibration of gravity every couple of years - this can only be done if you have access to known good set of gravity base stations that are between 20 and 50 mGals apart. Other than that, just keep using it until the meter starts to have problems! We do recommend that it be returned to the factory every 5 years for cleaning and upgrading.



一般的使用者做的率定只有：在每個測量作業開始時或是每六個月檢查一次水平裝置。有些使用者會在每隔幾年後做重力儀的率定，然而這項工作必需有兩個已知重力差值在 20 到 50mGal 之間及良好重力基準點才能完成。除此之外，持續使用它，直到儀器開始產生問題吧！我們建議每五年要送回原廠一次，做清潔保養與軟體昇級的步驟。

3. Do we have to pre-heat the meter? How long will it take for pre-heating the meter if after a long time unused?

我們必需預熱該儀器嗎？ 如果長時間沒使用該儀器，我們需要花多少時間來預熱機器呢？

答：All relative gravity meters perform better if they are keep on power (heat) AT ALL TIMES! The only time I would not have the meter on power (heat) is when the meter is being shipped. At all times in storage the meter should be on power! We recommend that if you are transporting the meter by car that you keep it plugged in even in the car- a power adapter is provided to do this with the EG meter. Storing the meter on heat makes drift decrease with time. As far as I know this is true for all heated gravity meters. If you do have to ship the meter to a survey off of power then I recommend 48 hours warm-up. People do use meters after only 24 hours but drift is much higher.

所有的相對動力儀如果在隨時隨地都接上電源(加熱)的情況下會有比較好的量測成果。我只有在貨運的時候，才會讓儀器沒有接上電源(沒有加熱)。在存放儀器的任何時候，儀器都必需要接上電源!!我們建議您，如果您在使用汽車搬運儀器，甚至也都要接上電源(有適當的電源轉接器提供EG使用)。貯放儀器時加熱可以令時間漂移的影響隨時間增長而降低，就我所知，這對所有的重力儀都是這樣的。如果您必需搬運儀器去一個遠離電源的地方做測量，那我建議你要暖機48個小時。有些人只有暖機24個小時就使用儀器，不過漂移量會大得許多。

4. In earlier question 1: "What is the algorithm of filtering the data to get the right gravity data we want? " Like we use a five minute record, the value we get is an average value of gravity or what else?

稍早的問題1中提到：過濾資料來取得我們所需正確的重力資料是使用何種演算方式？比如說我使用一個五分鐘的記錄，我們得到的這個值是一個重力讀數的平均值或是有其他的意義？

答：It is not the average value of gravity, it is the output of a FIR low pass filter. The biggest filter possible right now is 2 minutes (in SETUP tab screen near bottom). So you do not gain by increasing the timeout to more than 3 minutes (to 5 minutes), it just increases the time between the data samples that are recorded.

這個值並不是重力的平均值，這是一個經由 FIR 低通過濾器過濾的輸出值。這個最大的過濾器現在只能設定在 2 分鐘而已。所以你無法因為增加觀測時間至超過三分鐘(到五分鐘)而得到改善。這只會增加被記錄下的資料被取樣的時間間隔。

5. This meter is auto-leveling, but where is the bench-point for us to measure the height from the ground point? Is that the bottom of the meter?

這儀器是會自動水平的，但是請問一下那邊是我們在從地面量儀器高時需要量到儀器的那一個地方呢？是量到儀器的底部嗎？

答：感應器的位置，如同在附加的兩張圖中所表示(從不同視角)。

6. In your spec. "In controlled conditions: 0.001 mGal

In field conditions: 0.003 to 0.020 mGal

(Repeatibility depends completely on care in

handling meter)" . How can we get such high precision in real survey situation or environment?

在貴公司手冊中提到這部儀器的精度：

In controlled conditions: 0.001 mGal

In field conditions: 0.003 to 0.020 mGal

我們要在什麼樣的量測環境或是情形下才能得到如此高的精度呢？

答："In controlled conditions"通常指的是在一個室內，沒有風或是其他環境氣象問題的穩固混擬土地面。以下是一些可以用來改善儀器量測精度與重複性的方法：

1. Protect meter from wind.

避免風的影響。

2. Carry meter very carefully between stations - do not bump it.

在站與站之間移動時，小心的搬運-不要碰撞。

3. Carry meter upright - do not tip to one side.

垂直的拿起儀器-不要傾斜某一邊。

4. Do lots of repeats to measure short term drift, increase accuracy, and isolate "tares" (sudden jumps in meter gravity).

做夠多的重複觀測來估算短期間的時間漂移、增加精度並且可剔除掉不良的觀測值。

5. Do multiple base ties in one day to measure longer term drift.

在同一天內做多樣的基線觀測，以量測長期的時間漂移。

6. Use small station spacing – you will never get microGal accuracy over kilometer spaced stations.

把觀測站的距離縮小-在超過一公里的站之間，我們不可能得到 microGal 級精度的觀測值。

7. Make sure meter stays on power (battery or external supply) and heat at all times before and during survey.

確保儀器持續在有電源的情況下(有電池或是外接電源)，並且在觀測前或是觀測時都有隨時保持在熱機的狀態。

8. Do accurate terrain corrections. In hilly or mountainous terrain this is by far the biggest source of errors.

做精確的地形改正。在多丘陵或是多山的地形，這顯然是最大的誤差來源!!



9. Use very accurate elevations for stations -- 1 cm error in height is 3 microGals!

使用精確的高程資訊提供給測站使用。1 公分的高程誤差會產生 3microGals 的影響。(1 公尺→0.3miniGals)


7. There are "Error" and "RMS Error" on the panel of the meter, what do these values stand for and what are the mathematical equations for these values?

儀器的面板顯示有「Error」與「RMS Error」，這此數據所代表的意義是什麼？而它們又是由何種數學計算式求得的？

答：Here is some information I prepared for another customer:

以下是一些我準備給其他顧客的資訊。

RMS Error: RMS Error is the RMS noise in one filter length of 1 second samples. This number can be used to give an estimate of the background seismic noise level where you are working. At L&R this number is usually between 0.015 and 0.045 mGals. In field testing at our calibration site this number can vary between 0.020 (no wind) and 0.080 (quite windy, but meter protected from direct wind) mGals. During large earthquakes (anywhere in the world) this RMS can get much bigger - up to 0.8 mGals. If this number gets over 0.1 mGals then you need to watch out and make sure the filter length you select can filter out the noise to make repeatable data.



RMS Error：這是在一個 1 秒取樣過濾時間長度的 RMS 雜訊值。  
這個數據能被用來估計你所在工作地點的背景震動雜訊。在原廠內，這個數據通常在 0.015 與 0.045mGals 之間。在我們的率定基站做的戶外測試中，這個值會因為環境因素不同而在 0.020(沒有風)與 0.080(有風，但是有做保護，沒有直接對著儀器影響)mGals 間變動。在全球某個地方有發生大地震的時候，這個值會變得大得許多，最大到 0.8mGal 左右。如果這個值超過了 0.1mGal 時，你就要注意一下，確定你所選用的過濾時間長度能夠過濾出雜訊，產生重複出現的數據資料。

Error: Error in this case is the difference in gravity values between two windows between 10 and 30 seconds in size (set at the bottom of the SETUP screen, "Error Window"). This is a measure of whether data in one reading is repeating well or not.

Error：這個 Error 值在 Graviton-EG 儀器中表示在相隔「Error Window」時間的兩筆儀器取樣資料的差值(可在 setup 模式中更改 Error Window 的長度，範圍由 10~30 秒)。這代表著：在測量時，是否每一次儀器的取樣都會很接近同一個讀數值。

Repeatability should be between 0.003 and 0.02 mGals in normal conditions. We can get 0.005 mGals repeatability on our calibration course with 2 stations about 1 mile apart. The meter is carried from the concrete pad to the vehicle and then driven up a hill to the next concrete pad where it is removed from the car and carried to actual pad. (We do shield the meter from the wind (this is very important in any survey!))

重複出現的這個差值(Error)，一般來說，應該會介於 0.003 ~ 0.02 mGals 之間。在原廠公司使用兩個相隔 1 英哩遠的測站進行率定的時候，能達到 0.005 mGals 的重複性。儀器由一個混凝土平台帶到一個運載工具上，然後行駛經過一座小山丘，到另外一個混凝土的平台，再被從運載工具上搬運到平台上放置。不論在任一種相對重力測量的過程中，確實的保護儀器不受風力影響是很重要的。

To get 0.003 mGals repeatability you would have to be prepared to be doing a microgravity survey- i.e.:

Stations close together, Little or no wind, Careful handling of meter between stations, Careful placement of the meter, Aligning meter in the same compass direction each station, Careful looping, and lots of repeated measurements.

而為了得到 0.003 mGals 的讀數重複性，使用者必需要有萬全的準備才能進行一個 micro 級精度的重力值量測，例如：使用相鄰很近兩個觀測站，再加上幾乎沒



有風的影響、小心的搬運儀器、放置儀器，儘量使儀器在每一個測站放置的方位角度相同並且細心的重複量測，就會常常重複出現相近的觀測值。

It would be unusual to get 0.003 mGals repeatability in normal field conditions with any gravity meter, 0.008 to 0.015 would be much more common.

在一般戶外的測量中，這個差值(Error)，介於 0.008 ~ 0.015 mGals 之間是較為合理的。若是都低於 0.003mGal 反而不大尋常。

8. What is the measuring range for this meter? That is, from 0m above sea level to the range height ?m above sea level?

請問這部儀器的量測範圍是？（從海平面零公尺起到海拔多高的地方？）

答：The measuring range for the meter is 0 to 7000 mGals which should be approximately the maximum gravity range located on the surface of the earth. It covers most mountains - I have heard that some meters won't read on very high mountains at the equator - but this is true on only the very highest one ( I think in South America?)

這部儀器的量測範圍(Range)在 0~7000mGals，非常接近在地表上最大之相對重力差值。和其他儀器比較下，GravitonEG 可以在大部分的山區進行觀測——曾經聽過有些儀器在赤道附近的高山上發生不能讀數的情況，但這只是在極高的山上才發生過的事情（也許是在南美洲的高山上吧？）。

9. Can you please write a flowchart of actual survey steps for operating the meter in field survey?

能請您寫一個提供在外業操作用的實際測量流程嗎？

答：This depends on what kind of survey you are performing! It really helps to talk to someone who has performed them before. Also locate some introductory geophysical textbooks that run through basic principles of gravity geophysics: Telford, Dobryn, Nettleton, and Torge are all well known authors of older geophysical/gravity textbooks. Some newer ones are "An Introduction to Applied and Environmental Geophysics" by Reynolds or "Field Geophysics" by Milsom.

實際測量的流程將會與「要從事什麼種類的測量工作」而有不同。問問之前使用過儀器來測量的人是相當有用的，還有，下列一些介紹地球物理的教科書，溜覽重力地球物理學的教科書的人有：Telford, Dobryn, Nettleton, 和 Torge 是一些著作地球物理或重力教科書，相當有名的長者。

有一些新書例如

Reynolds 著作的 “An Introduction to Applied and Environmental Geophysics”，或是 Milsom 著作的"Field Geophysics”

I will also try to get a copy of the manual that Scintrex puts out called "High Precision Gravity" that also has some basics in it.

我也會試著取得一份 Scintrex 公司出版，名為” High Precision Gravity” 的手冊，在這裡面也有些基本的概念。

## 作者簡歷

作者：林進福（Chin-Fu Lin）

出生地：台灣省彰化縣

生日：民國 69 年 1 月 21 日

地址：彰化縣彰化市崙平里平和五街十七號

學歷：國立彰化高級中學畢業

國立成功大學測量工程學系畢業

國立交通大學土木工程系碩士班畢業

