目　錄

第一章　前言
§1-1　計畫背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
§1-2　工作項目及內容・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
§1-3　工作進度與期程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5
§1-4　作業流程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6

第二章　工作規劃與執行
§2-1　點位清查作業・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
§2-1-1　點位清查內容與方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
§2-1-2　點位清查結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
§2-2　人員及器材準備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
§2-2-1　作業人員及設備編組・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
§2-2-2　儀器設備檢校・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
§2-3　測線規劃・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
§2-3-1　重力點編號原則・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
§2-3-2　重力路線規劃・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
§2-4　重力外業測量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
§2-4-1　外業測量方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
§2-4-2　外業測量步驟・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
§2-4-3　重力外業測量施測過程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・23

第三章　觀測資料處理與計算
§3-1　重力測量資料處理流程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25
§3-2　觀測資料處理與檢核・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・26
§3-2-1　觀測資料檢核・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・26
§3-2-2　資料格式轉換與測線表製作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
§3-2-3　山區臨時點 GPS 資料處理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・29
§3-3　系統誤差改正・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・30
§3-3-1　系統誤差的處理方式・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・30
§3-3-2　日月潮位引力產生之重力變化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31
§3-3-3　海潮質量引起之重力變化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・32
§3-3-4　極移改正・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33
§3-3-5　大氣壓力改正・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33
§3-3-6　儀器高改正・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・34
§3-3-7　漂移改正・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・34
§3-4　測線成果檢核與分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・36
§3-4-1　往返閉合差分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・36
§3-4-2　環線閉合差分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37

目　錄

第四章　重力網平差計算
§4-1　重力網平差計算的原理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
§4-2　重力網平差計算的方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・49
§4-2-1　重力觀測資料的彙整・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・49
§4-2-2　已知重力點來源・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・54
§4-2-3　重力點分類與命名・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・55
§4-3　最小約制平差計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・61
§4-3-1　臺灣本島地區最小約制平差計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・61
§4-3-2　澎湖地區最小約制平差計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・62
§4-3-3　金門地區最小約制平差計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・63
§4-3-4　馬祖地區最小約制平差計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・64
§4-3-5　蘭嶼地區最小約制平差計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・65
§4-3-6　綠島地區最小約制平差計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・66
§4-4　加權約制平差計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・67

第五章　結論與建議
§5-1　成果結論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・69
§5-2　討論與建議・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・70

參考文獻・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・71

附錄 A　遺失損毀點位一覽表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・73
附錄 B　重力測量實際測線表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・75
附錄 C　重力測量測段往返閉合差成果表・・・・・・・・・・・・・・・・・・77
附錄 D　重力測量測線往返閉合差成果表・・・・・・・・・・・・・・・・・・87
附錄 E　一二等重力點位一覽表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・89
附錄 F　工作計畫書審查會議紀錄辦理情形・・・・・・・・・・・・・・・・・225
附錄 G　工作報告書審查會議紀錄辦理情形・・・・・・・・・・・・・・・・・227

圖 目 錄

圖 1-1 計畫辦理範圍圖 ･････････････････････････ 2
圖 1-2 重力測量作業流程圖 ･････････････････････ 5
圖 2-1 臨時點設置 ･････････････････････････ 7
圖 2-2 山區臨時點位設置 ･････････････････････ 8
圖 2-3 因山區坍塌遺失點位 ･･･････････････････ 9
圖 2-4 因工程施工而遺失之點位 ･･･････････････ 9
圖 2-5 臺灣本島地區施測重力點位分布圖 ･････････ 10
圖 2-6 澎湖地區施測重力點位分布圖 ･････････････ 11
圖 2-7 金門地區施測重力點位分布圖 ･････････････ 12
圖 2-8 馬祖地區施測重力點位分布圖 ･････････････ 12
圖 2-9 蘭嶼地區施測重力點位分布圖 ･････････････ 13
圖 2-10 綠島地區施測重力點位分布圖 ･････････････ 13
圖 2-11 重力儀檢校作業情形 ･･･････････････････ 15
圖 2-12 臺灣本島地區重力觀測規劃路線圖 ･････････ 17
圖 2-13 澎湖地區重力觀測規劃路線圖 ･････････････ 18
圖 2-14 金門地區重力觀測規劃路線圖 ･････････････ 19
圖 2-15 馬祖地區重力觀測規劃路線圖 ･････････････ 19
圖 2-16 蘭嶼地區重力觀測規劃路線圖 ･････････････ 20
圖 2-17 綠島地區重力觀測規劃路線圖 ･････････････ 20
圖 2-18 階梯式重力測量示意圖 ･････････････････ 21
圖 2-19 重力外業測量流程圖 ･･･････････････････ 22
圖 2-20 重力外業測量觀測相片 ･････････････････ 23
圖 3-1 重力測量資料處理流程圖 ･･･････････････ 25
圖 3-2 潮高與 p 點所受之引力 ･････････････････ 32
圖 3-3 測段往返閉合差統計圖 ･････････････････ 36
圖 3-4 測線往返閉合差統計圖 ･････････････････ 36
圖 3-5 臺灣本島地區重力環線分布示意圖 ･････････ 39
圖 3-6 澎湖地區重力環線分布示意圖 ･････････････ 40
圖 3-7 金門地區重力環線分布示意圖 ･････････････ 41
圖 3-8 馬祖地區重力環線分布示意圖 ･････････････ 41
圖 3-9 蘭嶼地區重力環線分布示意圖 ･････････････ 42
圖 3-10 綠島地區重力環線分布示意圖 ･････････････ 42
圖 4-1 臺灣本島地區重力網形圖 ･･･････････････ 50
圖 4-2 澎湖地區重力網形圖 ･･･････････････････ 51
圖 4-3 金門地區重力網形圖 ･･･････････････････ 52
圖 4-4 馬祖地區重力網形圖 ･･･････････････････ 52
圖 4-5 蘭嶼地區重力網形圖 ･･･････････････････ 53
圖 4-6 綠島地區重力網形圖 ･･･････････････････ 53
圖 4-7 內政部絕對重力點分布圖 ･･･････････････ 54
圖 4-8 臺灣本島地區重力點分布圖 ･････････････ 56

圖　目　錄

圖 4-9　澎湖地區重力點分布圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・57
圖 4-10 金門地區重力點分布圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・58
圖 4-11 馬祖地區重力點分布圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・58
圖 4-12 蘭嶼地區重力點分布圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・59
圖 4-13 綠島地區重力點分布圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・59
圖 4-14 臺灣本島地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖・・・・・・・・・・61
圖 4-15 臺灣本島地區最小約制平差後標準偏差分布圖・・・・・・・・・・・・61
圖 4-16 澎湖地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖・・・・・・・・・・・・62
圖 4-17 澎湖地區最小約制平差後標準偏差分布圖・・・・・・・・・・・・・・62
圖 4-18 金門地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖・・・・・・・・・・・・63
圖 4-19 金門地區最小約制平差後標準偏差分布圖・・・・・・・・・・・・・・63
圖 4-20 馬祖地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖・・・・・・・・・・・・64
圖 4-21 馬祖地區最小約制平差後標準偏差分布圖・・・・・・・・・・・・・・64
圖 4-22 蘭嶼地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖・・・・・・・・・・・・65
圖 4-23 蘭嶼地區最小約制平差後標準偏差分布圖・・・・・・・・・・・・・・65
圖 4-24 綠島地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖・・・・・・・・・・・・66
圖 4-25 綠島地區最小約制平差後標準偏差分布圖・・・・・・・・・・・・・・66
圖 4-26 臺灣本島地區加權約制平差後觀測量改正數分布圖・・・・・・・・・・68
圖 4-27 臺灣本島地區加權約制平差後標準偏差分布圖・・・・・・・・・・・・68

表　目　錄

表 1-1　近年辦理重力測量工作一覽表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
表 1-2　預定與實際工作進度表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5
表 2-1　重力點清理統計成果表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
表 2-2　工作人員任務編組表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
表 2-3　使用之重力儀編組一覽表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
表 2-4　重力儀檢校率定成果表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
表 2-5　施測點位編號一覽表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
表 2-6　第一次外業驗收成果表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・24
表 2-7　第二次外業驗收成果表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・24
表 3-1　重力觀測資料計算標準格式環境資料檔・・・・・・・・・・・・・・・・・27
表 3-2　重力觀測資料計算標準格式觀測資料檔・・・・・・・・・・・・・・・・・28
表 3-3　山區臨時點位坐標成果表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・29
表 3-4　重力環線閉合差分析成果表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・38
表 4-1　內政部絕對重力點一覽表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・55
表 4-2　重力點分類統計表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・55
表 4-3　臺灣本島地區點號修正一覽表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・60
表 4-4　已知重力點檢核成果表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・67
表 5-1　重力網平差成果統計表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・70

第一章　前言

§1-1　計畫背景

國家各項建設皆需仰賴高精度之國家基本控制測量系統為基礎，而一國之基本測量包括大地控制網、高程控制網、重力控制網等三大測量工作。內政部於 82 年首先開始建立臺灣地區的大地控制網，並於 87 年公告國家坐標系統(Taiwan Geodetic Datum 1997, TWD97)(Yang et al., 2001)。並於 88 年、93 年及 99 年分別進行局部與全面性的檢測工作，而內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）承續前述基礎，於 92 年全面辦理完成臺灣地區三等衛星控制點補建、新建工作，新的國家基本控制測量框架已建立完成，為有效管理各級基本控制點，93 年至 99 年期間，亦配合一、二等衛星控制點檢測工作，完成三等衛星控制點檢測作業，並由內政部於 101 年公告 TWD97 坐標 2010 年成果（TWD97【2010】)，以維護完整且高精度的國家坐標系統。

在高程控制系統方面，內政部於於 88 年、90 年分別進行「一等一級水準網測量工作」及「一等二級水準網測量工作」，並公布臺灣地區高程基準（Taiwan Vertical Datum 2001, TWVD2001)，且廣為社會各界運用（內政部，2006)，且由國土測繪中心分別於 94 年、95 年分別辦理西南沿岸沉陷區及全面性的檢測工作，並於 98 年由內政部重新公告檢測成果，持續提供各界高精度的高程控制系統。

重力測量為國家基本測量工作之一環，舉凡正高系統之建立、大地水準面之計算、天然資源之探勘及開採、人造衛星之發射及軌道計算、海洋資源之開發及地球科學之研究及應用等，均需有精確詳實之重力資料以資應用（黃金維等，2001)。但相較於先進國家，如美國、英國、日本、加拿大及澳大利亞等均已建立完整之國家重力網（Torge, 1989)，已如同三角網或衛星控制網一樣，廣為政府民間等單位在測量、導航、地球物理研究、高程基準等方面之應用。而中國大陸亦有經常性的業務單位負責重力網之測量、平差、加密、維護及應用推廣等工作（Jiang et al., 1988)。

反觀我國之現代重力測量，內政部於 89 年辦理「一等一級水準點上實施重力測量工作」為開端，開始進行陸域重力工作，爾後相繼辦理「一等二級水準點上實施重力測量工作」、「臺灣本島絕對重力點埋點及測量工作」、「九十三年度離島地區絕對重力測量及國際聯測工作」、「九十三年度一、二等重力測量工作」等，並同時期由國土測繪中心辦理「93 年度離島一等水準點埋設及其水準、衛星定位、重力測量工作」、「95 年度一等水準點上重力測量檢測工作」等，已於臺灣本島平地及離島地區建制測設完成約 6,300 個重力測量點（參照表 1-1)，惟受限於中央山脈地區施測作業之困難，並無法有效完成臺灣地區重力網的建制工作，故僅由內政部於 98 年先行公告臺灣地區重力基準站及重力系統（Gravity System 2009，簡稱 GS2009)。

為解決前述之窘境，國土測繪中心擬定辦理花東及山區測量計畫，以 2 年度（100、101）的時程完成前述未完成之中央山脈、部分東部地區及部分離島地區之重力測量工作，其中 100 年已辦理本島東北部山區約 270 個點位測量，101 年續辦理東南部山區及離島地區（參照圖 1-1），完成臺灣地區一、二等重力網，建立完整陸域測量資料，配合已完成之空載重力資料及同步進行的近岸海域重力資料，建立國內完整之重力控制網，以期儘速提供相關成果供社會各界應用。

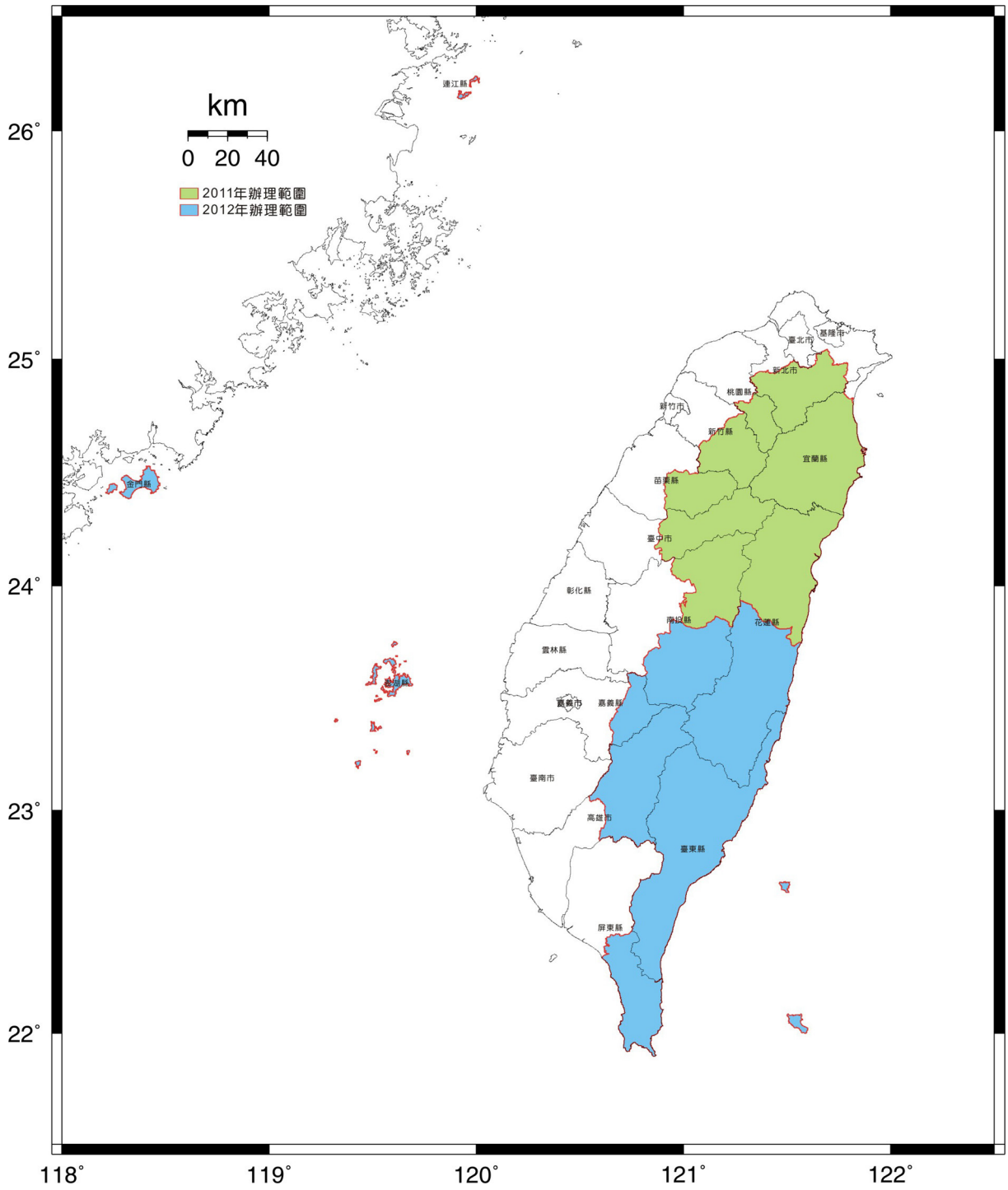


圖 1-1　計畫辦理範圍圖

表 1-1　近年辦理重力測量工作一覽表

項次	計畫名稱	主辦單位	辦理時程	辦理數量	說明
1	一等一級水準點上實施重力測量工作	內政部	2000~2001	1,026	本島一等一級水準點重力測量
2	一等二級水準點上實施重力測量工作	內政部	2002~2003	1,092	本島一等二級水準點重力測量
3	九十三年度離島地區絕對重力測量及國際聯測工作	內政部	2004~2005	2	本島絕對重力點與國際站比對
4	臺灣本島絕對重力點埋點及測量工作	內政部	2005	33	本島絕對重力點設置與測量
5	九十三年度一、二等重力測量工作	內政部	2004~2006	4,356	本島西部及部分東部地區一、二等重力點測量
6	93 年度離島一等水準點埋設及其水準、衛星定位、重力測量工作	內政部土地測量局	2004~2006	201	離島地區一等水準點重力測量
7	95 年度一等水準點上重力測量檢測工作	內政部國土測繪中心	2007	2,198	本島一等水準點重力測量
8	100 及 101 年度花東及山區重力測量工作	內政部國土測繪中心	2011~2012	672	本島東部及中央山脈地區一、二等重力點測量

§1-2　工作項目及內容

本年度辦理重力測量內容包括一等及二等重力測量，其施測數量如下：

(1) 本島東南部重力測量：合計 198 個重力點（含新增聯測 2 本島絕對重力點）。

(2) 離島重力測量：含澎湖（澎湖本島、七美、望安）、金門（大、小金門）、馬祖（南、北竿）、蘭嶼及綠島合計共 147 點。

各項工作項目內容如下

1. 一、二等重力測量：

(1) 清查點位：本計畫重力測量辦理點位應先進行點位清查工作，製作各點位之點位調查表，若有點位毀損致無法施測，應更換點位或研議處理方式。

(2) 外業規劃：點位依清查狀況規劃施測路線及網形，編訂測線表，並製作觀測規劃圖電子檔。

(3) 外業測量：依重力測量施測規範各項規定，進行各測線及點位之外業測量作業，並量測溫度、溼度及大氣壓力，製作重力測量觀測紀錄表。

(4) 外業觀測時，每點應以數位相機拍攝解析度二百萬像素以上 2 張觀測作業情形相片，並貼於重力測量觀測紀錄表。

(5) 製作實際測線表。

(6) 重力儀定期檢核，並製作重力儀定期檢校表。

2. 資料處理及分析工作

(1) 系統誤差改正：製作系統誤差改正報表，包含固體潮引力產生之重力變化改正、海潮負載引起之重力變化改正、極移引起之重力變化改正、大氣壓力引起之重力變化改正、儀器飄移改正、儀器高改正。

(2) 閉合差分析：製作閉合差分析報表，包括測線往返閉合差、環線閉合差等。

(3) 平差及重力成果計算：製作最小約制平差及強制套合平差成果計算報表，其內容包括先驗中誤差及權、已知重力點之點名、點號及重力值、重力點點名、點號、重力值、中誤差、觀測量之內可靠度、外可靠度、改正數、標準化改正數、多餘觀測數及後驗權單位中誤差。

3. 工作報告：製作工作報告書 20 份，其內容至少應包含前言、規劃準備、測線及網形規劃、外業測量執行情形及成果、儀器校正報告、外業觀測點數、各項改正、已知點分析、平差成果及分析（改正數最大值、點位中誤差、給權方式、各項統計測試）、檢討與建議及相關圖表。

4. 進度報告：每一個月提出一次工作執行情形書面報告，內容包含實際工作進度、工作協調事項及工作遭遇困難等，並視實際需要隨時召開工作會報。

5. 工作作業說明書：併第 1、2 期成果繳交，內容應說明該期成果之觀測日期、時程、數量及平差計算等相關資訊摘要，並製作應繳交表格及成果之目錄。

依照合約內容，本計畫作業規範如下：

1. 觀測儀器：採用之重力儀其規格如下：

(1) 重複性（repeatability）：小於 0.005 *mgal* 。

(2) 漂移率:小於 1.0 *mgal / month* 。

(3) 液晶顯示及自動讀數且紀錄於記憶體中。

2. 儀器檢核：使用儀器應至指定地點辦理檢核，其測段往返閉合差及往返平均值與已知重力差值須小於 0.1 *mgal*；檢核不合格者不得使用；檢核時程為一個月辦理一次。

3. 外業測量：

(1) 作業時，須從一已知重力點經過一系列在未知重力值點上觀測，閉合至該已知重力點或另一已知重力點，稱為測線。

(2) 依規劃測線施測，各測線中之每一測段皆需實施重力測量往返觀測，站與站測段施測時間間隔以不超過 2 小時為原則，往返測量應於 24 小時內完成，另中央山脈等深山地區施測確有困難者，經國土測繪中心審查後依審查結果辦理。

(3) 每一測線之起點及終點應再與至少 1 個已知重力點聯測，且每經過 10 個待測點需至少聯測 1 個已知重力點，聯測點選取原則以直線距離近者為優先（以欲聯測點為中心，於半徑 5 *km* 所成圓形內選取已知點聯測，若該圓形範為內無已知點可聯測，每次增加半徑 1 *km* 直至所成圓內有已知點可聯測為止），惟山區測線可依路程考量選取容易聯測點位施測，另中央山脈地區測線需步行抵達者，經國土測繪中心審查後依審查結果辦理。

(4) 重力測量觀測點位與點位之間應採往、返觀測，每個點位重力值以每 5 至 10 秒觀測 1 次，連續觀測至少 3 分鐘得 1 筆平均觀測值，以此法觀測得 2 筆平均觀測值，此 2 筆平均觀測值之差值需小於 0.05 *mgal*；每筆平均值觀測結束時間

與下一筆平均值觀測開始時間至少需間隔 1 分鐘以上。

(5) 觀測紀錄表至少含以下項目：點號、觀測者、儀器型號、儀器高（標準偏差應小於 10 *mm*）、日期（_年_月_日）、時間（_時_分_秒）、讀數值、經緯度及高程、溫度、溼度及大氣壓力。

4. 重力資料經改正後閉合差標準如下：

(1) 重力測量測線閉合差：小於 0.15 *mgal*。

(2) 重力測量測段往返閉合差：小於 0.15 *mgal*。

(3) 重力網環線閉合差：小於 0.80 *mgal*。

5. 最小約制平差與強制套合平差

(1) 權單位中誤差須通過 95%信心區間的卡方測試。

(2) 觀測量粗差偵錯須通過 95%信心區間的 Tau 測試。

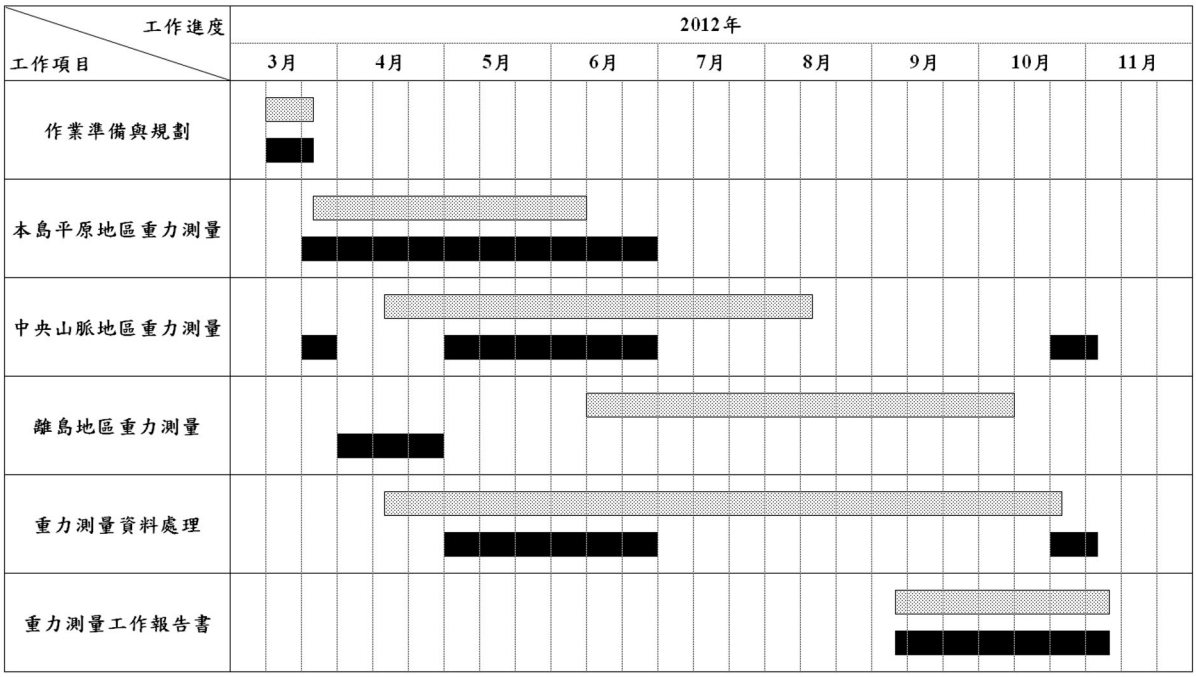
(3) 點位精度要求：小於 0.20 *mgal*。

(4) 強制套合平差需約制到原有一、二等重力測量成果。

§1-3 工作進度與期程

本計畫的重力測量工作，自 101 年 3 月 13 日起至 11 月 7 日止，合計共 240 個工作天完成，符合合約規定之 240 個工作天之要求，其中各項工作多在 6 月底前均已完成，但由於測區範圍內之丹大林道因管制人員至 10 月底，故最終之結果均配合 10 月底完成林道內點位測量後方始完成。詳細各項工作預定進度與實際進度參照表 1-2。

表 1-2 預定與實際工作進度表



§1-4　作業流程

本次計畫工作流程參照圖 1-2 進行，各項工作執行內容則分述於爾後各章節。

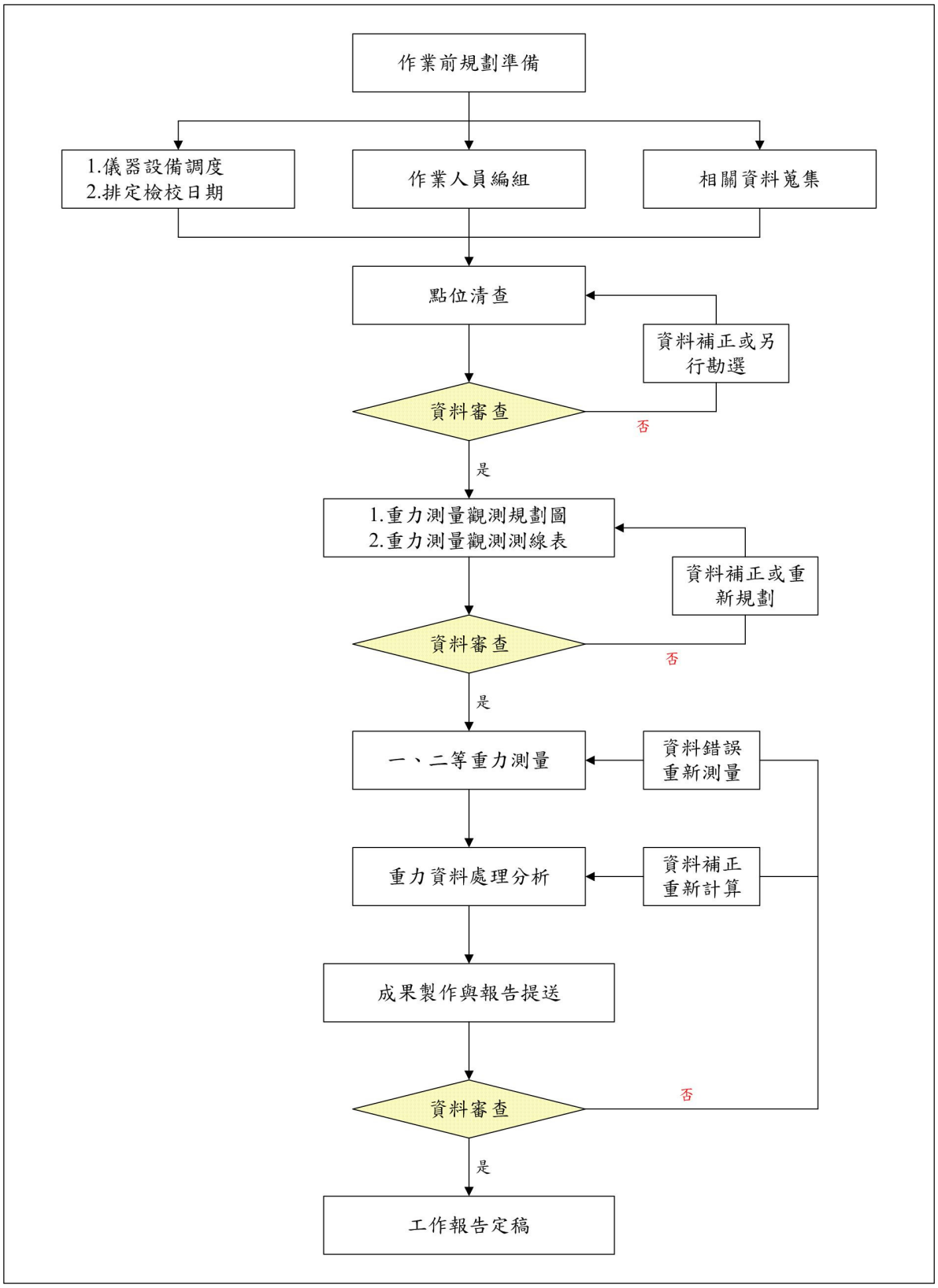


圖 1-2　重力測量作業流程圖

第二章　工作規劃與執行

§2-1　點位清查作業

§2-1-1　點位清查內容與方法

本計畫點位清查作業包括絕對重力點、一等重力點、二等重力點的清查與山區臨時重力點的布設，各項內容說明如下：

1. 絕對重力點清查：本計畫原先僅規劃離島地區 5 個絕對重力點位的清查，包含 PHUG（點名：澎湖）、KMNG（點名：金門）、MZUG（點名：馬祖）、LYUG（點名：蘭嶼）及 AG01（點名：綠島），後於工作會議中為加強本次臺灣東南部觀測網之精度與品質，於觀測網中加測絕對重力點 YLIG（點名：玉里）及 TTUG（點名：台東）等 2 點，合計共觀測 7 個絕對重力點。
2. 一、二等重力點清查：合計共清查 383 點（不含山區加設之臨時點 11 點），較原先合約規劃 343 點增加 40 點，增加的點位主要在於規劃本次觀測網時，增加已知點（原一、二等重力網已觀測點位）的觀測數量，而原點位若於清查時發現標石遺失或損毀時，則仍於原位置設置臨時點位（圖 2-1；於原點號後加註「A」區分），以供後續觀測時使用，但若遺失之點位為已知點時，則不補設臨時點，需於原點點位附近尋找尚存之已知點替代。

圖 2-1　臨時點設置

3. 山區臨時重力點布設：本計畫在山區的點位由於分布較為稀疏，因此在通往點位的路徑中，選擇適當距離設置山區臨時點位（圖 2-2；接續 2011 年度自 GR25 開始流水編號），供後續重力觀測使用，並併入重力網中計算，其設置原則如下：
   (1) 於山區 2 個不同重力點間之步行路徑中設置。
   (2) 點位間相距約 2~5 *km* 左右。
   (3) 山區臨時點設置於地形起伏變化較大的地點。
   (4) 山區臨時點定位採 GPS 靜態方式施測。

圖 2-2　山區臨時點位設置

實際清查作業時，先取得點之記等相關資料，輔以其他資料（如道路交通狀況等），於 1/50,000 地形圖上展點標示，且依照區域及交通動線等資訊加以分類，以作為後續相關作業的依據。接著分配人員，攜帶相關圖表、設備至點位實地清查，以了解點位現況，並核對是否與點之記內容相符，便於日後重力測量的規劃作業。而在進行點位清理的過程中，需注意如下的事項：

(1) 核對點位的標石號碼是否與點之記所載相符，標石種類、形式是否相同，以確定所清理的點位是否正確。

(2) 核對點之記所載略圖及說明是否與現地相符，含公路里程數，道路轉折位置及附近明顯地標等，若否則於點之記上進行修正，以利後續觀測時使用。

(3) 查看是否有其他較易抵達之交通動線，路線上之交通流量及其他可幫助到達點位的事項，並註記於點之記上。

(4) 清理點位上的障礙物（如雜草、土堆等影響測量的物品），使點位維持良好狀態。若遇特殊原因無法進行清理障礙物時，需於點之記上註明原因並回報。

(5) 若遇點位有損毀、遺失的情況，則於點之記上註明，並於點位周遭環境拍攝相片，以確保點位是否真的損毀或遺失。

(6) 將清查出的交通動線繪製於 1/50,000 地形圖上，以利後續觀測作業的安排。

§2-1-2　點位清查結果

經外業清查作業，點位損毀或遺失的原因，依照現場狀況判斷，主要如后原因：

(1)　山區坍塌而損毀（如圖 2-3）。

(2)　點位所在位置管理單位工程施工破壞（如圖 2-4）。

圖 2-3　因山區坍塌遺失點位

圖 2-4　因工程施工而遺失之點位

依照前述原則與方法，本年度共計清查設置 401 個重力點，其點位分類統計如表 2-1，分布如圖 2-5~圖 2-10。

表 2-1　重力點清理統計成果表

項次	種類	清查設置數量	損毀遺失數量	觀測數量	備註
1	絕對重力點	7	0	7	
2	一等重力點	67	2	65	
3	二等重力點	316	59	257	
4	臨時重力點	61	0	61	
5	山區臨時點	11	0	11	
合計				401	

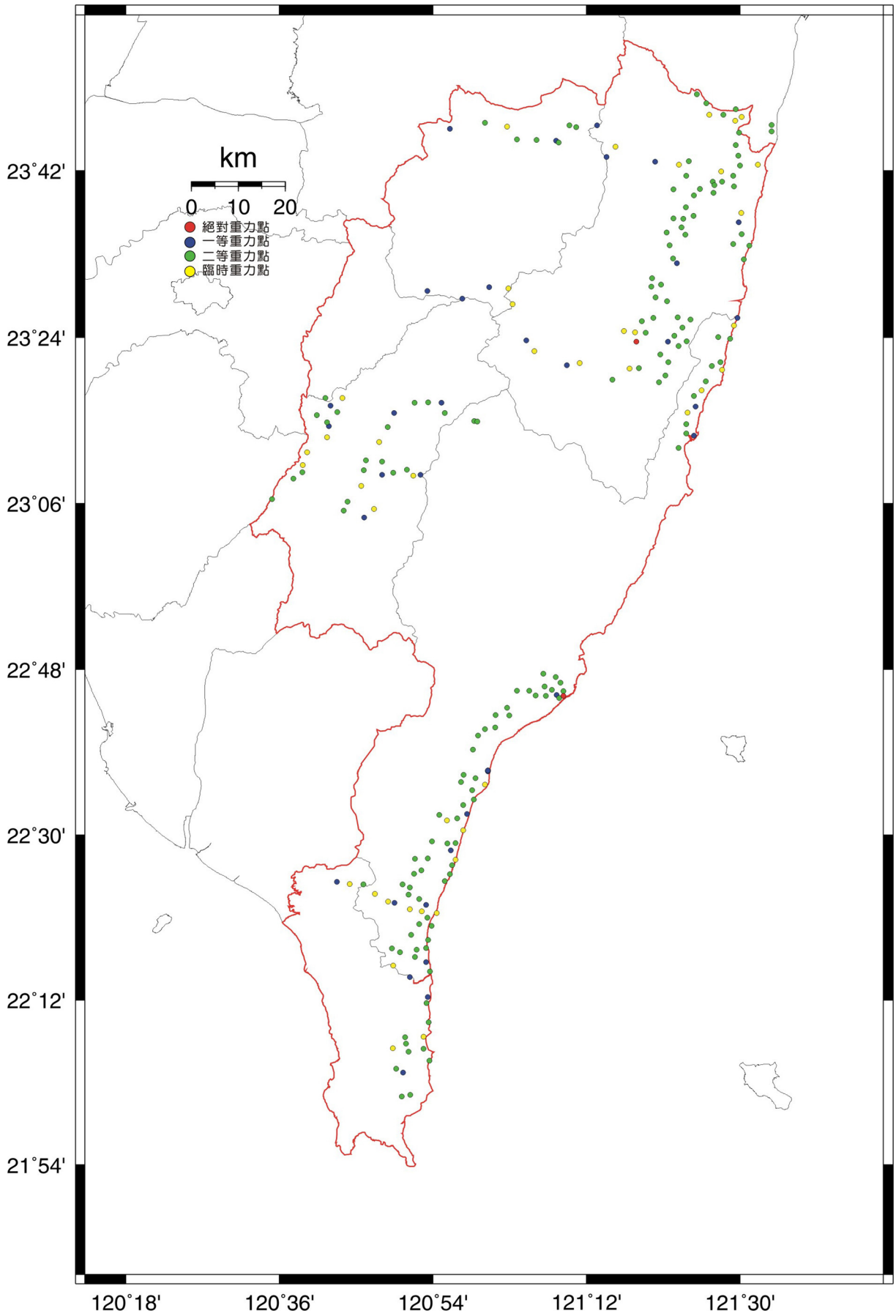


圖 2-5　臺灣本島地區施測重力點位分布圖

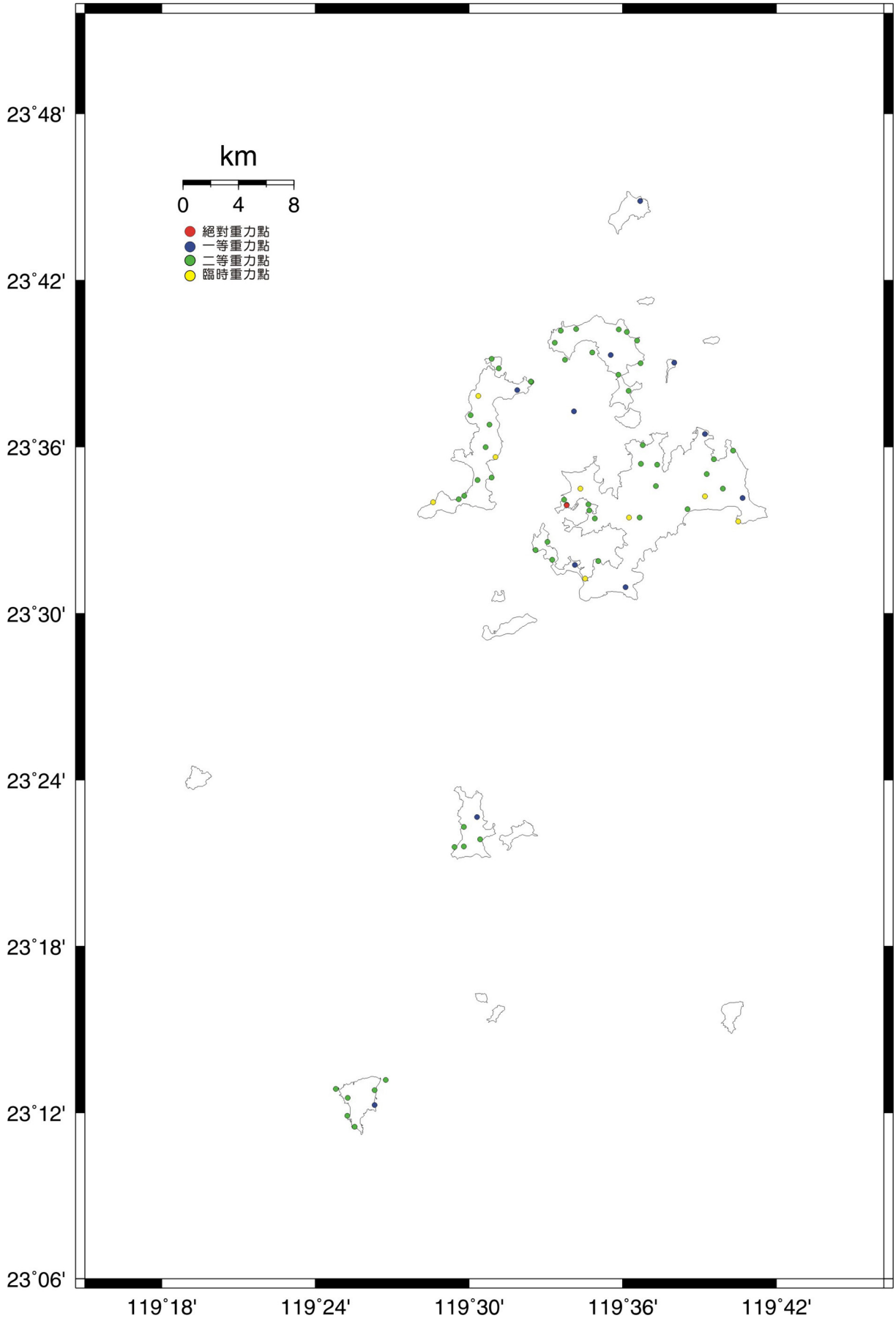


圖 2-6　澎湖地區施測重力點位分布圖

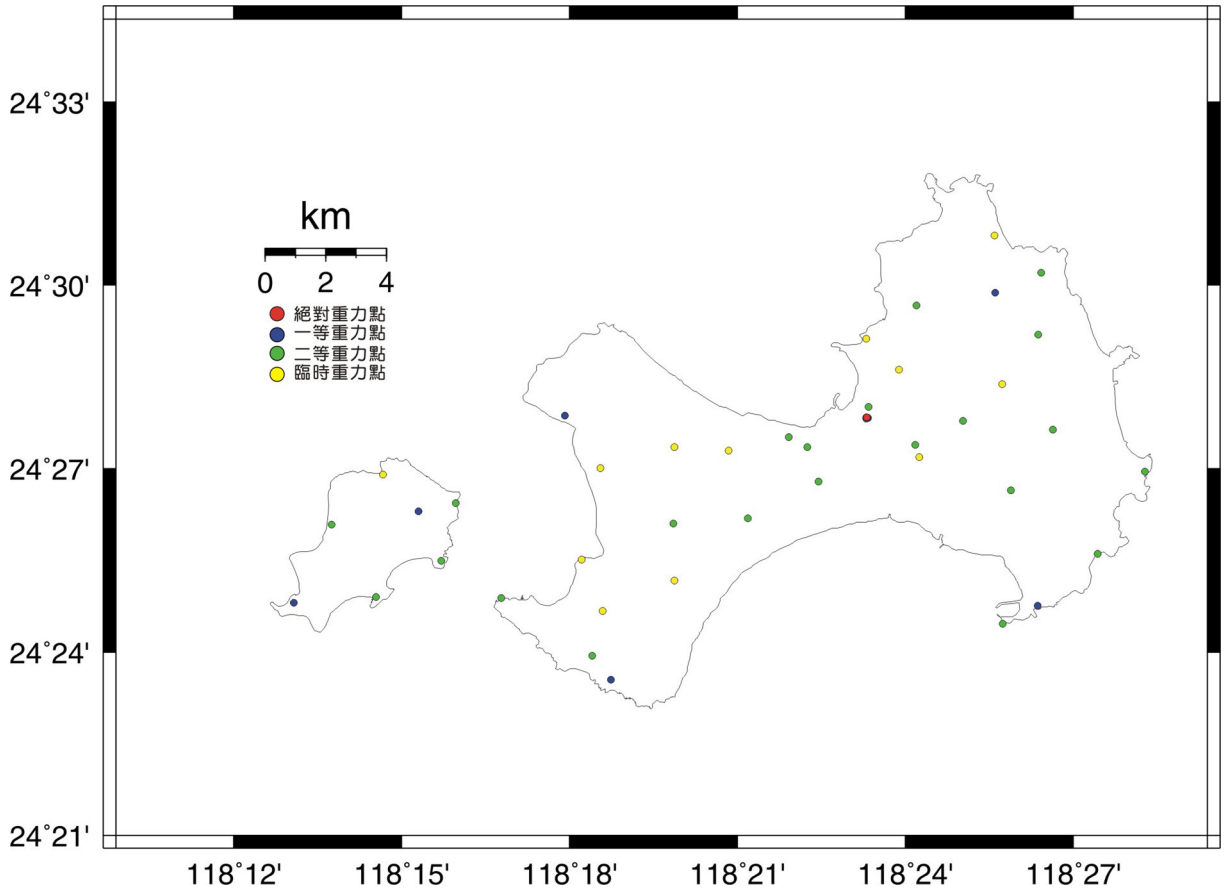


圖 2-7　金門地區施測重力點位分布圖

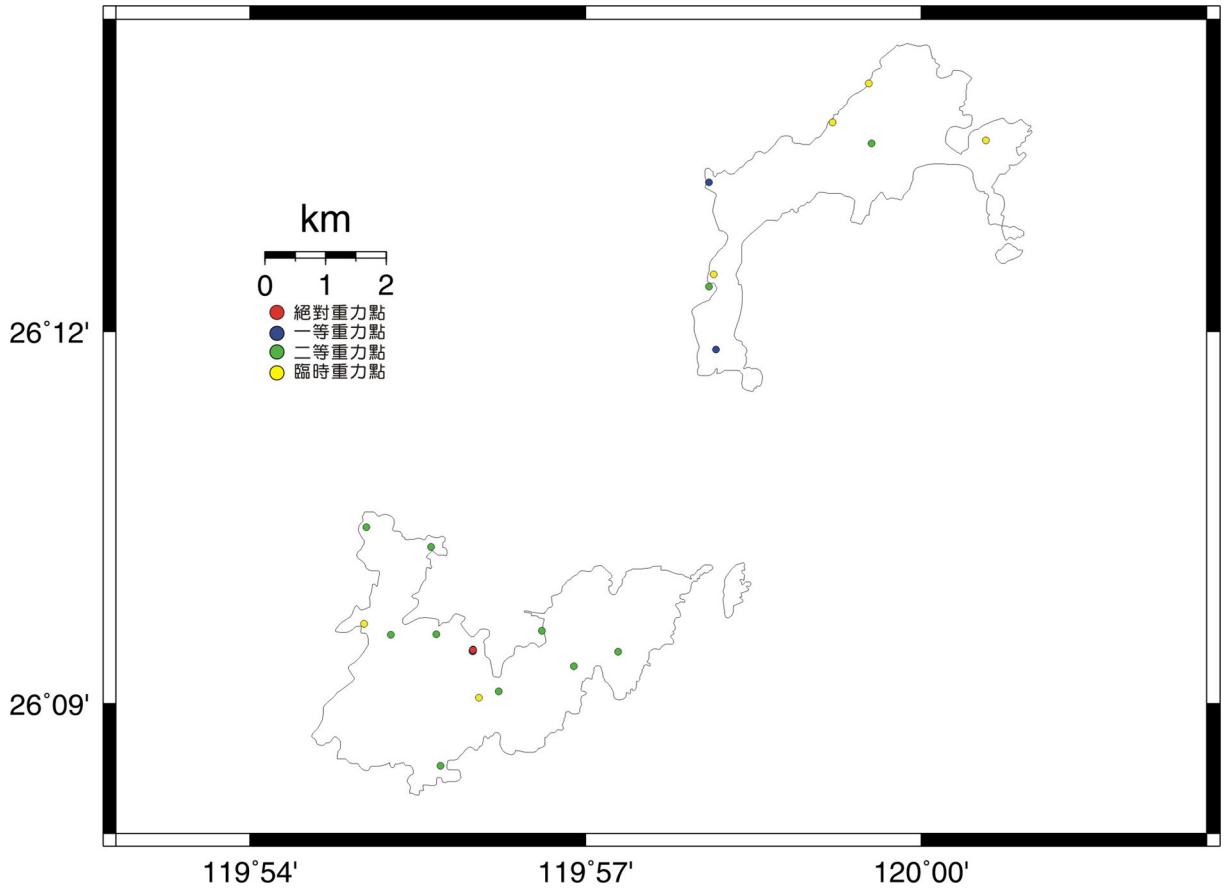


圖 2-8　馬祖地區施測重力點位分布圖

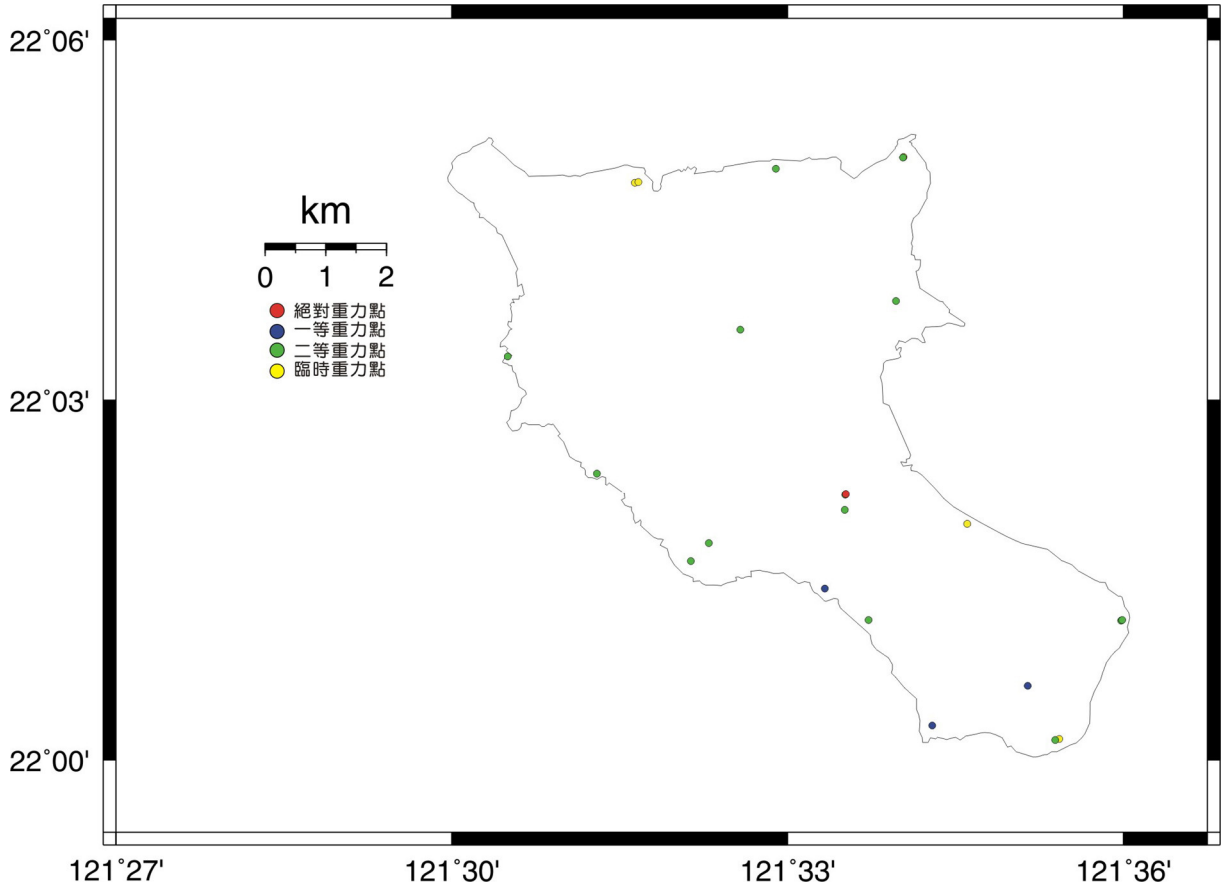


圖 2-9　蘭嶼地區施測重力點位分布圖

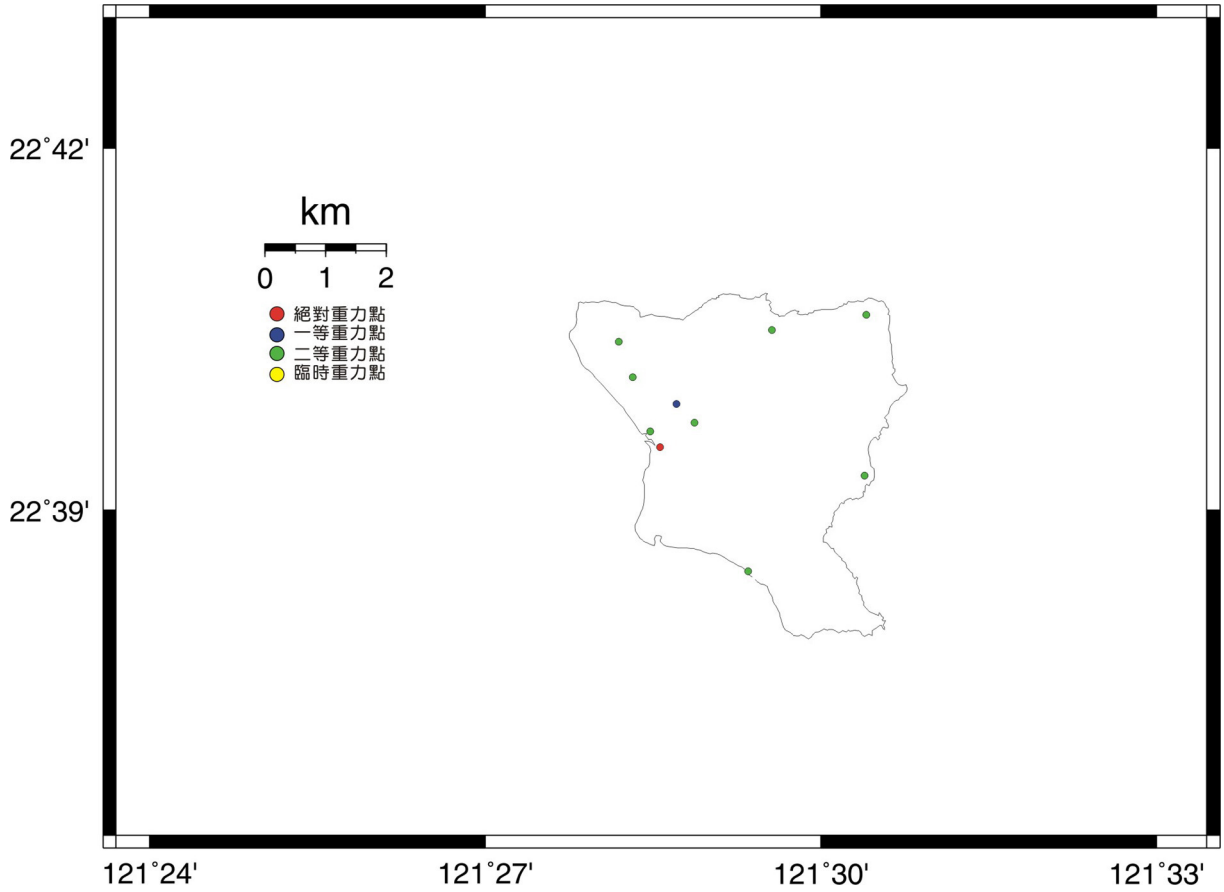


圖 2-10　綠島地區施測重力點位分布圖

§2-2　人員及器材準備

§2-2-1　作業人員及設備編組

經過前述相關的準備動作後，接著進行作業人員及使用設備的編組，人員及設備的編組除考量測區的範圍、路線及工程時程外，最重要在於作業人員搭配使用設備的效能，及各組間完善的溝通與聯繫，經詳細評估本計畫的工作內容後，實際投入本次計畫人數為 15 名，各組主要工作人員及工作項目如表 2-2。

表 2-2　工作人員任務編組表

組別	人數	負責人	工作內容	備註
計畫主持人	1	鄭鼎耀	統籌本計畫執行	
協同主持人	1	黃偉城	協助執行計畫與成果統合分析	
品質管制組	2	張坤樹	重力測量作業、觀測資料查核	
資料處理組	3	王玥琳	觀測資料檢核、計算與分析	
重力測量 1 組	4	劉佳昌	點位清查、重力外業測量	不含臨時雇工
重力測量 2 組	4	陳明達	點位清查、重力外業測量	不含臨時雇工

配合相關外業測量人員，本計畫共準備 2 組自有重力儀器，其編組情形如表 2-3。

表 2-3　使用之重力儀編組一覽表

組別	重力儀型式	重力儀型號	備註
1	LaCoste&Romberg Gravition EG	1193	自有
2	LaCoste&Romberg Gravition EG	1195	自有

而使用之相對重力測量儀係利用美國 LaCoste & Romberg Graviton-EG 相對重力儀，為一高精度之精密儀器，且已於國內實際利用進行施測大型重力網作業，其規格如下：

(1) 重複性：在完美狀態下：$0.001\,mgal$；在野外實際量測時：$0.003\,mgal$。

(2) 溫度範圍：$0^{\circ}\,to+45^{\circ}C$（極寒選項下可至$-40^{\circ}C$）。

(3) 絕對漂移率（每月）：$<1.0mgal$；老化後$<0.5mgal$。

(4) 固體潮改正與氣壓改正：即時修正。

(5) 水平方式：自動水平（最高可至13°傾斜）。

(6) 水平感應器：固體陶製品。

(7) 電池：野外使用在$25^{\circ}C$時超過 8 小時（9 安培小時膠體電池）。

(8) 尺寸大小：$21.5\times22\times31cm$、$15000cm^3$、$9\,kg$。

§2-2-2　儀器設備檢校

為了使本計畫能達到高精度、高效能之預期目標，對於使用之儀器設備需經過嚴密檢校措施，以確保其施測成果的可靠性。本計畫所使用之設備依照合約及「一、二等重力測量工作作業規範」規定，分別均須進行檢校工作，以重力儀檢校而言，展開測量作業前，必須至指定地點辦理重力儀檢核，其測段往返閉合差及往返平均值與原重力差值之較差必須小於 0.1 *mgal*；檢核不合格者，不得使用；檢核時程為一個月辦理一次。所有檢校結果均符合儀器本身應有之精度，各組設備檢校時程參照表 2-4，其檢校情形參照圖 2-11。

表 2-4　重力儀檢校率定成果表

組別	起點測站	終點測站	施測日期	較差值（*mgal*）	備註
EG-1195	TCHG	PKGG	2012/03/16	-0.0081	合格
EG-1193	TCHG	PKGG	2012/04/16	+0.0067	合格
EG-1195	TCHG	PKGG	2012/04/16	+0.0234	合格
EG-1193	TCHG	PKGG	2012/05/04	-0.0088	合格
EG-1195	TCHG	PKGG	2012/05/14	-0.0921	合格
EG-1193	TCHG	PKGG	2012/05/29	+0.0084	合格
EG-1195	TCHG	PKGG	2012/05/29	+0.0208	合格
EG-1193	TCHG	PKGG	2012/07/02	-0.0123	合格
EG-1195	TCHG	PKGG	2012/07/02	-0.0497	合格
EG-1193	TCHG	PKGG	2012/07/26	-0.0014	合格
EG-1195	TCHG	PKGG	2012/07/26	-0.0063	合格
EG-1193	TCHG	PKGG	2012/09/07	+0.0049	合格
EG-1195	TCHG	PKGG	2012/09/07	-0.0163	合格
EG-1193	TCHG	PKGG	2012/10/01	-0.0211	合格
EG-1195	TCHG	PKGG	2012/10/01	+0.0116	合格

圖 2-11　重力儀檢校作業情形

§2-3　測線規劃

§2-3-1　重力點編號原則

本次計畫完成施測之點位總計達 401 個重力點，點位來源分屬多個不同單位，為避免產生資料混淆情形，增加後續資料計算分析的困難度，因此需對所有施測點號予以統一的編號，利於推行整個重力測量工作，其點號來源及命名編碼參照表 2-5。

表 2-5　施測點位編號一覽表

項次	點位種類	點位來源	點位編號原則
1	絕對重力點	內政部	點號為 4 碼，採原點號
2	一、二等衛星控制點	內政部	點號為 4 碼，採原點號
3	三等衛星控制點	內政部國土測繪中心	點號為 4 碼，採原點號
4	重力點	內政部	點號為 5 碼，採原點號
5	一等水準點	內政部	點號為 4 碼，採原點號
6	一、二、三等三角點	內政部	點號為 4 碼，採原點號
7	地殼變動基準點	經濟部中央地質調查所	點號為 4 碼，採原點號
8	臨時點	本計畫新設	點號為 5 碼，原點號後加 1 碼英文字母 A
9	山區臨時點	本計畫新設	點號為 4 碼，前 2 碼為 GR，後 2 碼為流水瑪

§2-3-2　重力路線規劃

由於本年度作業區域涵蓋本島及離島地區，兩者之間的環境與地形大不相同，故對重力施測路線規劃的方式亦採取不同的規劃方式，本島地區由於僅辦理東南部地區，故路線規劃上以附合至原有一、二重力網為原則，於部分點位較密集區方採用網形規劃方式進行；相對離島地區，由於點位分布較均勻且範圍較小，除澎湖地區分為澎湖本島、七美及望安等 3 個網外，其他各離島地區均採網形方式規劃。而部分點位因位於中央山脈地區需依靠步行到達，或是偏遠離島因船隻航行時間影響，無法滿足規範中測段施測時間間隔以不超過 2 小時為原則，往返測量應於 24 小時內完成的要求，經工作計畫審查會議結論，在不影響觀測精度條件下，同意放寬這些測線的觀測時間限制。對於位於本島中央山脈點位的施測作業，主要規劃以下幾條步行路線來進行施測。詳細各區重力觀測規劃路線如圖 2-12~圖 2-17。

(1) 第 1 條路線由孫海橋入山，沿丹大林道前行，至卡社大山後改行林田山山地廢鐵道，並銜接至萬榮林道至萬榮，估計約 103 *km*，此路線頭尾兩端路況較佳，中段約 60 *km* 已廢棄多年，多需重新開道前行。

(2) 第 2 條路線由玉山出發，沿八通關大山後縱切溪谷至拉古拉接日據時期八通關越嶺古道，至瓦拉米接瓦拉米步道至鹿鳴，估計約 64 *km*。本路線沿途路路況均不佳，需耗費較大人力與時間進行。

(3) 第 3 條路線由具馬奴出發，沿浸水營古道至加羅板，估計約 25 *km*。此路線距離較短且浸水營古道路況較佳，故執行上較無太大困難。

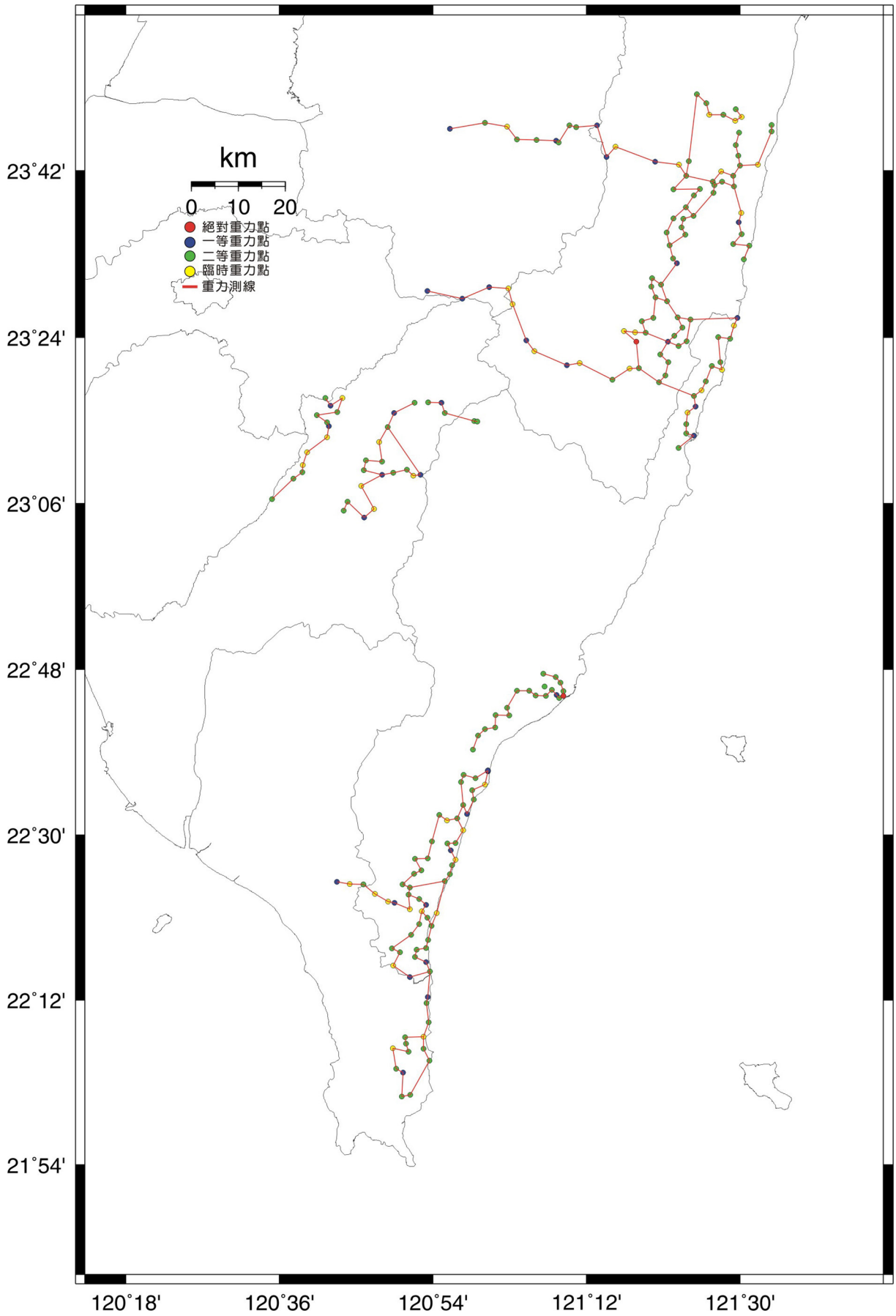


圖 2-12　臺灣本島地區重力觀測規劃路線圖

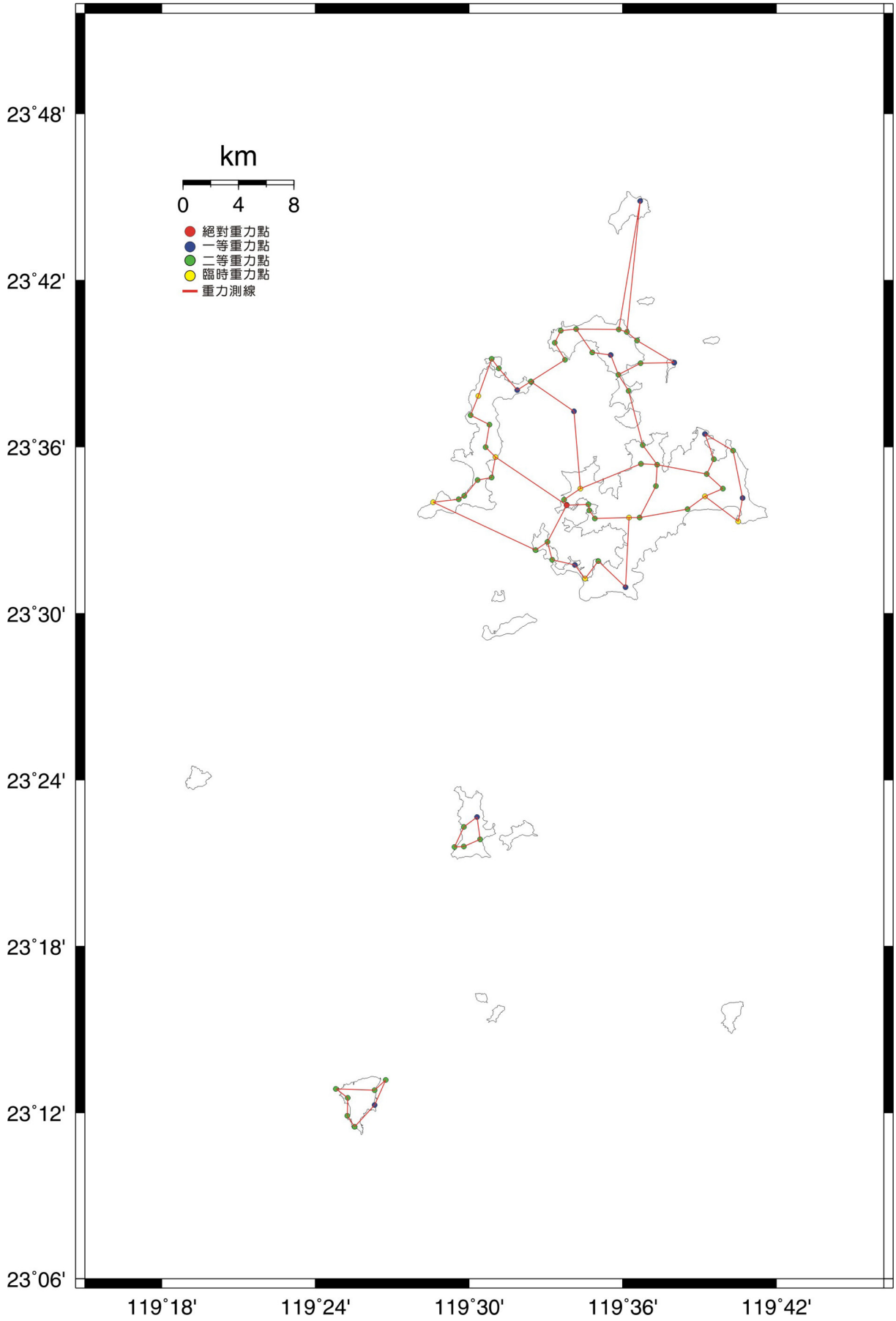


圖 2-13　澎湖地區重力觀測規劃路線圖

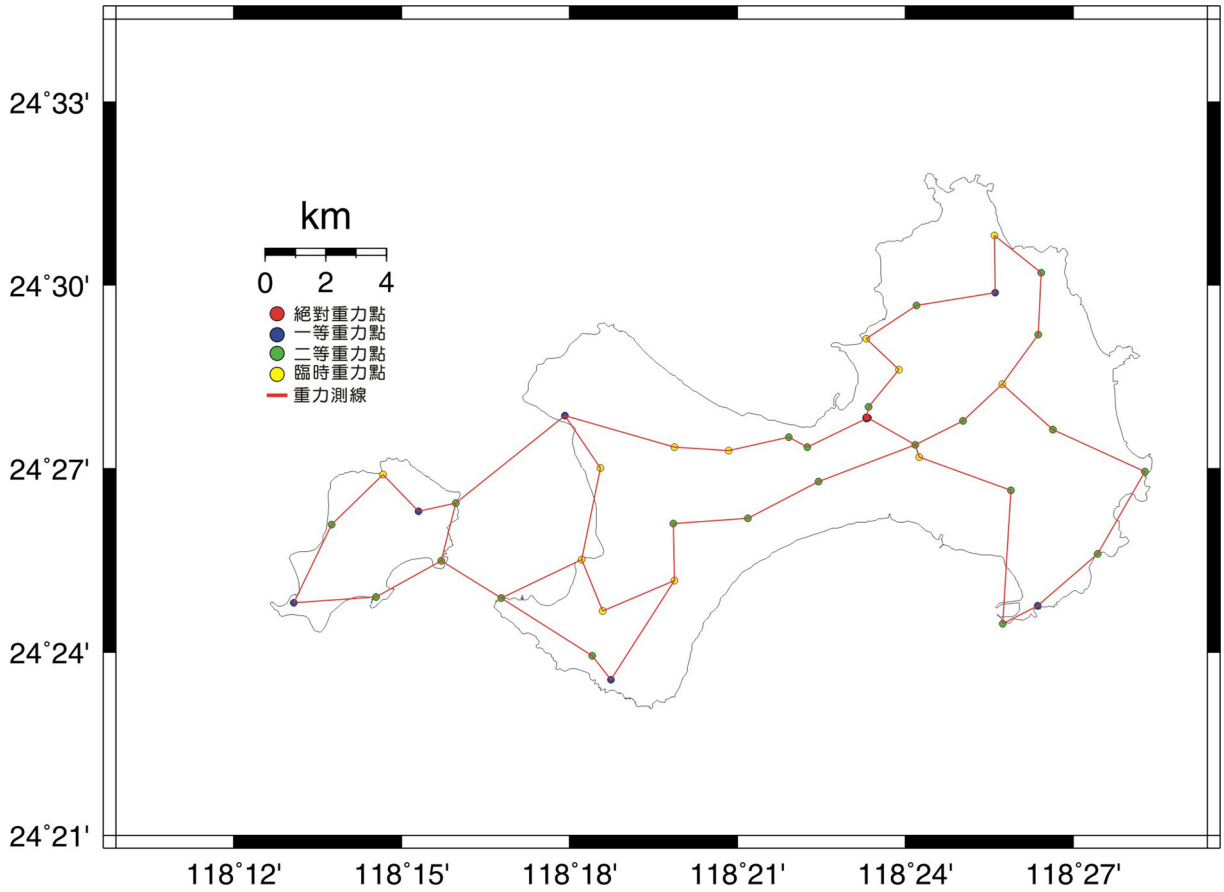


圖 2-14　金門地區重力觀測規劃路線圖

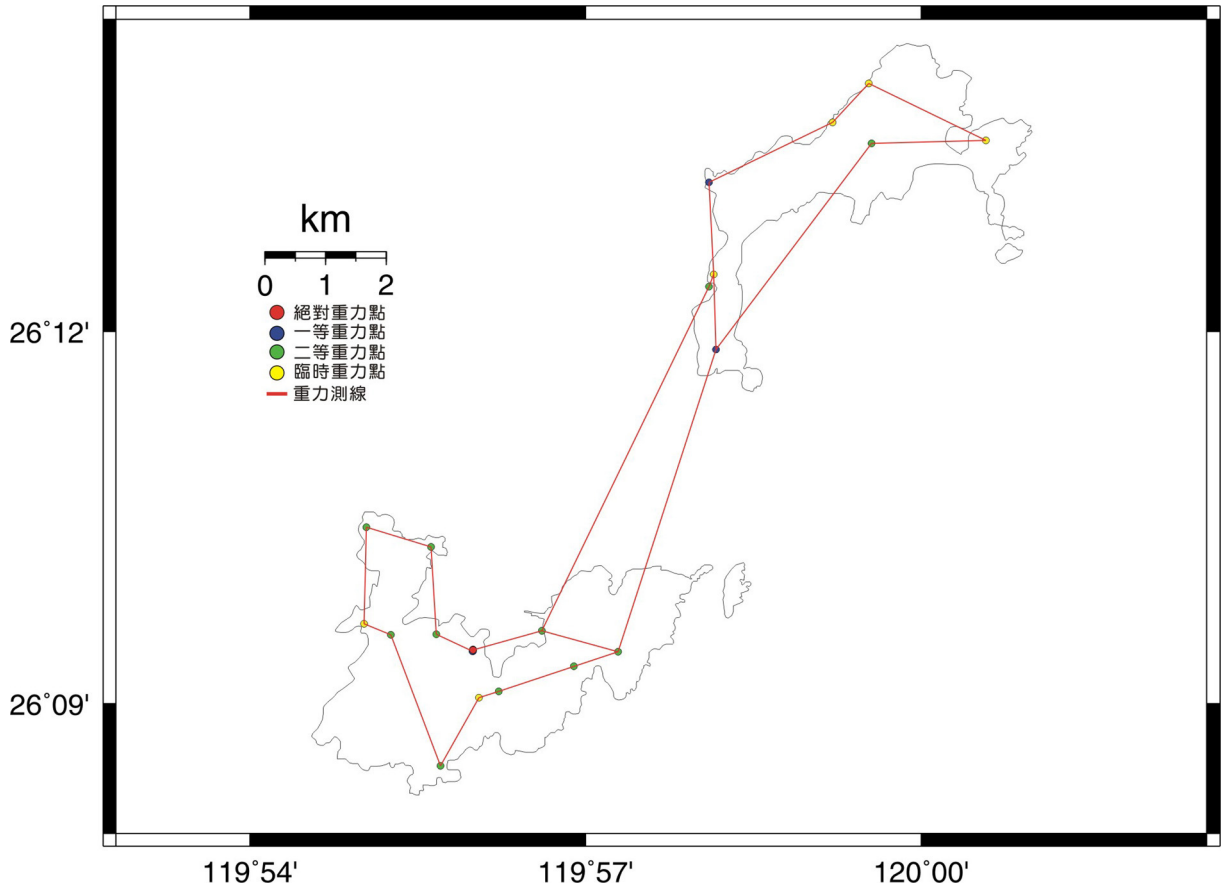


圖 2-15　馬祖地區重力觀測規劃路線圖

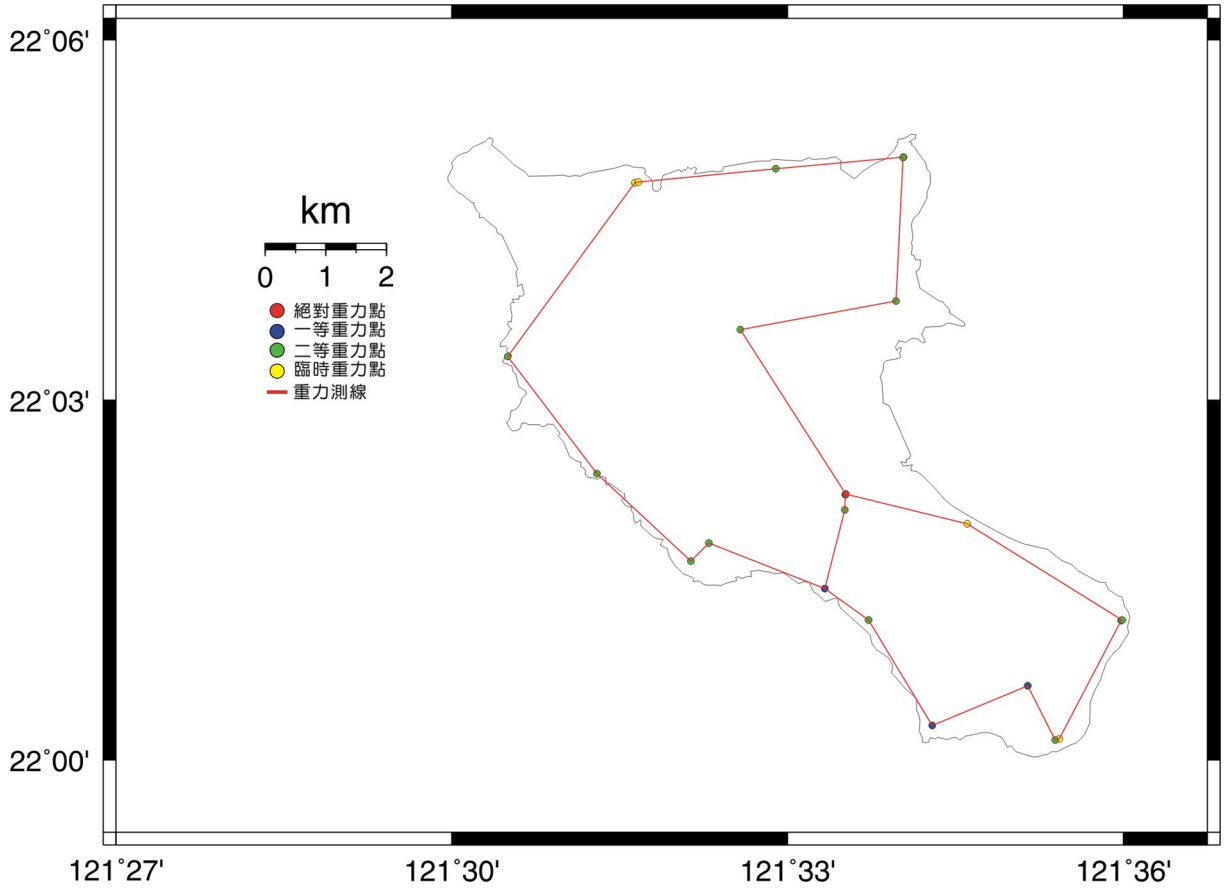


圖 2-16　蘭嶼地區重力觀測規劃路線圖

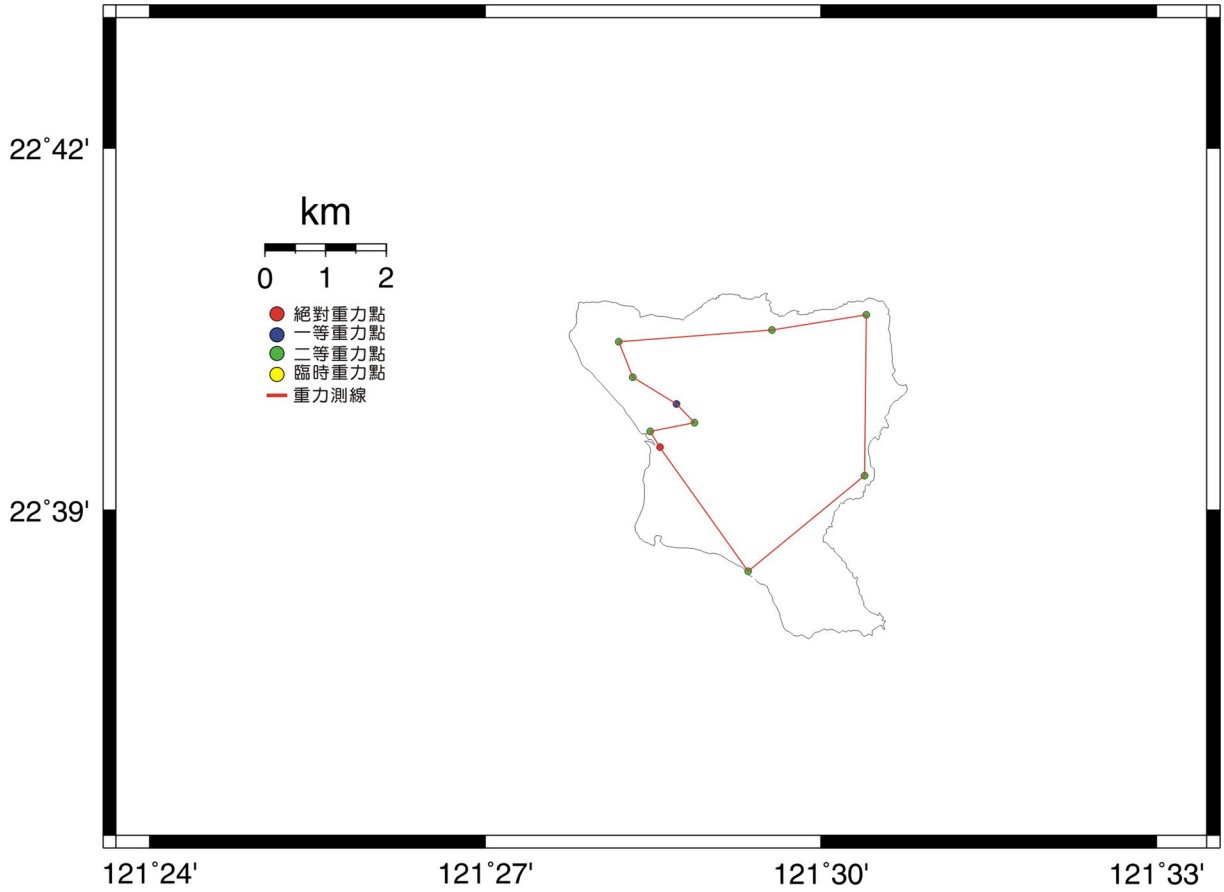


圖 2-17　綠島地區重力觀測規劃路線圖

§2-4　重力外業測量

§2-4-1　外業測量方法

相對重力測量時，測線的佈置方法很多，它與交通工具、要求精度和儀器性能等許多具體條件有關，但主要的還是儀器零點變化問題（即儀器零點漂移）。基本上採用兩種方法：單向觀測和重複觀測法。單向觀測無法察覺錯誤，對儀器零點變化也無法控制，故近年來較少採用；而重複觀測對於錯誤和儀器零點變化的控制均優於單向觀測。

重複觀測因測線中重力點的觀測順序不同而各有其名稱，其中較常見的為測量環線，主要是因為它對儀器零點變化有充分的控制，其方法為從一已知重力點經過一連串在未知重力值點上觀測，最後閉合至原已知重力點或另一已知重力點。由於本計畫點位規劃上主要呈線狀，且規範要求需實施往返測，因此在施測過程中將採取「階梯式（Ladder）」的方式（圖 2-18）施測，易於察覺觀測時所發生錯誤，以提高精度。

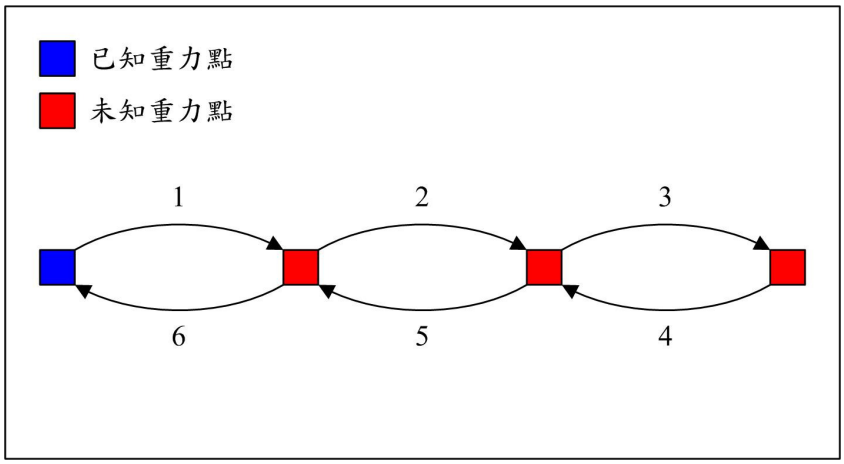


圖 2-18　階梯式重力測量示意圖

§2-4-2　外業測量步驟

本計畫使用 LaCoste Gravition EG 相對重力儀，其外業測量測量流程如圖 2-19，相關步驟說明如后：

(1) 將重力儀取出置於待測點位正上方，開啟電源並經啟動程序後，依需求設定觀測模式、每次觀測之時間、觀測值誤差容許範值。

(2) 在設定選單中，將自動水平項目改為起動模式，並啟動水平校正之重力修正，並依環境需求設定水平校正的範圍允許值。

(3) 輸入該測點之名稱、經、緯度值（做海潮模式的重力值修正用）。

(4) 按下功能鍵進入自動量測的步驟，要注意從此時起不要再觸動儀器。

(5) 觀測的過程中首先儀器會自動調整水平，接下來會自動鬆開內部彈簧的固定螺旋，接著調整彈簧的「range」，然後自動讀數，完畢後會自動再鎖上固定螺旋、自動存檔後完成該站的觀測。

(6) 在觀測的過程中，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許可的狀態下，可能會調整超過 100 *mgal*，此時會跳出一個對話視窗詢問是不是要中止「re range」的工作，此時該選擇取消，讓儀器繼續進行「re range」的調整，此項工作約需費時 40 分鐘左右。若非上述情形者，則直接中止「re range」的工作即可。

(7) 每個點位重力值以每 5 秒觀測 1 次，連續觀測至少 3 分鐘得 1 筆平均觀測值，每次觀測完後，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，若不滿意可以重新進行觀測。

(8) 第一次觀測後，等待超過 1 分鐘後，重複進行儀器自動觀測 1 次。

(9) 檢核 2 次觀測值較差是否小於 0.05 *mgal*，若否則再重複進行觀測，直至符合相關規定為止。

(10) 用鋼捲尺量儀器高（由待測點算起，儀器面板最上緣止），記錄外在環境溫度、氣壓及觀測時間。

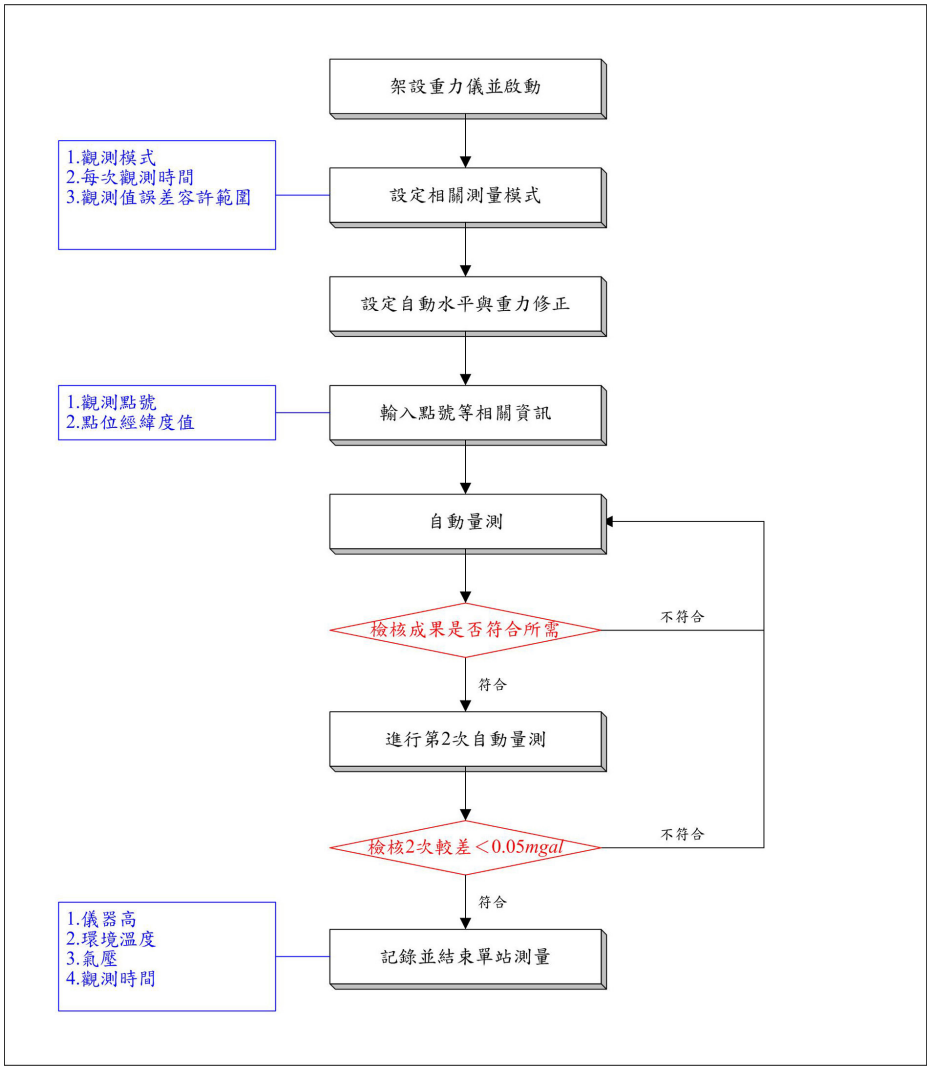


圖 2-19　重力外業測量流程圖

§2-4-3　重力外業測量施測過程

依前述方法與步驟進行重力外業測量，重力外業測量實際作業情形如圖 2-20。實際進行相對重力測量時，依據規定，於每一重力點上實施重力測量，至少連續五分鐘觀測一筆資料，至少觀測二次，兩次差值需小於 0.05 *mgal*，記錄施測時之點號、觀測者、儀器型號、儀器高、日期、時間讀數值、經緯度及高程、溫度及大氣壓力於觀測記錄表上；並以數位相機於施測點位拍攝二張作業情形之全彩相片，其中 1 張須儘可能拍攝儀器與觀測點號，另 1 張應拍攝重力儀在點位上施測情形及週遭環境。站與站之施測時間間隔不超過 2 小時，往返測量應於 24 小時內完成。作業時，從一重力點位出發經過一系列在重力點上之觀測，再依原施測路線返測，閉合至原出發重力點位。

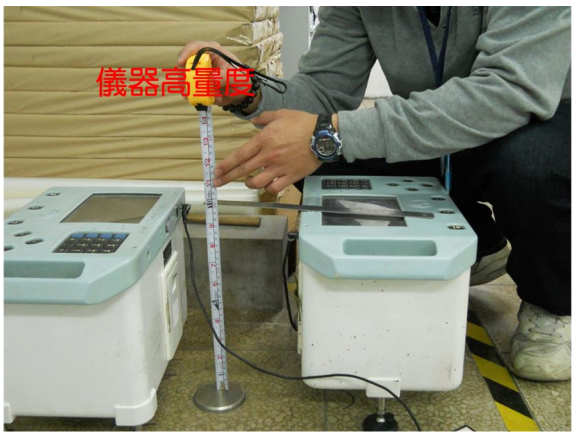


圖 2-20　重力外業測量

本計畫施測所使用之 L&R Graviton-EG 相對重力儀，儀器本身之靈敏度極高，受周遭環境之影響，其 RMS 值亦相對變化。以離島地區與臺灣本島之比較，除了地質條件不同外，臺灣之人口密度、建物密度與交通流量皆遠大於離島地區，因此有較大之 RMS 實為正常之現象。以本公司實際外業施測之經驗，在臺灣本島施測時，不同時間之環境噪聲影響程度不一。兩者間較明顯之差異，臺灣本島人口較多，建築物與車輛分布密度遠較離島地區為高；相對地，環境噪聲亦遠較離島地區嚴重。在實際觀測上之困難則造成儀器讀數重複性之不穩定，增加重複觀測之情形；但仔細觀察讀數變化之情形，發現其於 5 分鐘觀測時間中之最後階段，讀數值之變化跳動僅在 0.001 *mgal* 間，且比較測段間之重力差值均小於合約之要求，亦與儀器之性能相符，因此將環境噪聲之影響當成客觀判斷因素。

根據上述的作業程序及規範進行重力測量野外觀測，外業觀測日期自 101 年 3 月 17 日至 11 月 1 日止，期間主要外業工作多已於 6 月 29 日前完成，但受丹大林道管制影響，遲至 10 月 29 日方始入內施測。總計本島施測 51 條、澎湖 16 條、金門 5 條、馬祖 5 條、蘭嶼 7 條及綠島 3 條，共 87 條測線，詳細各測線施測內容參照附錄 B。

根據前述施測結果，國土測繪中心於 101 年 6 月 26、27 日及 11 月 21、22 日分別進行 2 次書面審查與實地外業驗收，驗收作業各抽測 3 條測線（每一測線 2 測段），其驗收結果均能符合合約相關規定之要求（參照表 2-6、表 2-7）。

表 2-6　第一次外業驗收成果表（6 月 26、27 日）

0627成果-系統誤差改正後				繳交成果-系統誤差改正後				驗收成果	
點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	較差值	判斷(小於0.2mg)
V194	2561.413724			V194	2556.083590				
V197	2565.808708	4.394984	4.410535	V197	2560.433823	4.350233	4.362131	0.048404	符合
V176	2570.082345	4.273637	4.290853	V176	2564.727268	4.293445	4.299523	-0.008670	符合
V176	2570.094806	0.012461		V176	2564.735201	0.007933			
V197	2565.786737	-4.308069		V197	2560.429600	-4.305601			
V194	2561.360651	-4.426086		V194	2556.055571	-4.374029			
點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	較差值	判斷(小於0.2mg)
V148	2534.004617			V148	2533.050501				
V149	2547.586861	13.582244	13.629699	V149	2546.601381	13.550880	13.560077	0.069622	符合
V151	2544.979338	-2.607523	-2.653968	V151	2544.031093	-2.570288	-2.571483	-0.082485	符合
V151	2544.991519	0.012181		V151	2544.030807	-0.000286			
V149	2547.691932	2.700413		V149	2546.603486	2.572679			
V148	2534.014778	-13.677154		V148	2533.034212	-13.569274			
點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	較差值	判斷(小於0.2mg)
V157	2554.086976			V157	2553.096051				
V159	2552.264690	-1.822286	-1.832291	V159	2551.251831	-1.844220	-1.835076	0.002785	符合
V058	2554.161033	1.896343	1.896151	V058	2553.159687	1.907856	1.901696	-0.005545	符合
V058	2554.160850	-0.000183		V058	2553.173511	0.013824			
V159	2552.264891	-1.895959		V159	2551.277974	-1.895537			
V157	2554.107187	1.842296		V157	2553.103906	1.825932			

表 2-7　第二次外業驗收成果表（11 月 21、22 日）

1121成果-系統誤差改正後				繳交成果-系統誤差改正後				驗收成果	
點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	較差值	判斷(小於0.2mg)
U144	2488.861778			U144	2487.507837				
U151	2479.411596	-9.450182	-9.441472	U151	2478.073875	-9.433962	-9.443669	0.002197	符合
U146	2447.875629	-31.535967	-31.537217	U146	2446.513658	-31.560217	-31.569145	0.031927	符合
U146	2447.889122	0.013493		U146	2446.522901	0.009243			
U151	2479.427590	31.538468		U151	2478.100973	31.578072			
U144	2488.860352	9.432762		U144	2487.554350	9.453377			
點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	較差值	判斷(小於0.2mg)
U153	2476.939605			U153	2475.626208				
U256	2472.945772	-3.993833	-4.002149	U256	2471.614413	-4.011795	-4.012166	0.010016	符合
U158	2471.589117	-1.356655	-1.342129	U158	2470.266839	-1.347574	-1.359213	0.017084	符合
U158	2471.601584	0.012467		U158	2470.186621	-0.080218			
U256	2472.929187	1.327603		U256	2471.557473	1.370852			
U153	2476.939653	4.010466		U153	2475.570009	4.012536			
點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	點號	觀測值	重力差值	重力差平均值	較差值	判斷(小於0.2mg)
U125	2483.655827			U125	2482.389742				
U121	2488.610575	4.954748	4.972121	U121	2487.348876	4.959134	4.964193	0.007928	符合
U113	2492.763620	4.153045	4.128592	U113	2491.502832	4.153956	4.146158	-0.017565	符合
U113	2492.756184	-0.007436		U113	2491.433216	-0.069616			
U121	2488.652044	-4.104140		U121	2487.294857	-4.138359			
U125	2483.662551	-4.989493		U125	2482.325605	-4.969252			

第三章　觀測資料處理與計算

§3-1　重力測量資料處理流程

於重力外業測量完成後，必須先針對觀測資料加以整理、檢查，以確定資料是否合乎規範要求，因此必須設計一套處理的流程，依照本計畫合約規範內容對資料進行檢核，以確保施測成果品質完善，並且製作各項成果圖表，及後續重力網平差計算與相關成果分析。圖 3-1 為本計畫重力資料處理的流程，後續將利用程式自動化處理各階段的工作，詳細內容將於爾後各節加以說明。

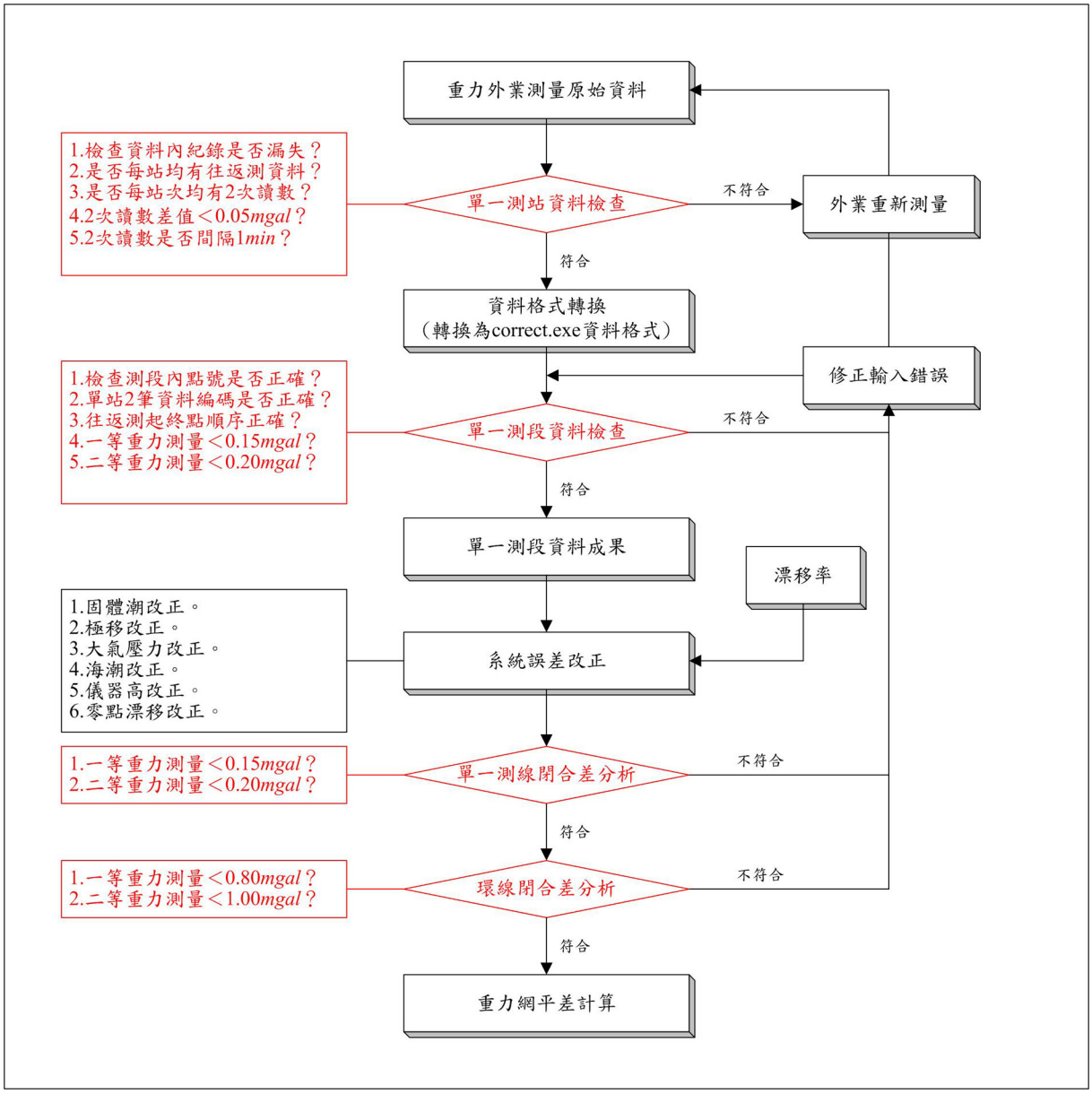


圖 3-1　重力測量資料處理流程圖

§3-2　觀測資料處理與檢核

§3-2-1　觀測資料檢核

針對原始重力觀測資料的檢核，將每日每組的原始觀測資料下載後，為節省程式輸出錯誤成果，導致整條測線分析錯誤、重算，並方便實際作業期程的掌控，於獲取得原始觀測數據後，先檢核每一測線的外業觀測成果，主要分為如下二部分：

(1) 檢查單一測站之觀測資料：內容包括往返測站名編碼、測站二次讀數經儀器內固體潮改正後讀數差值、儀器高等項目；這些檢查項目中，須經由外業觀測人員人工輸入各測站及觀測時之資訊，在測量過程中，由於天候及人為因素影響下，錯誤站名編碼及輸入資料錯誤實屬平常，為避免重跑資料改正等程式而浪費時間，仍由人工先行檢核、剔錯。

(2) 檢查單一測線之觀測資料：內容包括測站數是否為偶數、測線中各測站之前後順序（觀測進行順序）、起終點號是否相符等項目，亦先以人工進行約略檢核，始利用程式進行轉檔作業。

對於重力觀測資料的檢查，除了檢核出人工輸入造成的測誤外，最重要的便是檢核原始觀測資料的品質；檢核品質的標準主要依照本按合約作業規範，其要點如下：

(1) 前後 2 站施測施測時間間隔以不超過 2 小時為原則。

(2) 往返測量應於 24 小時內完成。

(3) 每測站 2 次重力讀數之最大較差不得大於 0.05 *mgal* 。

(4) 儀器面板上 RMS Error 值，如其值大於 0.1 *mgal* ，應注意環境雜訊（Noise）是否過大導致觀測量差值亦過大。

當原始資料檢查完成後，方利用程式自動轉換成「correct.exe」（系統誤差改正程式）所需相關觀測資料檔，其內容包括：

(1) 測站經緯度坐標、高程、溫度、溼度及壓力等項目。

(2) 測站讀數觀測時間、儀器原始觀測量、儀器高等項目。

經由 correct.exe 便可獲得改正後測線內各測站之測站站名、觀測時間（儒略日）、原始觀測相對重力值及經系統誤差改正後之相對重力值，以之進行測線閉合差分析及後續平差計算。

在資料的檢查過程中，針對觀測數據部分，因為均採用儀器自動記錄的方式儲存，若依照本計畫規定施測，基本上不容易產生錯誤，但觀測資料內仍有部分資料需由人工輸入記錄的資料，常是需要進行修正的部分，經歸納後以下幾項通常是較易產生的問題：

(1) 測線起、終點號輸入錯誤：通常容易發生在不同等級的點位上。例如：起點點號 M094 記錄成點位標石號碼 M994。

(2) 測站編碼輸入錯誤：本計畫於單一測站須紀錄 2 筆觀測數據，往返測觀測量便需記錄 4 筆數據，且須依時間順序排列測段順序，因此常易發生於測站編碼往返測輸入錯誤，如返測編碼末兩碼應為 B1 及 B2，常紀錄為 A1 及 A2。

(3) 單一測站施測時溼度、溫度、儀器高記錄錯誤：雖然施測時之溫度可由儀器自動讀取紀錄，但該筆資料為儀器感應器旁之溫度偵測，較野外實際測量時之溫度為高，因此仍需另行紀錄溫度，但儀器內可供紀錄環境資料的欄位僅有一欄，該欄便需同時記錄溼度、溫度、儀器高，如觀測人員記錄資料順序錯誤，則得出之環境改正資料便產生錯誤，如溼度-溫度-儀器高順序記為溫度-溼度-儀器高。

(4) 儀器高輸入錯誤：如小數位數不足或負號忘記輸入等現象。

§3-2-2 資料格式轉換與測線表製作

當完成每日單一測線觀測資料後，需進行資料計算格式轉換。重力觀測資料之標準儲存格式，需每一測線儲存 2 個檔案：環境及觀測資料檔，每個檔案分為 2 部分，即檔頭、觀測資料，其詳細格式內容說明如下：

(1) 環境資料檔（表 3-1）第一部分為檔頭，共儲存 11 個欄位資料，全為文字記錄。例如表中第 1 列所儲存的資料中依序為(a)測站名：以文數字表示。(b)~(d)為經度值：單位為度、分、秒。(e)~(g)為緯度值：單位為度、分、秒。(h)測站高程：單位為 m。(i)、(j)分別為溫度及溼度，單位均為度。(k)為大氣壓力資料，單位為毫巴。其餘各列為實際記錄資料。

表 3-1 重力觀測資料計算標準格式環境資料檔

ID	經度			緯度			高程(M)	溫度	溼度	氣壓(毫巴)
KMNA	118	23	20.0	24	27	49.5	48.02	25.00	86	970.38
KM23	118	24	10.6	24	27	23.4	87.85	25.00	87	964.16
WX21A	118	24	15.0	24	27	11.6	175.02	25.00	89	970.45
WX22	118	25	53.2	24	26	39.1	39.82	25.00	93	970.30
WX27	118	25	44.5	24	24	27.8	29.70	23.00	90	970.43
W091	118	26	22.4	24	24	45.6	48.06	27.00	75	970.50
WX25	118	27	26.7	24	25	36.4	34.58	26.00	84	968.64
WX24	118	28	17.4	24	26	57.1	28.77	26.00	86	971.12
WX05	118	26	38.2	24	27	38.5	33.85	25.00	83	970.07
WX17A	118	25	44.1	24	28	23.1	60.73	27.00	79	968.25
WX17A	118	25	44.1	24	28	23.1	60.73	27.00	79	966.95
WX05	118	26	38.2	24	27	38.5	33.85	265.00	83	970.98
WX24	118	28	17.4	24	26	57.1	28.77	27.00	76	969.08
WX25	118	27	26.7	24	25	36.4	34.58	27.00	73	965.62
W091	118	26	22.4	24	24	45.6	48.06	25.00	81	963.20
WX27	118	25	44.5	24	24	27.8	29.70	23.00	86	965.57
WX22	118	25	53.2	24	26	39.1	39.82	25.00	80	977.48
WX21A	118	24	15.0	24	27	11.6	175.02	26.00	75	959.83
KM23	118	24	10.6	24	27	23.4	87.85	23.00	86	962.67
KMNA	118	23	20.0	24	27	49.5	48.02	24.00	83	970.29

(2) 觀測資料檔（表 3-2）第一部分為檔頭，共儲存 13 個欄位資料，全為文字記錄。例如表中第 1 列所儲存的資料中依序為(a)測站名：以文數字表示。(b)~(d)為日期：單位為西洋年、月、日。(e)~(g)為 utc 時間：單位為時、分、秒。(h)、(i)均為原始相對重力值：單位為 *mgal*。(j)為比較相對重力值，用於偵測儀器高錯誤之用，單位亦為 *mgal*。(k)為儀器高資料，單位為 *m*。(l)為固體潮改正量，單位為 *mgal*。(m)為儀器零點漂移改正量，單位為 *mgal*。其餘各列為實際記錄資料。

表 3-2　重力觀測資料計算標準格式觀測資料檔

ID	Date			Time			InstValue	RawGrav	ObsGrav	InstHeight	TideCorr	DirftCorr
KMNA	2012	04	29	02	03	29	2538.7511	2538.7511	2538.7857	0.112	0.0000	0
KM23	2012	04	29	02	30	39	2528.9123	2528.9123	2528.9648	0.170	0.0000	0
WX21A	2012	04	29	03	22	47	2530.4851	2530.4851	2530.5240	0.126	0.0000	0
WX22	2012	04	29	03	42	41	2538.1479	2538.1479	2538.1229	-0.081	0.0000	0
WX27	2012	04	29	04	58	40	2540.3191	2540.3191	2540.2268	-0.299	0.0000	0
W091	2012	04	29	06	20	45	2536.9175	2536.9175	2536.9713	0.174	0.0000	0
WX25	2012	04	29	06	41	24	2540.8613	2540.8613	2540.8752	0.045	0.0000	0
WX24	2012	04	29	07	01	19	2543.4784	2543.4784	2543.5143	0.116	0.0000	0
WX05	2012	04	29	07	21	58	2540.7463	2540.7463	2540.6584	-0.285	0.0000	0
WX17A	2012	04	29	08	38	22	2539.1531	2539.1531	2539.1695	0.053	0.0000	0
WX17A	2012	04	29	08	50	23	2539.1620	2539.1620	2539.1784	0.053	0.0000	0
WX05	2012	04	29	09	05	04	2540.7222	2540.7222	2540.6346	-0.284	0.0000	0
WX24	2012	04	29	09	21	55	2543.4447	2543.4447	2543.4805	0.116	0.0000	0
WX25	2012	04	29	09	39	38	2540.8642	2540.8642	2540.8781	0.045	0.0000	0
W091	2012	04	29	09	56	25	2536.8634	2536.8634	2536.9171	0.174	0.0000	0
WX27	2012	04	29	10	13	00	2540.2307	2540.2307	2540.1384	-0.299	0.0000	0
WX22	2012	04	29	10	35	19	2538.0550	2538.0550	2538.0298	-0.082	0.0000	0
WX21A	2012	04	29	10	52	60	2530.4168	2530.4168	2530.4557	0.126	0.0000	0
KM23	2012	04	29	11	06	31	2528.8104	2528.8104	2528.8632	0.171	0.0000	0
KMNA	2012	04	29	11	25	20	2538.6449	2538.6449	2538.6798	0.113	0.0000	0

若前述資料檢核無誤後，除輸出觀測資料的標準格式檔外，並製作測線表，其內容包括：地區、測線序號、測線名稱、觀測日期、測線中各測站站名、儀器序號、觀測人員、備註等相關資訊。

§3-2-3　山區臨時點 GPS 資料處理

本年度山區共計布設 11 個臨時重力點，為有效提昇點位坐標精度，其坐標採靜態 GPS 方式進行測量，其施測方式概述如下：

(1) 各組採用 Trimble 5700（搭配 Zephyr 天線盤）1 部施測。

(2) 各臨時點施測時，採單點施測，觀測時間約 30 分鐘，資料間隔為 5 秒。

(3) 考量山區道路運送不易，使用簡易型腳架架設天線盤。

(4) 靜態觀測資料採後處理方式計算點位坐標。

而各點的 GPS 觀測資料採取後處理方式進行，其處理步驟如下：

(1) 下載原始觀測資料並檢核修正錯誤。

(2) 截取各點單點定位資料，並利用單點定位坐標向國土測繪中心申請虛擬主站的觀測資料（http://www.egps.nlsc.gov.tw）。

(3) 各點虛擬主站資料與原始觀測資料，利用商用軟體 Topcon tools V8.2 版軟體進行基線向量的計算。

(4) 將基線向量代入商用軟體 Turbo-NET 中，進行各點的坐標平差計算。

經由前述方式處理後，11 個臨時重力點坐標成果如表 3-3。

表 3-3　山區臨時點位坐標成果表

序號	點號	緯度	σ (±m)	經度	σ (±m)	橢球高(*m*)	σ (±m)
1	GR25	N 22°24'39.29214"	0.007	E 120°44'16.16671"	0.008	1261.920	0.023
2	GR26	N 22°21'55.47344"	0.011	E 120°51'17.15128"	0.013	115.684	0.033
3	GR27	N 22°22'45.08517"	0.006	E 120°48'46.28643"	0.007	717.219	0.022
4	GR28	N 22°23'33.63557"	0.005	E 120°47'11.55911"	0.006	1127.238	0.015
5	GR29	N 23°09'00.79265"	0.009	E 120°51'42.18649"	0.009	2477.038	0.018
6	GR30	N 23°42'39.79214"	0.011	E 121°22'50.10236"	0.011	530.405	0.021
7	GR31	N 23°44'35.10817"	0.007	E 121°15'23.16778"	0.008	2543.740	0.019
8	GR32	N 23°21'13.62364"	0.006	E 121°11'11.47169"	0.006	1109.617	0.037
9	GR33	N 23°29'16.77719"	0.008	E 121°02'50.56283"	0.009	3406.999	0.033
10	GR34	N 23°27'33.57730"	0.009	E 121°03'22.44366"	0.009	3252.181	0.031
11	GR35	N 23°22'29.15120"	0.010	E 121°05'52.57003"	0.011	1334.352	0.018

§3-3　系統誤差改正

§3-3-1　系統誤差的處理方式

重力測量的每一測段，都必須由人員攜帶儀器設備實地進行測量，因此在觀測作業中，因為人為的因素、觀測儀器的誤差及外在環境因素的干擾，導致觀測量隱含誤差量的存在。若依誤差之性質可以分為偶然誤差、系統誤差與粗差。其中，觀測量的粗差可藉由嚴密的測量步驟與完整的檢核方式發現，並由觀測量中加以剔除，因此剩餘的系統誤差的大小，將直接影響水準測量成果之良窳。重力控制網為國家基本控制網，其重力值不隨時間而變。然而，地球上任何一點之重力值會隨時間而變化；而引起變化的環境因素有日、月之潮位引力（tidal attraction），海潮引力（attraction of ocean tide），氣壓改變，地球之極移（polar motion），地下水位變化，土壤濕度改變等。

對於上述的種種影響重力值的系統誤差，我們利用下列不同的方式來加以處理，目的均是使系統誤差對觀測量的影響降至最小，以求得不隨時間而變重力值成果。並以下列兩種方式個別處理，其中利用系統誤差改正模式進行修正將於後續小節進行說明。

(1) 利用系統誤差改正模式進行修正：如日、月之潮位引力（tidal attraction），海潮引力（attraction of ocean tide），氣壓改變，地球之極移（polar motion）等。

(2) 忽略微小系統誤差之影響：利用系統誤差改正模式其實並無法完全消除系統誤差的存在，僅是將其誤差的影響量消弭至最小，而重力測量中有許多的系統誤差存在，當我們確定其量值對成果之影響微乎其微，甚至遠低於觀測之精度時，若大費周章地處理這類系統誤差，不僅耗費大量成本，實際上更可能無法完善最終的成果精度，因此實際作業上將忽略這類誤差的影響，將其視為偶然誤差。如地下水位變化、土壤濕度改變等變化值甚小（1 μgal 以下），對相對重力觀測影響不大。

為求得一不隨時間而變化之重力值，須定義一「正常」之地球狀態，此狀態為無日、月之潮位引力、無海潮（即海水面為平均海水面）、氣壓為標準大氣壓、無極移、地下水位為一長時間平均位及土壤濕度值為一長時間平均值。本計畫作業所考慮環境引起之重力變化僅為前述日、月之潮位引力（tidal attraction），海潮引力（attraction of ocean tide），氣壓改變，地球之極移（polar motion）等 4 項，其所涉及之模式可於 Torge（1989），Vanicek and Krakiwsky（1986），Moritz and Mueller（1987），Melchoir（1983）之文獻中得知。

§3-3-2　日月潮位引力產生之重力變化

日月潮位引力對地表一點產生兩種重力變化：(1)由引力產生之重力變化；(2)由地球變形而產生之重力變化。

(1)　因直接引力造成之重力變化為：

$$g_t^1 = -\frac{\partial(W_m + W_s)}{\partial r} = -\frac{GM_m r}{R_m^3}(3\cos^2\psi_m - 1) - \frac{3}{2}\frac{GM_m r^2}{R_m^4}(5\cos^2\psi_m - 3\cos\psi_m) - \frac{GM_s r}{R_s^3}(3\cos^2\psi_s - 1) \qquad (3\text{-}1)$$

其中 GM_m：牛頓萬有引力常數乘月球質量（$4902.778 km^3 s^{-2}$）

GM_s：牛頓萬有引力常數乘太陽質量（$1.327124399\times10^{11} km^3 s^{-2}$）

r：該點與地心之距

R_m：地心與月球中心之距

R_s：地心與太陽中心之距

ψ_m：該點與月球在地心之夾角

ψ_s：該點與太陽在地心之夾角

(2)　按 Moritz and Mueller（1987），此引力造成地表變形而再次引起重力變化，其大小為：

$$g_t^2 = (h - \frac{3}{2}k)g_t^1 \qquad (3\text{-}2)$$

其中 h、k 為 Love number。因 $h = 0.6$，$k = 0.3$，故總重力變化為：

$$g_t = g_t^1 + g_t^2 = (1 + h - \frac{3}{2}h)g_t^1 = 1.15 g_t^1 \qquad (3\text{-}3)$$

採用（3-3）式之 g_t 值。所需之日、月坐標及 ψ_m，ψ_s 均由 JPL 之 DE200 星曆嚴密計算而得，較之一般之簡易公式，如 Dehlinger（1978）較為準確，本計畫使用程式適用時間為 1990-2020 年，g_t 之最大值約為 $0.3\,mgal$。

§3-3-3　海潮質量引起之重力變化

如圖 3-2 中，p 為地表一點，q 為海面一點，潮高為 h，則因海潮之起伏引起地球質量重新分佈（相對於一平均海水面），而產生之位（potential）為：

$$T = G\rho_w \int_{\phi=-\pi/2}^{\pi/2} \int_{\lambda=0}^{2\pi} \frac{hr^2}{s} d\sigma = G\rho_w \int_{\phi} \int_{\lambda} \frac{hr^2}{\sqrt{r_q^2 + r_p^2 - 2r_p r_q \cos\psi}} d\sigma \qquad (3\text{-}4)$$

其中 ρ_w 為海水之密度（約 $1.03\, g \cdot cm^{-3}$），$d\sigma = \cos\phi d\phi d\lambda$。

令 $r_q = r$，$r_p = r_q + h_p = r + h_p$，則海潮產生之重力變化為：

$$g_o(\phi_p, \lambda_p) = -\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial r_p} = GP_w \int_{\phi} \int_{\lambda} \frac{h(\beta - u)}{(1 + \beta^2 - 2\beta u)^{3/2}} d\sigma \qquad (3\text{-}5)$$

其中

$$\beta = \frac{r + h_p}{r} \qquad (3\text{-}6)$$

$$u = \cos\psi = \sin\phi \sin\phi_p + \cos\phi \cos\phi_p \cos(\lambda - \lambda_p) \qquad (3\text{-}7)$$

式（3-5）之全球積分可以數值方法算得，潮高 h 可由海潮模式算得。此項改正以 Gauss guadrature 方法（Press et al., 1993）計算（3-5）式之積分。潮高則來自 NAO.99jb 海潮模式（Matsumoto et al., 2000），計算時分內圈及外圈效應。內圈涵蓋以重力站為中心經、緯度之範圍，且於網格上計算潮高而積分，外圈涵蓋全球（此時內圈之潮均設為零），且於網格上計算潮高而積分。一般而言，潮高愈大則（3-5）式之愈大，而離海岸愈遠則愈小。

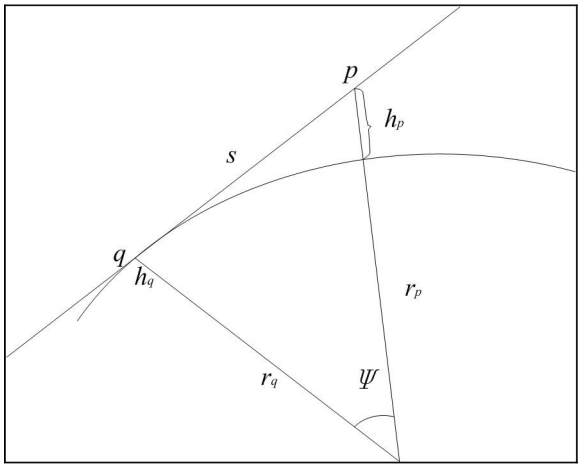


圖 3-2　潮高與 p 點所受之引力（q 點為海面上任一點）

§3-3-4　極移改正

地球自轉引起離心位（centrifugal potential）可表為：

$$W_C = \frac{1}{2}\omega_e^2 r^2 \cos^2\phi \qquad (3\text{-}8)$$

其中 ω_e：地球自轉速度（$7.291215147\times10^{-5}\,rad\,s^{-1}$）

r：點位離地心距

ϕ：緯度

極移將使緯度產生變化而引起 ω_e 之變化，即

$$\delta W_c = W_p = \frac{\partial\omega_e}{\partial\phi}\delta\phi = -\frac{1}{2}r^2\omega_e^{\,2}\sin 2\phi\delta\phi = -\frac{1}{2}r^2\omega_e^2\sin 2\phi(x_p\cos\lambda - y_p\sin\lambda) \qquad (3\text{-}9)$$

其中 x_p，y_p 為極移之分量，其符號定義見 Moritz and Mueller（1987）。而極移引起之重力變化：

$$g_m = -\frac{\partial W_p}{\partial r} = r\omega_e^2\sin 2\phi(x_p\cos\lambda - y_p\sin\lambda) \qquad (3\text{-}10)$$

x_p，y_p 自 IERS（國際地球自轉服務）取得而計算 g_m，g_m 之數量級為數 μgal，且變化緩慢。

§3-3-5　大氣壓力改正

此變化量為（Torge，1989）：

$$g_p = -3(\mathrm{P} - \mathrm{P}_n)\times10^{-4}\,mgal \qquad (3\text{-}11)$$

其中 P：觀測時之壓力（$h\mathrm{P}_a$，百帕）

P_n：標準壓力

而標準壓力與海拔有關，其公式為：

$$\mathrm{P}_n = 1013.25\left(1-\frac{0.0065H}{288.15}\right)^{5.2559} \quad \text{（百帕）} \tag{3-12}$$

其中 H 為重力點之海拔高（單位：m）。若觀測兩站時壓力差為 $10\,h\mathrm{P}_a$，則此兩站相對重力值由壓力引起之誤差為 $3\,\mu gal$。

§3-3-6 儀器高改正

經過以上各項改正後得到的重力值是落體質量頂部位置的重力值，一般需將該重力值轉換到地面重力標誌上，計算公式為：

$$\delta_g = V_g H \tag{3-13}$$

其中，$\mathrm{V_h}$ 為測點重力垂直梯度，一般之自由空間梯度值約為 $0.3086\,mgal/m$，亦可實際測得加以運用；H 為儀器高度。

§3-3-7 漂移改正

實際施行重力測量時，影響重力觀測量之因素除環境改正因素外，尚有重力儀本身彈簧之零點漂移影響重力觀測值，此種重力儀引起之系統誤差必須以適當數學函數模式化，而模式中所需的參數則於重力平差計算時求解。本計畫所使用之重力儀系統誤差－重力儀漂移(drift)以讀數 z 和時間 t 之間的關係作泰勒函數展開(Taylor series expansion)來模擬重力儀漂移，其公式如下：

$$z(t) = z(t_0) + (\frac{\partial z}{\partial t})_0 (t-t_0) + \frac{1}{2}(\frac{\partial^2 z}{\partial t^2})(t-t_0)^2 + \frac{1}{6}(\frac{\partial^3 z}{\partial t^3})(t-t_0)^3 + ... \tag{3-14}$$

其中 t_0 為各個量測時段的參考時間。

上（3-14）式可轉換成漂移多項式：

$$\begin{aligned} z(t) &= z(t_0) + d_1(t-t_0) + d_2(t-t_0)^2 + d_3(t-t_0)^3 + \cdots \\ &= z(t_0) + \sum_{p=1}^{s} d_p (t-t_0)^p = z(t_0) + D(t) \end{aligned} \tag{3-15}$$

其中 $z(t_0)$ 表示參考時刻 t_0 時的近似儀器零點漂移。

一原始重力觀測值（為儀器讀數），經過初步的率定、化算和率定函數與儀器漂移改正及重力變化改正後，可組成觀測方程式：

$$l + v = g + N_0 + \Delta F(z) + D(t) \tag{3-16}$$

其中 v 為 l（約化後重力觀測值）之改正數，N_0 為未知基準。按（3-16）式則 i, j 兩站的約化後的重力觀測組成方程式為：

$$\Delta l_{i,j} + v_{i,j} = g_j - g_i + (\Delta F(z_j) - \Delta F(z_i)) + (D(t_j) - D(t_i)) \tag{3-17}$$

其中 v_{ij} 為 Δl_{ij} 之殘差，（3-17）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。

若有 n 個觀測量，則可以矩陣表示為：

$$\mathrm{L}^{\mathrm{b}} + \mathrm{V} = \mathrm{AX},\quad \mathrm{L}^{\mathrm{b}}\ \text{之權矩陣} = \mathrm{P} = \sigma_0^2 \Sigma^{-1} \tag{3-18}$$

其中 L^{b} ：相對重力觀測量，矩陣大小為 $n \times 1$

V ：觀測量之殘差，矩陣大小為 $n \times 1$

A ：係數矩陣

X ：未知數，矩陣大小為 $u \times 1$，u 為未知數個數。未知數包括重力值 g_i 、儀器參數 b_l, x_l, y_l 及漂移率 d_p

令 $\mathrm{V}^{\mathrm{T}}\mathrm{PV} =$ 最小，則得法方程式（Koch, 1987）：

$$(A^T PA)X = A^T PL \tag{3-19}$$

則未知數 X 可求解如（3-20）式

$$X = (A^T PA)^{-1}(A^T PL) \tag{3-20}$$

§3-4　測線成果檢核與分析

§3-4-1　往返閉合差分析

在重力測量中，利用規範每一測線與測段往返閉合差的數值，為控制重力測量精度及檢核測量成果品質最有效及最直接的方法；本計畫依照一等重力測量規範規定，其測線與測段往返閉合差應小於 0.15*mgal*。理論上，兩地間的重力差值應為一固定值，若沒有大錯誤及系統誤差存在，則往返閉合差之均值期望值應等於零且趨於常態分布，圖 3-3、圖 3-4 分別顯示測段與測線閉合差的統計結果（詳細成果參照附錄 C、附錄 D），由於本計畫測線數量不多（樣本數少），故呈現的結果較不符合預期。

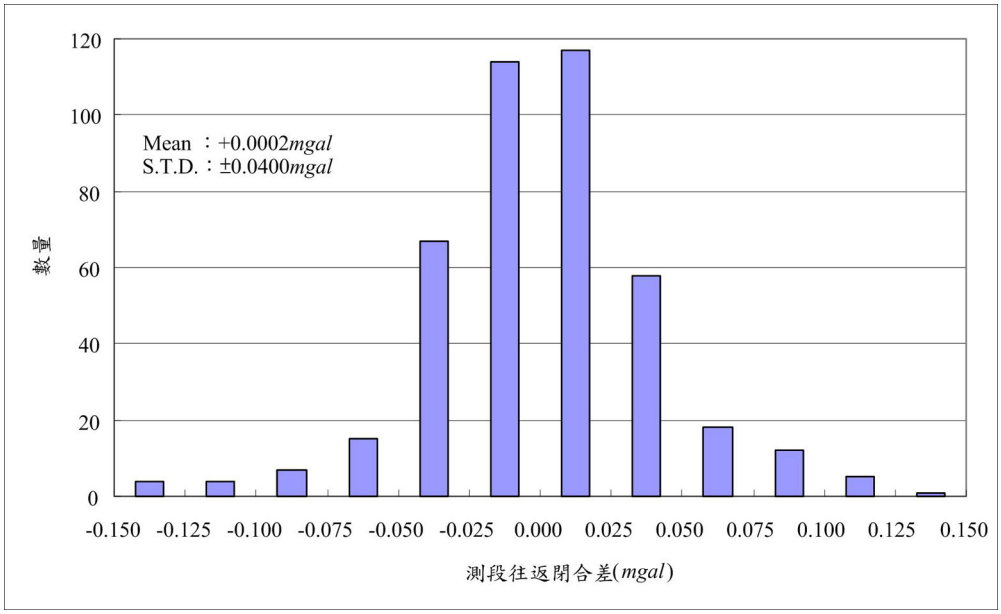


圖 3-3　測段往返閉合差統計圖

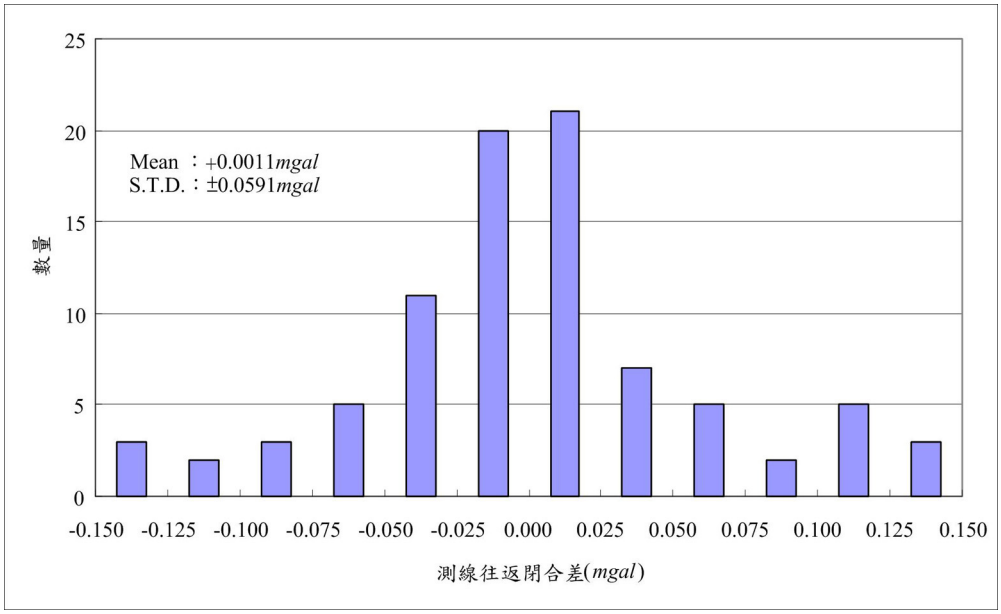


圖 3-4　測線往返閉合差統計圖

§3-4-2　環線閉合差分析

每一測線觀測資料經過上述流程檢核後，再經系統誤差改正，理論上已經將每一測線資料的人為錯誤與系統誤差修正完畢，僅剩偶然誤差存在，則由其組成的環線閉合圈之閉合差理當為零，但每一條測段來說，由於施測先後的順序不同，各測段的觀測日期自無法相同，由於臺灣地區位處地殼活動頻繁的區域，西南沿海地區又有嚴重的地層下陷問題，因此當環線閉合圈各測段因觀測日期不同時，其環線閉合差自然不可能為零，因此必須界定環線閉合差的容許範圍，以避免因地殼變動或環境噪聲影響造成誤差的累積，影響到後續的重力網平差計算。

針對重力測量的環線閉合差檢查，基本上除了可檢核組成環線的測段中，是否尚有人為的錯誤存在，如點號、測段方向或是缺失遺漏的測段等，或是前述因觀測日期的影響所產生非人為因素的偏差。本計畫依照合約規範規定，其環線閉合差一等重力測量應小於 0.80 *mgal*，表 3-4 顯示本計畫之環線閉合差成果（其中環線 7、環線 8 因施測時與 100 年度測線整體規劃，故合併 100 年度結果計算）。各區環線分布參照圖 3-5~圖 3-10。

表 3-4　重力環線閉合差分析成果表

編號	地區	測站總數	系統誤差改正前環線閉合差($mgal$)	系統誤差改正後環線閉合差($mgal$)	備註
01	本島	11	-0.2421	-0.1154	
02	本島	10	0.1983	0.0553	
03	本島	18	0.1600	0.0132	
04	本島	9	-0.1803	-0.0378	
05	本島	15	-0.0216	0.0320	
06	本島	11	0.2185	0.0178	
07	本島	14	-0.0675	-0.0616	併 100 年度資料
08	本島	7	0.0200	0.0761	併 100 年度資料
09	本島	6	0.0886	0.0507	
10	本島	9	-0.0131	-0.0275	
11	本島	8	-0.1110	-0.1121	
12	本島	5	0.0709	0.1052	
13	本島	9	0.0064	0.1871	
14	本島	7	-0.1077	-0.2249	
15	本島	10	-0.2078	-0.2120	
16	本島	18	0.2242	0.2145	
17	澎湖	3	0.0008	0.0183	
18	澎湖	9	0.0126	-0.0365	
19	澎湖	14	0.0112	0.0842	
20	澎湖	14	-0.1001	-0.0611	
21	澎湖	9	0.0199	-0.0890	
22	澎湖	11	0.1104	-0.0286	
23	澎湖	12	0.0299	0.1249	
24	澎湖	7	-0.1547	-0.1517	
25	澎湖	8	0.0501	0.0389	
26	澎湖	5	-0.0058	0.1091	
27	澎湖	7	-0.0604	0.1032	
28	金門	13	-0.0719	-0.0252	
29	金門	10	0.0204	-0.0404	
30	金門	16	-0.0901	-0.0645	
31	金門	6	0.1636	0.0965	
32	金門	6	0.0217	-0.0815	
33	金門	7	-0.0972	-0.0367	
34	馬祖	14	-0.1270	-0.1648	
35	馬祖	5	0.0398	-0.0654	
36	馬祖	7	-0.1852	-0.0744	
37	蘭嶼	15	-0.6844	-0.0029	
38	蘭嶼	12	0.3936	0.0321	
39	綠島	10	-0.0935	-0.0582	

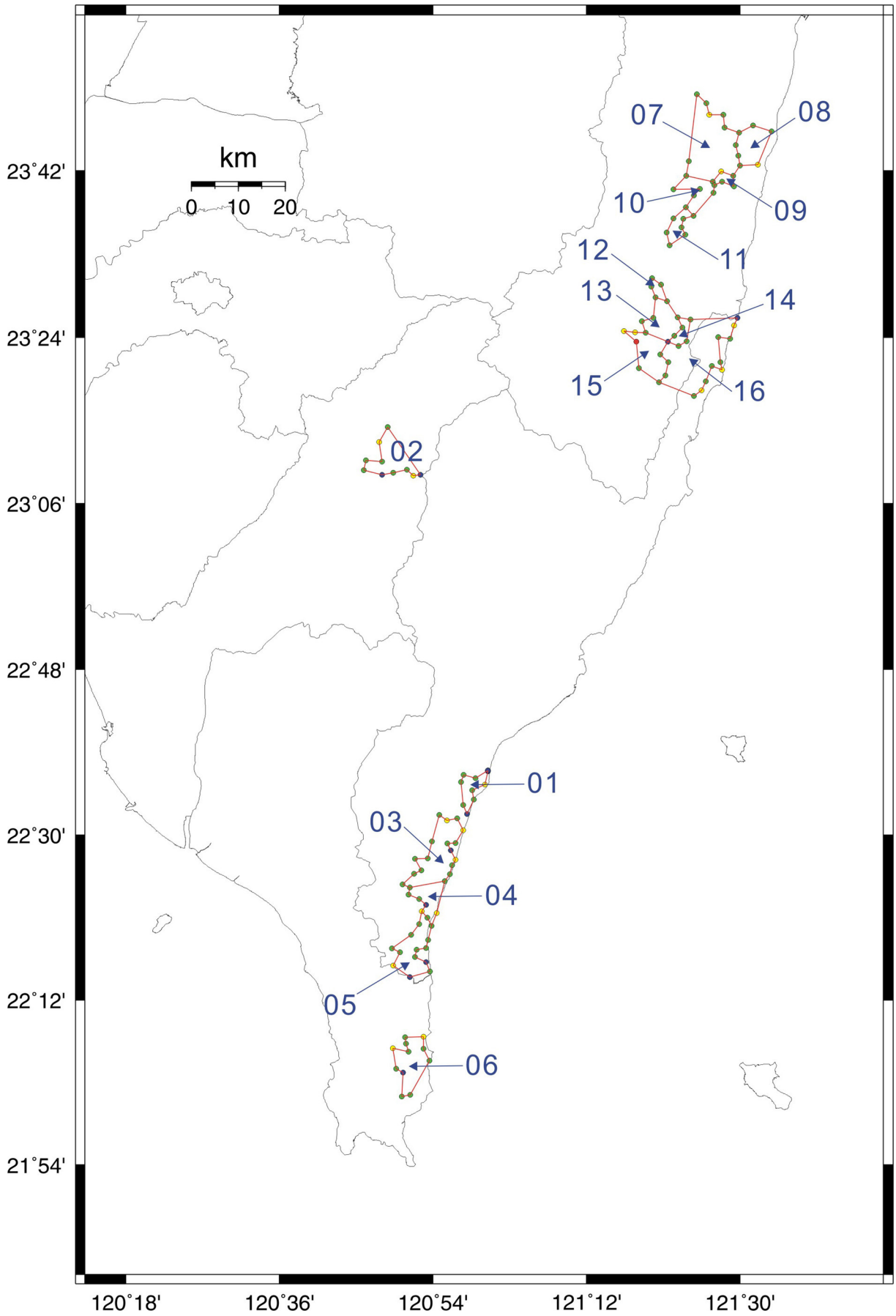


圖 3-5　臺灣本島地區重力環線分布示意圖

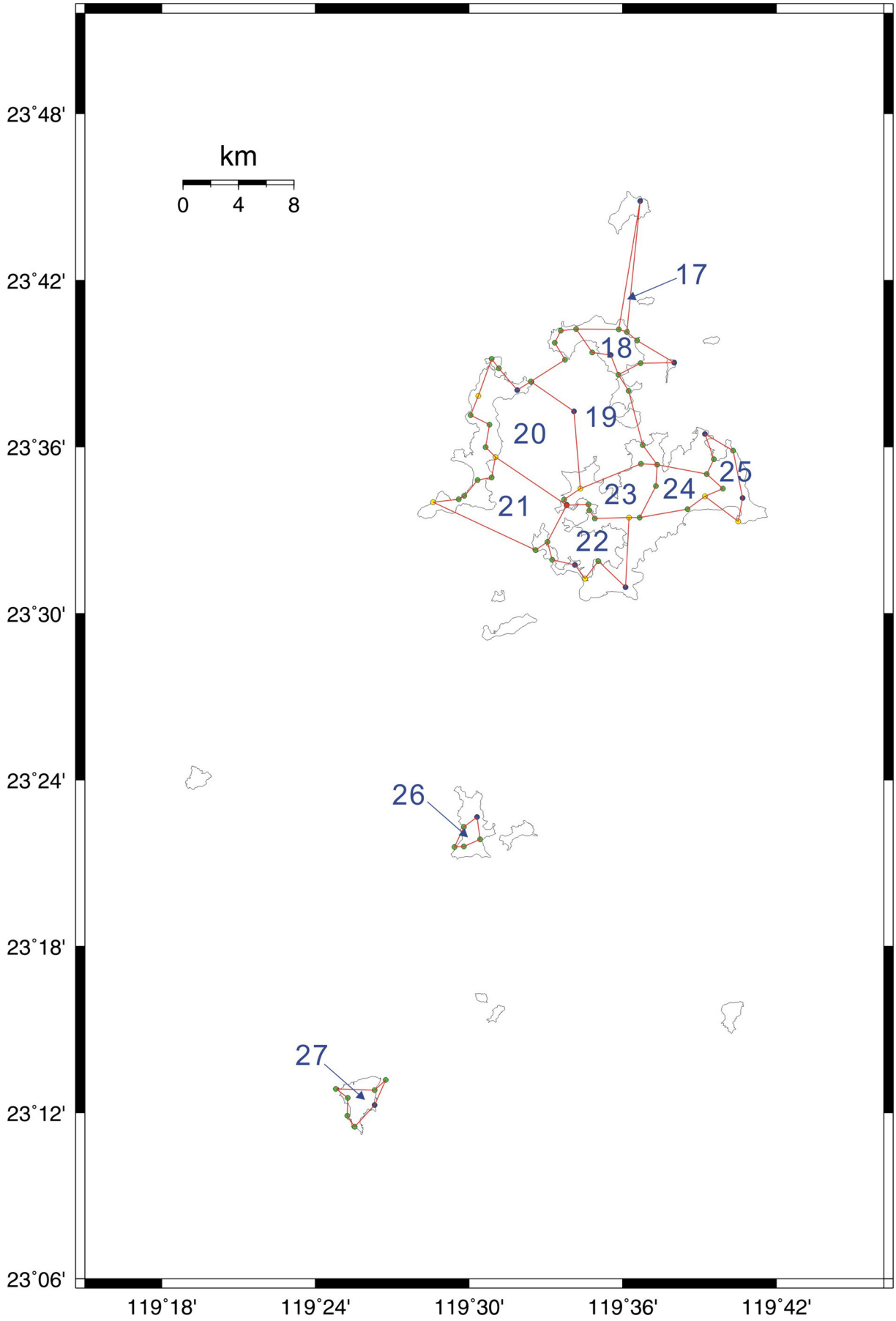


圖 3-6　澎湖地區重力環線分布示意圖

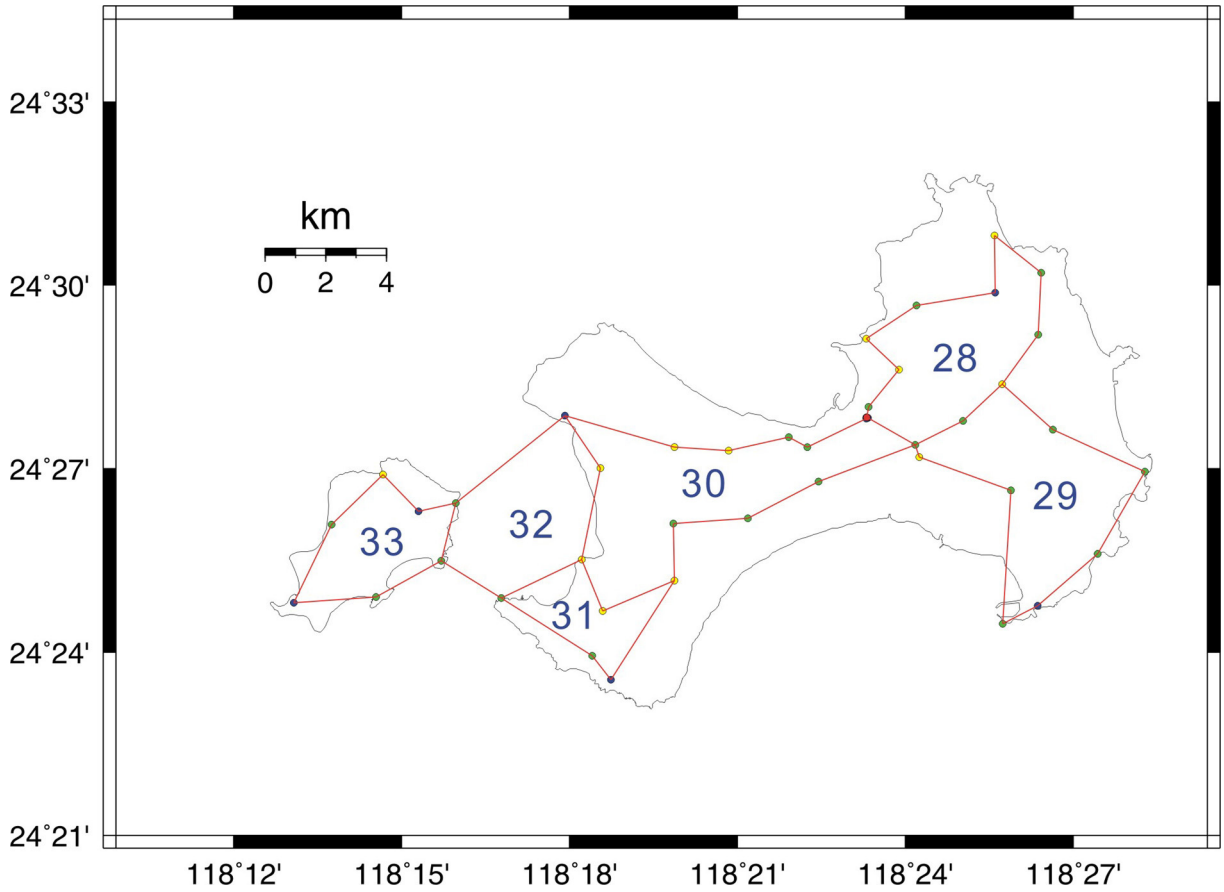


圖 3-7　金門地區重力環線分布示意圖

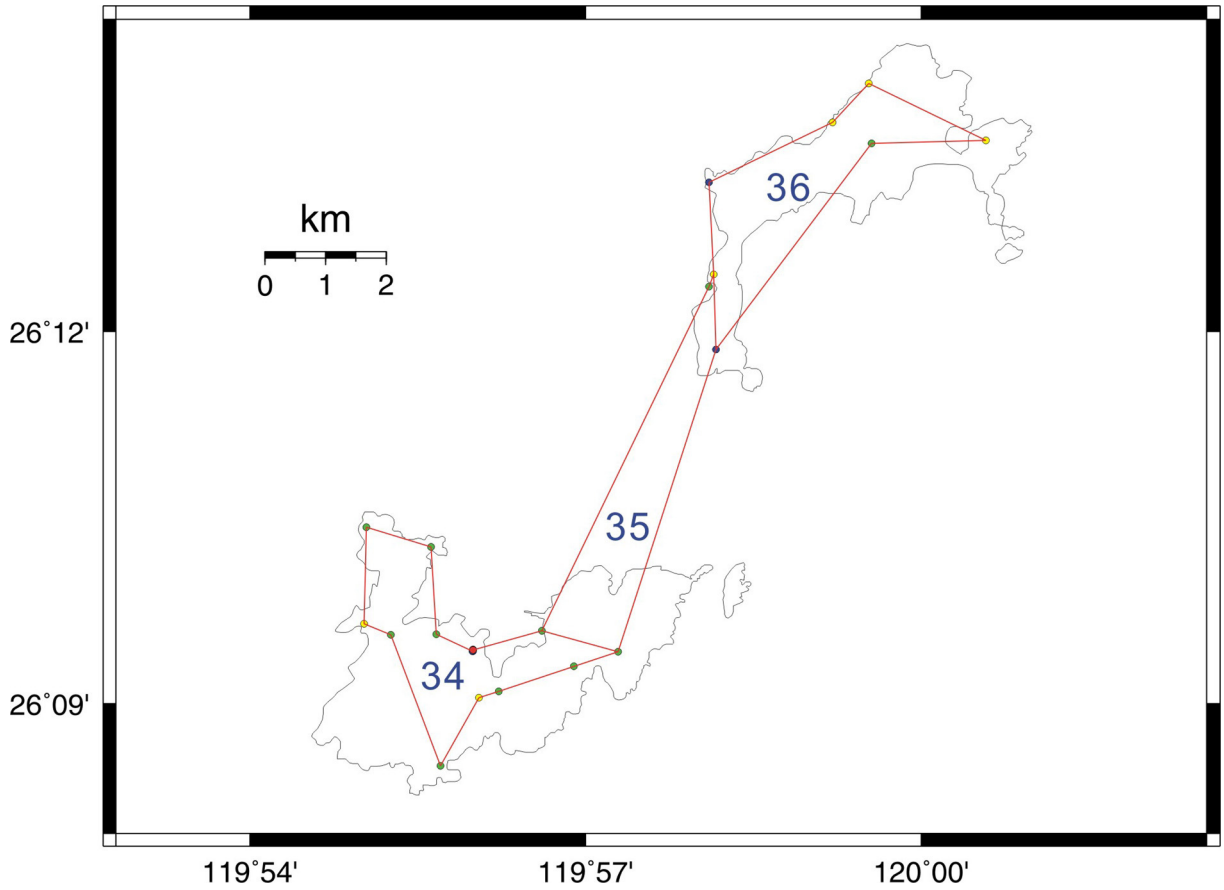


圖 3-8　馬祖地區重力環線分布示意圖

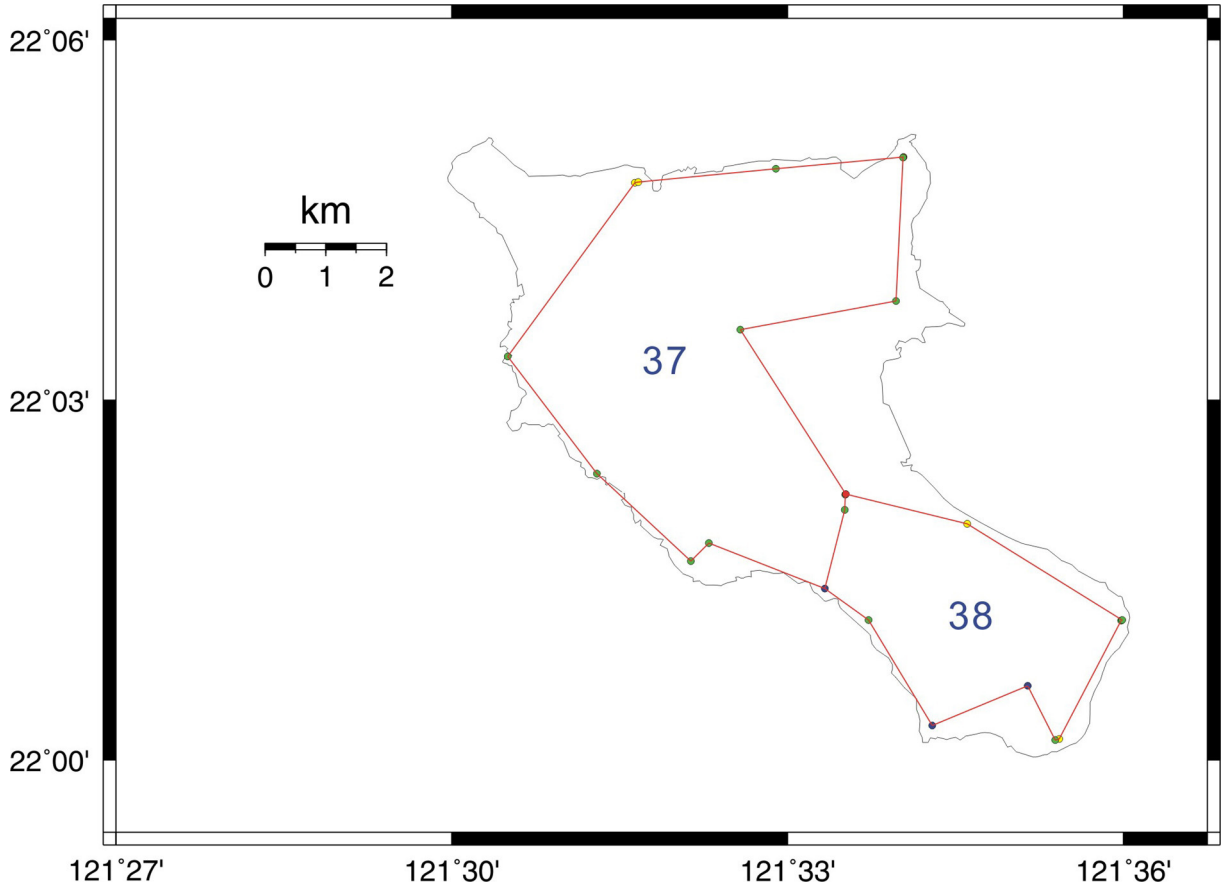


圖 3-9　蘭嶼地區重力環線分布示意圖

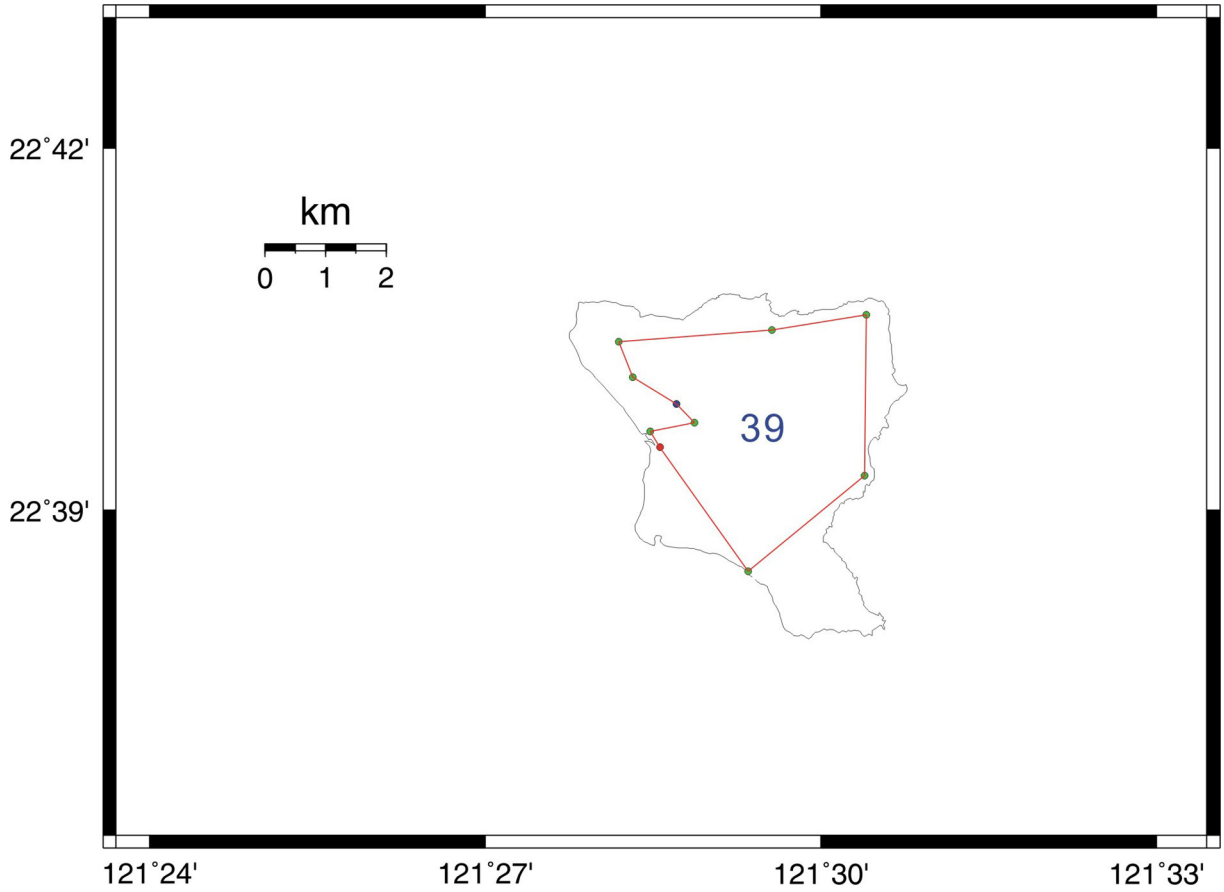


圖 3-10　綠島地區重力環線分布示意圖

第四章　重力網平差計算

§4-1　重力網平差計算的原理

本計畫擬使用重力網平差計算軟體為由國立交通大學土木系所開發之 gravnet 計算程式，利用進行各項平差工作與偵錯，其平差計算與原理如以下所敘。

在進行平差作業計算時，將原始重力觀測值（為儀器讀數），經過初步的率定、化算和率定函數與儀器零點漂移改正及重力變化改正後，組成之觀測方程式如下：

$$l + v = g + N_0 + \Delta F(z) + D(t) \tag{4-1}$$

其中 v 為 l（約化後重力觀測值）之改正數，N_0 為未知基準。按（4-1）式則 i, j 兩站的約化後的重力觀測組成方程式為：

$$\Delta l_{i,j} + v_{i,j} = g_j - g_i + (\Delta F(z_i)) + (D(t_j) - D(t_i)) \tag{4-2}$$

其中 v_{ij} 為 Δl_{ij} 之殘差，(4-2）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。

若有 n 個觀測量，則可以矩陣表示為：

$$L^b + V = AX, \quad L^b\text{之權矩陣} = \mathrm{P} = \sigma_0^2 \Sigma^{-1} \tag{4-3}$$

其中 L^b：相對重力觀測量，矩陣大小為 $n \times 1$

V：觀測量之殘差，矩陣大小為 $n \times 1$

A：係數矩陣

X：未知數，矩陣大小為 $u \times 1$，u 為未知數個數。未知數包括重力值 g_i、儀器參數 b_l, x_l, y_l 及漂移率 d_p。

令 $\mathrm{V}^{\mathrm{T}}\mathrm{PV} =$ 最小，則得法方程式（Koch, 1987）：

$$(A^T PA)X = A^T PL \tag{4-4}$$

以（4-3）式所建構之觀測方程式，若無加約制條件，排除圖形缺失，則系統之秩虧度（rank defect）為 1，說明如下：假設重力點數為 k 個則重力儀之參數為 $(u-k)$ 個，重力觀測方程式之係數矩陣 A 之每一列之前 k 個元素由 0、-1、1 組成（其中-1、1 只出現一次），因此：

$$Ay = 0 \tag{4-5}$$

$$y^T = c\left[\underbrace{1 \quad 1 \quad \cdots \quad 1}_{k} \quad \underbrace{0 \quad 0 \quad \cdots \quad 0}_{u-k}\right] \tag{4-6}$$

其中 c 為任一非零之常數，因此 A 之 Null Space 有一非零元素，即表示 A 之秩虧度為 1，若不採加權約制平差而欲使法方程式（4-4）有唯一解，可令 $\hat{X}$ 的解必須滿足下列基準條件（Koch, 1987）：

$$S^T \hat{X} = 0 \tag{4-7}$$

且

$$AS = 0 \tag{4-8}$$

因此（4-6）式中之 y 矩陣恰可為（4-7）之 S 向量。為方便，可令 $c = 1$，則：

$$S^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 \cdots & 100 \cdots & 0 \end{bmatrix} \tag{4-9}$$

滿足（4-4）及（4-6）之解為最小範數解（minimum norm solution）或自由網解（datum-free solution，因不需固定任何點位）：

$$\hat{X}^+ = (A^T PA + SS^T)^{-1} A^T PL^b = (N + SS^T)^{-1} U \tag{4-10}$$

經誤差傳播得 $\hat{X}^+$ 後驗協變方矩陣為：

$$\hat{\Sigma}_{\hat{X}^+} = \hat{\sigma}_0^2 (N + SS^T)^{-1} N (N + SS^T)^{-1} = \hat{\sigma}_0^2 N^+ \tag{4-11}$$

而後驗單位權變方為：

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T PV}{n + 1 - u} \tag{4-12}$$

由上述解出之 $\hat{X}^+$，因滿足（4-6）式，故：

$$\sum_{i=1}^{k} \hat{g}_i = 0 \tag{4-13}$$

其中 $\hat{g}_i$ 為第 i 站之重力估值（含於向量 $\hat{X}^+$ 中）。(4-12）式可解釋為所有點的重力值之平均為零。因此，由自由基準解得之 $\hat{g}_i$ 值非真正之重力，然而，自由基準之改正數 V 為唯一解且有意義（Koch, 1987）。令：

$$\hat{X}^+ = \begin{bmatrix} \hat{X}_g \\ \hat{X}_I \end{bmatrix} \quad A = [A_{11}\ A_{12}] \tag{4-14}$$

其中 $\hat{X}_g$ 含重力值，$\hat{X}_I$ 含儀器參數，則兩站間改正後之相對重力 ΔG 為唯一，且可表為：

$$\Delta G = A_{11}\hat{X}_g = V + L - A_{12}\hat{X}_I \tag{4-15}$$

故可由平差後兩者間之相對重力值，以一個固定重力值推求重力網中所有點之重力值。另一克服重力網平差系統奇異之方法為加入未知數之觀測方程式（或稱加權約制方程式），做為約制條件，即利用已知重力點之重力值及其先驗標準偏差進行加權約制平差，其未知數（重力）觀測方程式為：

$$V_X + L_X = A_X X \text{ ， } L_X \text{權矩陣} = P_X \tag{4-16}$$

以 L 和 L_X 組成之觀測方程式為：

$$\overline{V} = \begin{bmatrix} V \\ V_X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ A_X \end{bmatrix} \hat{X}^a - \begin{bmatrix} L \\ L_X \end{bmatrix} = \overline{A}X - \overline{L} \quad \text{權矩陣} = \overline{P} = \begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & P_X \end{bmatrix} \tag{4-17}$$

令 $\overline{V}^T P \overline{V}$ = 最小值，則利用最小二乘法解出未知參數之估值 $\hat{X}^a$ 為：

$$\hat{X}^a = (A^T PA + A_X^T P_X A_X)^{-1}(A^T PL + A_X^T P_X L_X) \tag{4-18}$$

觀測量之改正數的加權平方和為：

$$\overline{V}^T P \overline{V} = V^T PV + V_X^T P_X V_X \tag{4-19}$$

後驗單位權變方為：

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\overline{V}^T P \overline{V}}{n-u+r} \tag{4-20}$$

其中 n 為相對重力觀測之數目；u 為未知參數的個數；r 為約制點之數目（即（4-16）式中之方程式個數）

令 $A_X^T P_X A_X = \overline{P}_X$ ，則（4-18）式可改寫為

$$\hat{X}^a = (A^T PA + \overline{P}_X)^{-1}(A^T PL + A_X^T P_X L_X) \tag{4-21}$$

經誤差傳播得未知參數 $\hat{X}^a$ 之變方-協變方矩陣（variance-covariance matrix）為：

$$\Sigma_{\hat{X}^a} = \hat{\sigma}_0^2 (A^T PA + \overline{P}_X)^{-1} \tag{4-22}$$

在加權約制平差的過程中，約制用控制點之設計矩陣 A_X 為一特殊類型矩陣，其行數（columns）和列數（rows）皆等於未知參數個數（令為 u ），除了相對於約制用控制點之未知參數的對角線元素值為+1 外，其餘元素都為零的 $u \times u$ 矩陣。而 P_X 為約制用已知點之權值所組成的對角線矩陣，其維數為 $u \times u$，所以 $\overline{P}_X$ 與 $A^T PA$ 皆為 $u \times u$ 矩陣。而 $\overline{P}_X$ 為一個除了相對於約制用控制點未知參數的對角線上元素值為控制點權值外，其餘元素都為零的 $u \times u$ 對角線矩陣。例如，若僅以第 2，3 點為約制點，且其先驗權值分別為 P_2 和 P_3，則

$$\overline{P}_X = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & P_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & P_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \tag{4-23}$$

由上式得知，約制點的權值可直接加入由相對重力觀測所組成之法方程矩陣（ $A^T PA$ ）相對於約制用控制點之未知參數的對角線元素。當約制點之權值為無限大時，平差後之值會與平差前所給予的控制點值相同，且相應之殘差為零，即固定該點。當約制點之權介於 0 與∞之間時，先驗值變動之大小與權成反比。再者，若無圖形缺失則本平差系統只需約制一點即可。僅約制一點而平差時，稱之為最小約制平差（minimum constraint adjustment）。

若當粗差存在於資料中時，是無法以平差的方式來改正，此時所得之平差結果必會不正確。再者，若所使用的數學模式及隨機模式不正確亦會得到錯誤的平差結果。根據下列之條件式，若成立則表示所用之模式是正確且完整的（Koch, 1987）。

$$\chi^2 = \frac{m\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} < \chi_c^2(1-\alpha;m) \tag{4-24}$$

其中σ_0^2、$\hat{\sigma}_0^2$分別為先驗、後驗單位權變方，m為平差之自由度，$\chi_c^2(1-\alpha;m)$為當信心水平為$(1-\alpha)$，自由度為m時之χ^2分布之臨界值。反之，若（4-24）式不成立即表示：

(1) 有粗差存在於資料中：檢核所有觀測資料並藉由粗差偵錯之測試進行資料之偵錯及剔除。
(2) 隨機模式不適當。
(3) 數學模式不適當：須針對所使用之模式加以分析並重新修正。
(4) 所用之權值不正確：檢核是否有差一個尺度之關係。
(5) 先驗權值σ_0^2估計不當。

粗差偵側有很多個方法，如 Baarda's data snooping 方法（Baarda, 1968）、Pope's τ-test 方法（Pope, 1976）等，根據 Caspary（1987）實驗結果顯示，上述兩種方法對於偵錯的能力都很好，在本次作業偵錯方式乃採用 Pope's τ-test 方法，使用此法時需計算殘差之協變方矩陣，由於解算時牽涉到法方程式，因此兩平差法之計算公式有所不同，故分別說明之。

於自由網時首先將（4-3）式表示為：

$$V^+ = \left[A(N+SS^T)^{-1}A^TP - I\right]L^b = KL^b \tag{4-25}$$

經誤差傳播及$AS = NS = 0$性質即可得殘差之協變方矩陣：

$$\Sigma_{V^+} = \hat{\sigma}_0^2 KP^{-1}K^T = \hat{\sigma}_0^2(P^{-1} - AN^+A^T) = \hat{\sigma}_0^2\left[P^{-1} - A(N+SS^T)^{-1}A^T\right] \tag{4-26}$$

若進行加權約制時首先將（4-6）式表示為：

$$V = \begin{bmatrix} A \\ A_X \end{bmatrix}\left[\overline{N}^{-1}(A^TP \quad A_XP_X) - I\right]\begin{bmatrix} L \\ L_X \end{bmatrix} = G\begin{bmatrix} L \\ L_X \end{bmatrix} \tag{4-27}$$

令 $\overline{N} = A^T PA + A_X^T P_X A_X$ ，$z = [V \quad V_X]^T$ 經誤差傳播即可得殘差之協變方矩陣：

$$\Sigma_z = \hat{\sigma}_0^2 G \begin{bmatrix} P^{-1} & 0 \\ 0 & P_X^{-1} \end{bmatrix} G^T = \hat{\sigma}_0^2 \begin{bmatrix} P^{-1} - A\overline{N}^{-1}A^T & -A\overline{N}^{-1}A_X^T \\ -A_X\overline{N}^{-1}A^T & P_X^{-1} - A_X\overline{N}^{-1}A_X^T \end{bmatrix} \tag{4-28}$$

令 v_i 為第 i 個觀測量之殘差，由 Σ_{V^+} 或 Σ_Z 之對角元素開方即可求得 v_i 之標準差 σ_{v_i} 。若

$$\frac{|v_i|}{\sigma_{v_i}} > \tau_c(1-\frac{\alpha}{n};1,m) \tag{4-29}$$

則第 i 個觀測量即為粗差。（4-29）式中 n 為觀測量之數目，α 及 m 如同（4-24）式定義，τ_c 為當信心水平為 $(1-\alpha/n)$，平差之自由度為 1 及 m 時之臨界值（Pope, 1976）。平差時若以加權約制解算，則（4-29）式可測試其約制之值是否合理。若（4-29）式成立則該觀測量應於資料中剔除再做計算。當殘差之協變方矩陣不易計算時，可採用下列近似公式：

$$\sigma_{v_i} \approx \sqrt{\frac{n-u}{n}} \times \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{P_i}} \tag{4-30}$$

但其先決條件是觀測量之間彼此為不相關，P_i 為第 i 個觀測量之權值。

§4-2　重力網平差計算的方法

§4-2-1　重力觀測資料的彙整

本計畫進行重力網平差計算時，一併彙整近年來所有相對重力測量資料進行計算，依先後順序主要包括以下計畫：

(1) 93 年度離島一等水準點埋設及其水準、衛星定位、重力測量工作：由國土測繪中心委外辦理，包括澎湖、金門、馬祖、蘭嶼、綠島及小琉球等離島一等水準點的重力資料。

(2) 九十三年度一、二等重力測量工作：由內政部委外辦理，包括臺灣本島西部地區及部分東部地區一、二等重力點資料。

(3) 95 年度一等水準點上重力測量檢測工作：由國土測繪中心委外辦理，包括臺灣本島地區一等水準點的重力資料。

(4) 花東及山區重力測量工作：含 100 及 101 年度，由國土測繪中心委外辦理，包括臺灣本島東部地區、中央山脈地區及澎湖、金門、馬祖、蘭嶼、綠島等離島地區一、二等重力點資料。

經整併前述 4 項計畫，後續進行平差計算時將分為以下 6 個區域進行，各區域範圍及資料來源如下，其網形參照圖 4-1~圖 4-6。

(1) 臺灣本島地區：包括臺灣本島及離島小琉球，其資料包含前述(1)、(2)、(3)、(4)項計畫成果。

(2) 澎湖地區：包括澎湖本島及七美、望安等地區，其資料包含前述(1)、 (4)項計畫成果。

(3) 金門地區：包括金門本島及列嶼地區，其資料包含前述(1)、 (4)項計畫成果。

(4) 馬祖地區：包括南、北竿地區，其資料包含前述(1)、 (4)項計畫成果。

(5) 蘭嶼地區：蘭嶼鄉，其資料包含前述(1)、 (4)項計畫成果。

(6) 綠島地區：綠島鄉，其資料包含前述(1)、 (4)項計畫成果。

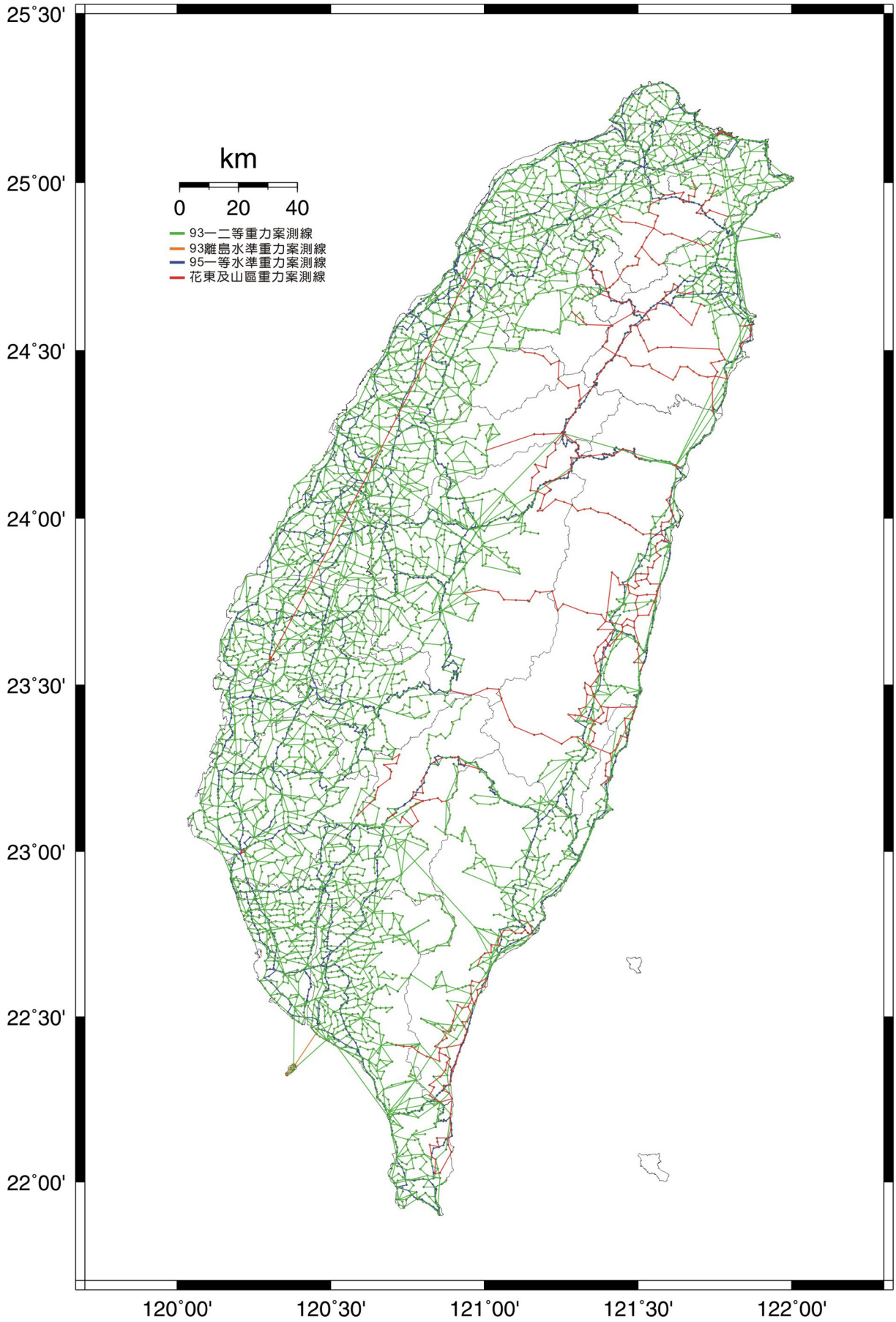


圖 4-1　臺灣本島地區重力網形圖

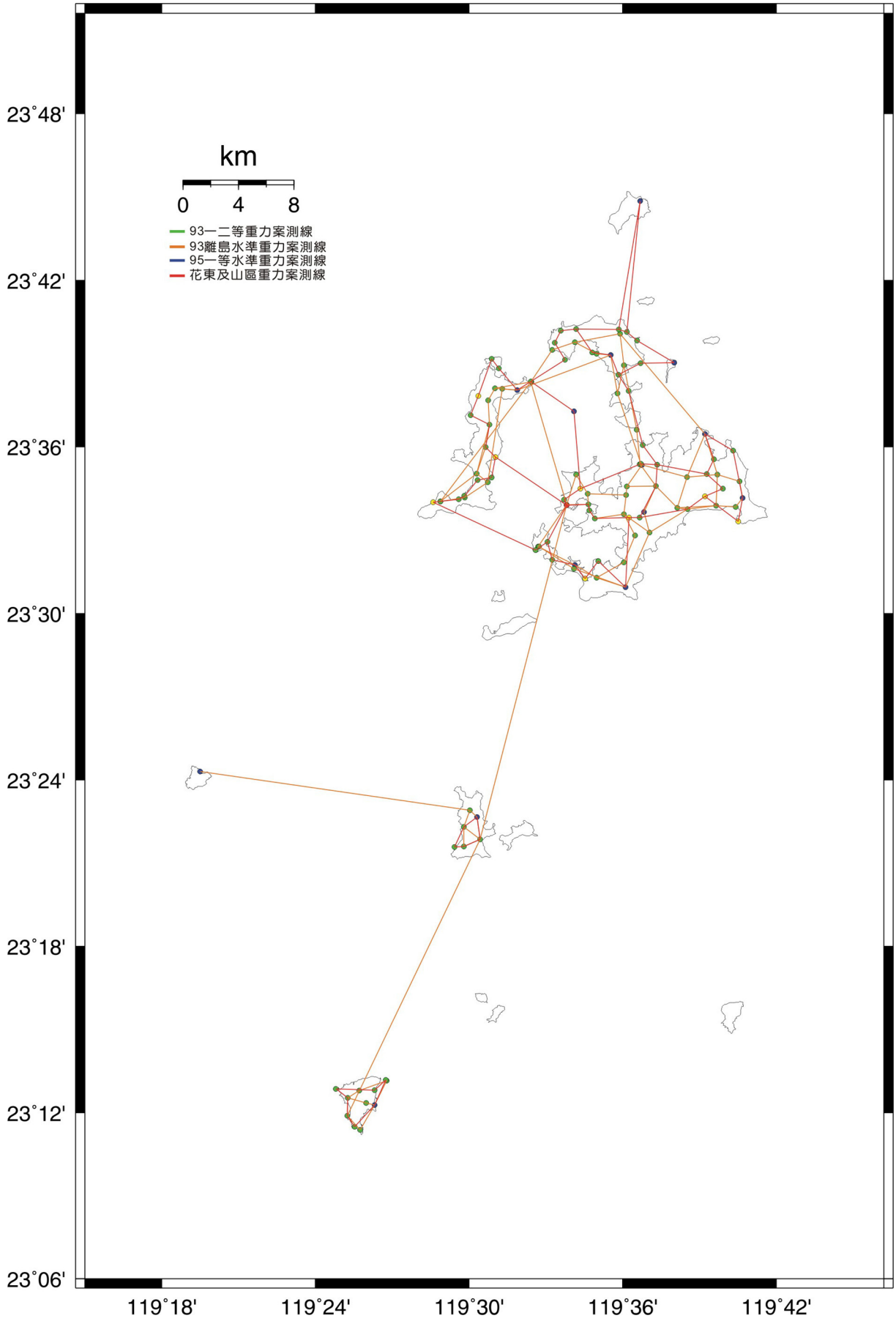


圖 4-2　澎湖地區重力網形圖

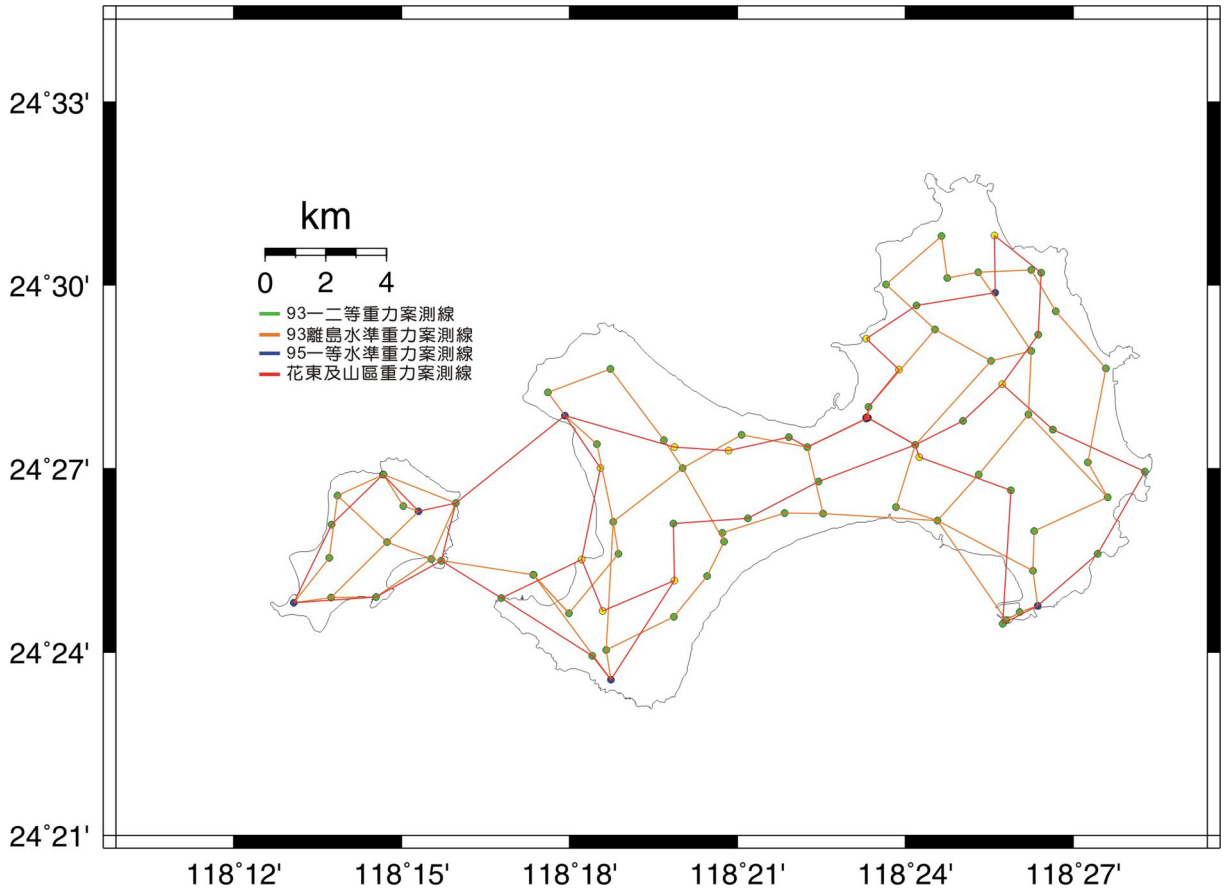


圖 4-3　金門地區重力網形圖

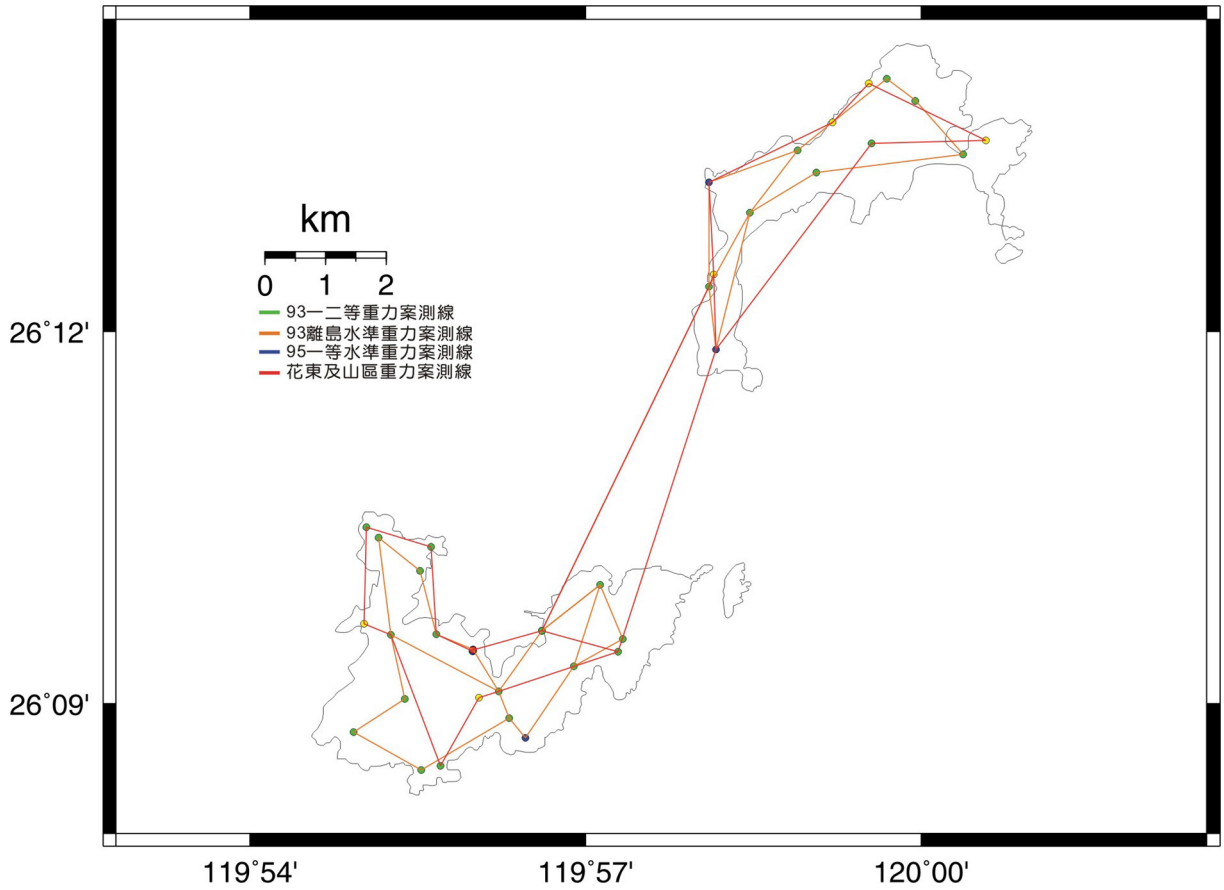


圖 4-4　馬祖地區重力網形圖

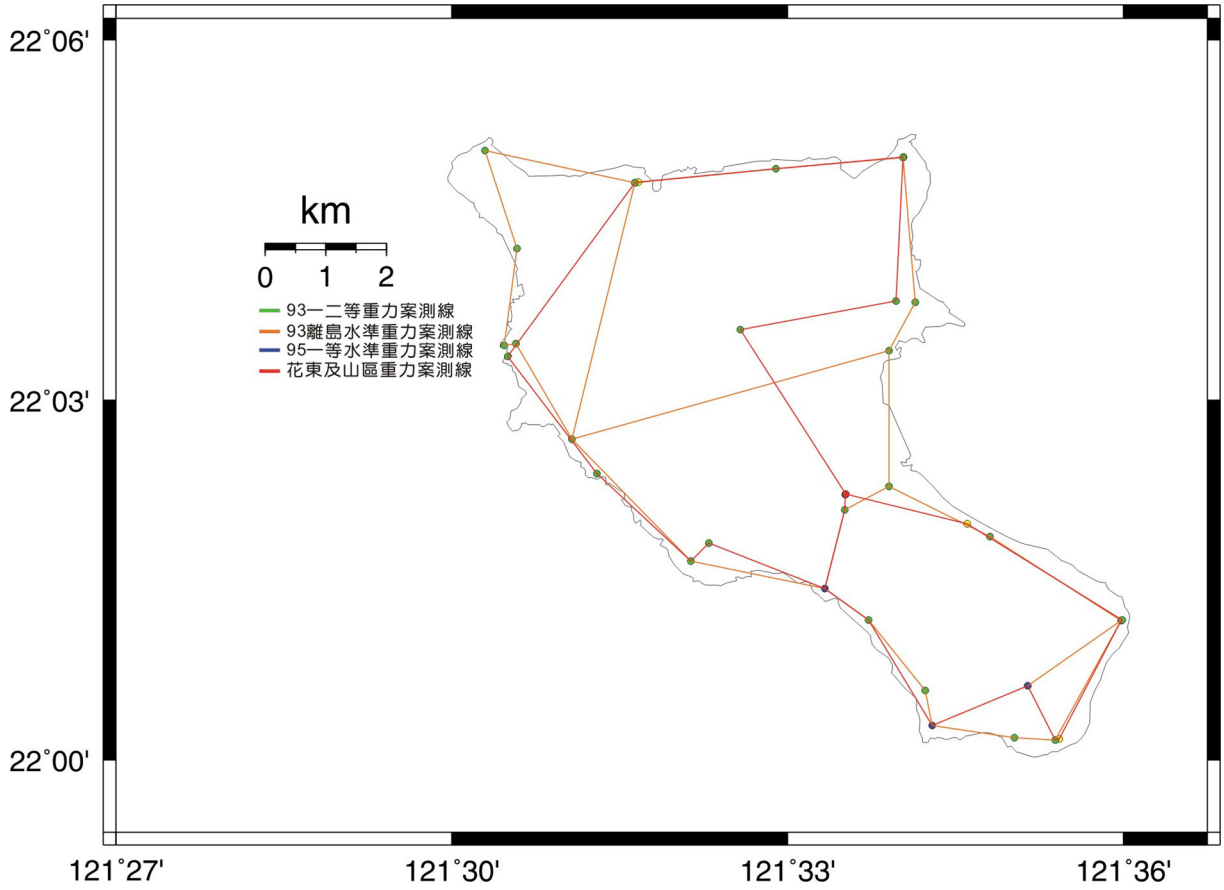


圖 4-5　蘭嶼地區重力網形圖

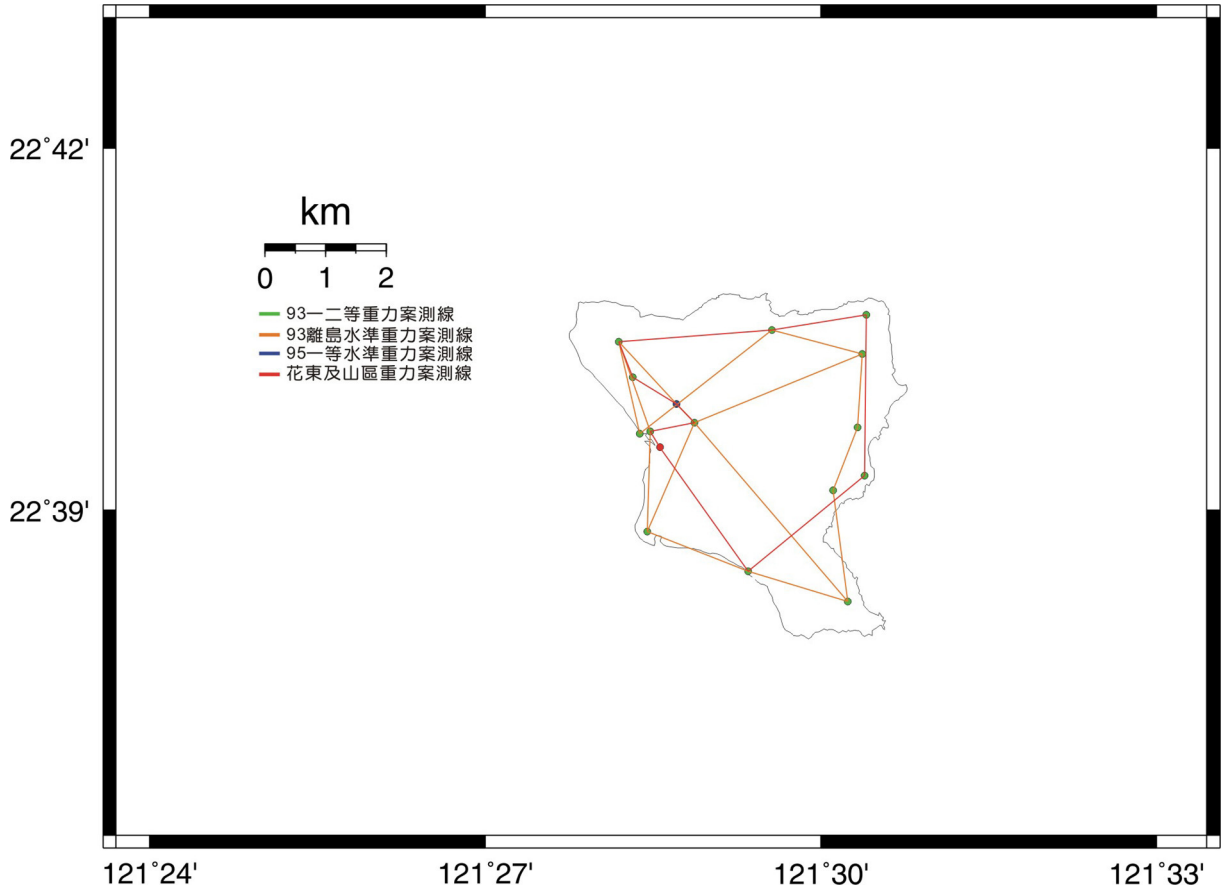


圖 4-6　綠島地區重力網形圖

§4-2-2　已知重力點來源

本計畫已知重力點的來源為自內政部提供的 19 個絕對重力點(參照圖 4-7、表 4-1)；後續平差時利用絕對重力點之重力值與其先驗標準偏差進行約制平差，以求得所有一、二等重力點之重力值。在計算的 6 個分區中，除臺灣本島地區共 14 個絕對重力點外，其餘 5 個分區均各只有 1 個絕對重力點，故除臺灣本島外，其餘均只進行最小約制平差計算。

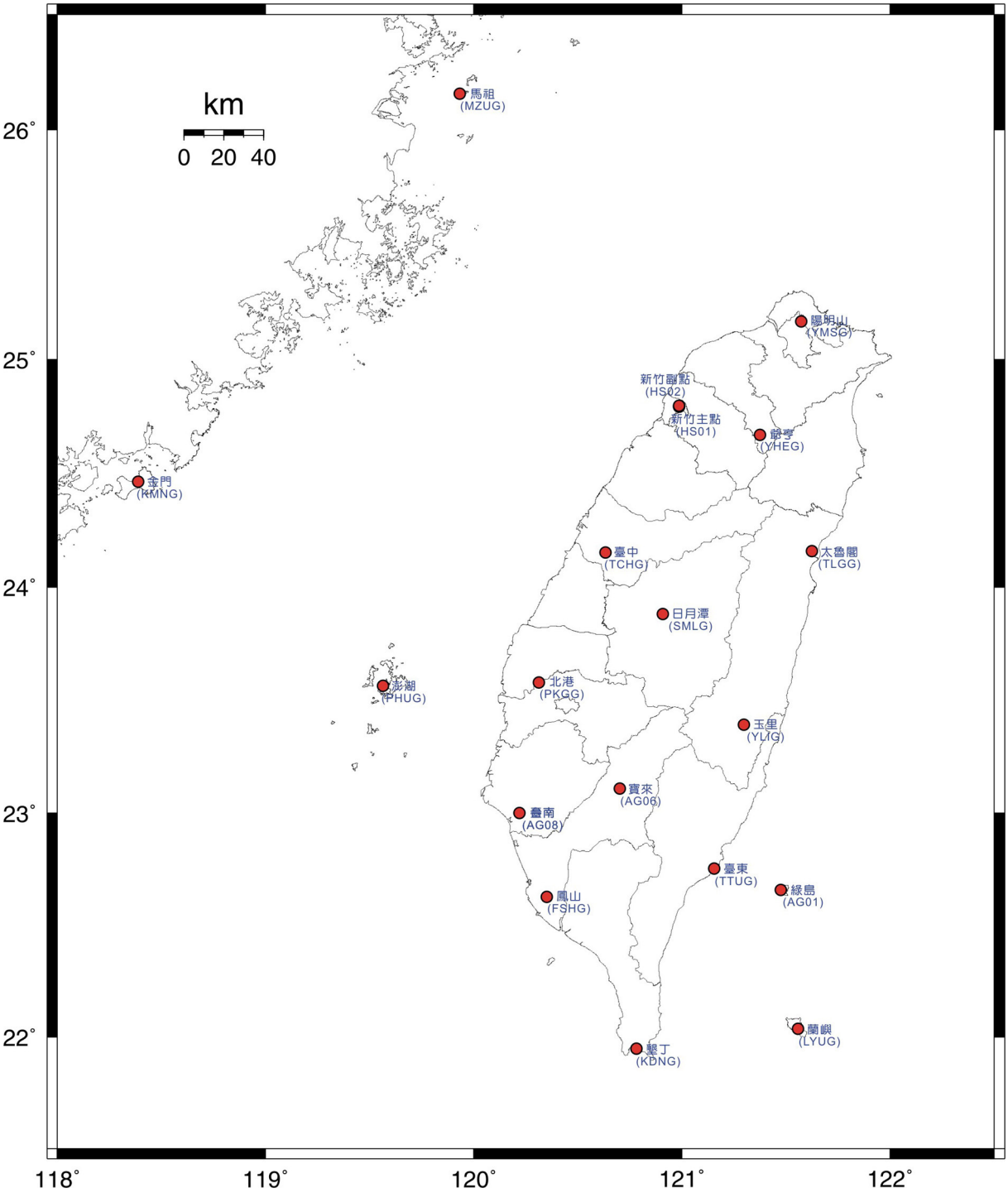


圖 4-7　內政部絕對重力點分布圖

表 4-1　內政部絕對重力點一覽表

序號	點號	點名	重力值(*mgal*)	標準偏差(*mgal*)	備註
1	AG06	寶來	978713.816	0.004	臺灣本島地區
2	AG08	臺南	978810.215	0.004	臺灣本島地區
3	FSHG	鳳山	978765.921	0.005	臺灣本島地區
4	HS01	新竹主點	978901.910	0.005	臺灣本島地區
5	HS02	新竹副點	978913.960	0.005	臺灣本島地區
6	KDNG	墾丁	978790.858	0.004	臺灣本島地區
7	PKGG	北港	978850.132	0.004	臺灣本島地區
8	SMLG	日月潭	978607.794	0.004	臺灣本島地區
9	TCHG	臺中	978839.749	0.005	臺灣本島地區
10	TLGG	太魯閣	978855.813	0.005	臺灣本島地區
11	TTUG	臺東	978839.517	0.004	臺灣本島地區
12	YHEG	爺亨	978746.955	0.004	臺灣本島地區
13	YLIG	玉里	978807.125	0.004	臺灣本島地區
14	YMSG	陽明山	978814.266	0.006	臺灣本島地區
15	PHUG	澎湖	978896.765	0.004	澎湖地區
16	KMNG	金門	978926.031	0.004	金門地區
17	MZUG	馬祖	979037.114	0.004	馬祖地區
18	LYUG	蘭嶼	978869.562	0.005	蘭嶼地區
19	AG01	綠島	978977.843	0.004	綠島地區

§4-2-3　重力點分類與命名

除了前述之絕對重力點外，我們將其餘的點位分為 3 類，各類點位的說明如下，共計有 6,791 個重力點，各區點位分類統計如表 4-2，其分布狀況參照圖 4-8~圖 4-13。

(1) 一等重力點：包括絕對重力點的副點、一等及二等衛星控制點、水準原點 K999 及新水準原點 K997、一等水準重力點 X002~X010 等。

(2) 二等重力點：包括一等水準點、三等衛星控制點、重力點及聯測其他單位之控制點（含經濟部中央地質調查所地殼變動基準點、交通部民用航空局控制點、臺北市政府 3D 控制點及地籍重測之加密控制點）等。

(3) 臨時重力點：前述點位遺失時施測之補點及山區臨時設置之重力點等。

表 4-2　重力點分類統計表

等級	臺灣本島	澎湖	金門	馬祖	蘭嶼	綠島	合計
絕對重力點	14	1	1	1	1	1	19
一等重力點	655	14	9	6	3	1	688
二等重力點	4900	90	67	25	26	14	5122
臨時重力點	930	8	12	7	5	0	962
小計	6499	113	89	39	35	16	6791

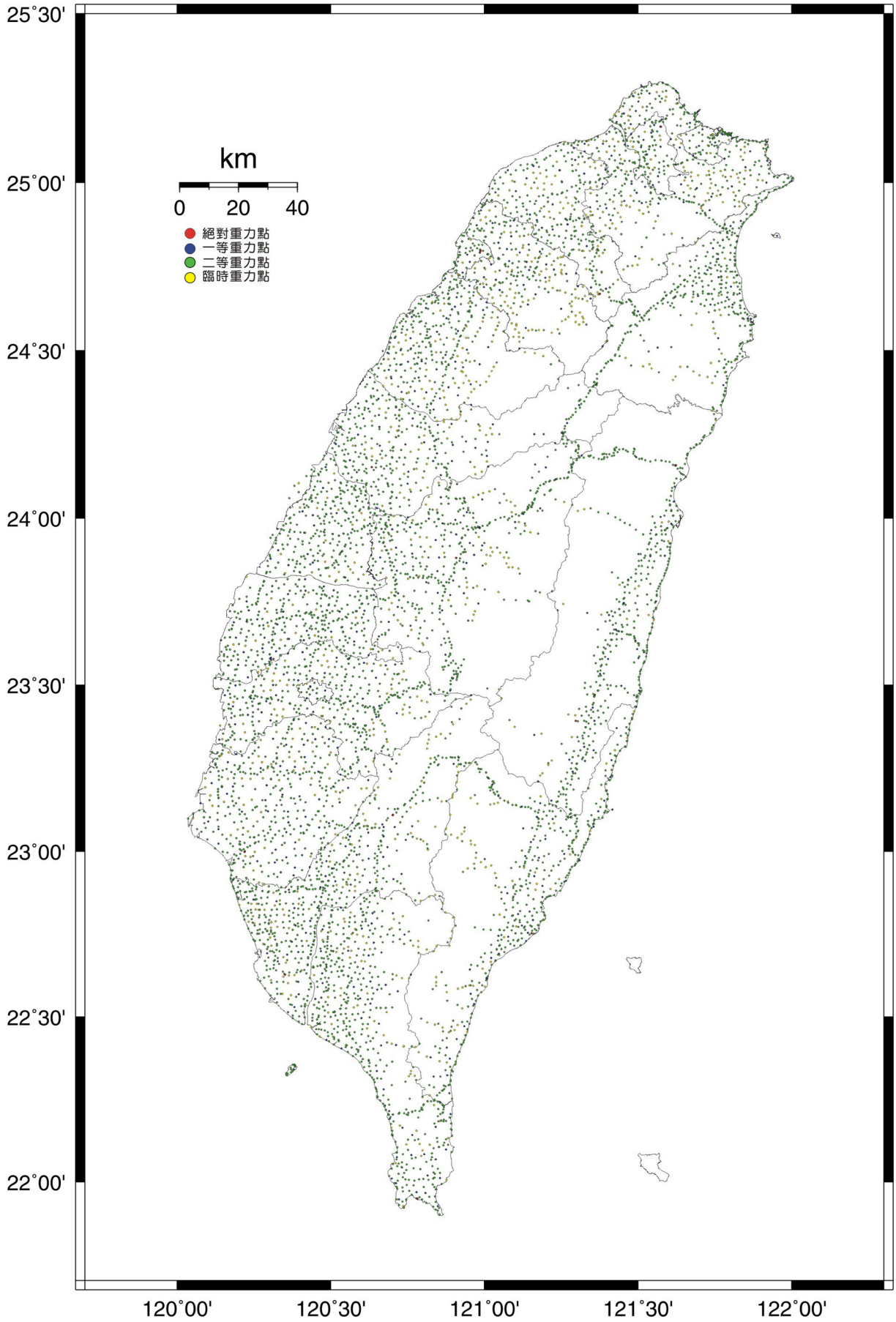


圖 4-8　臺灣本島地區重力點分布圖

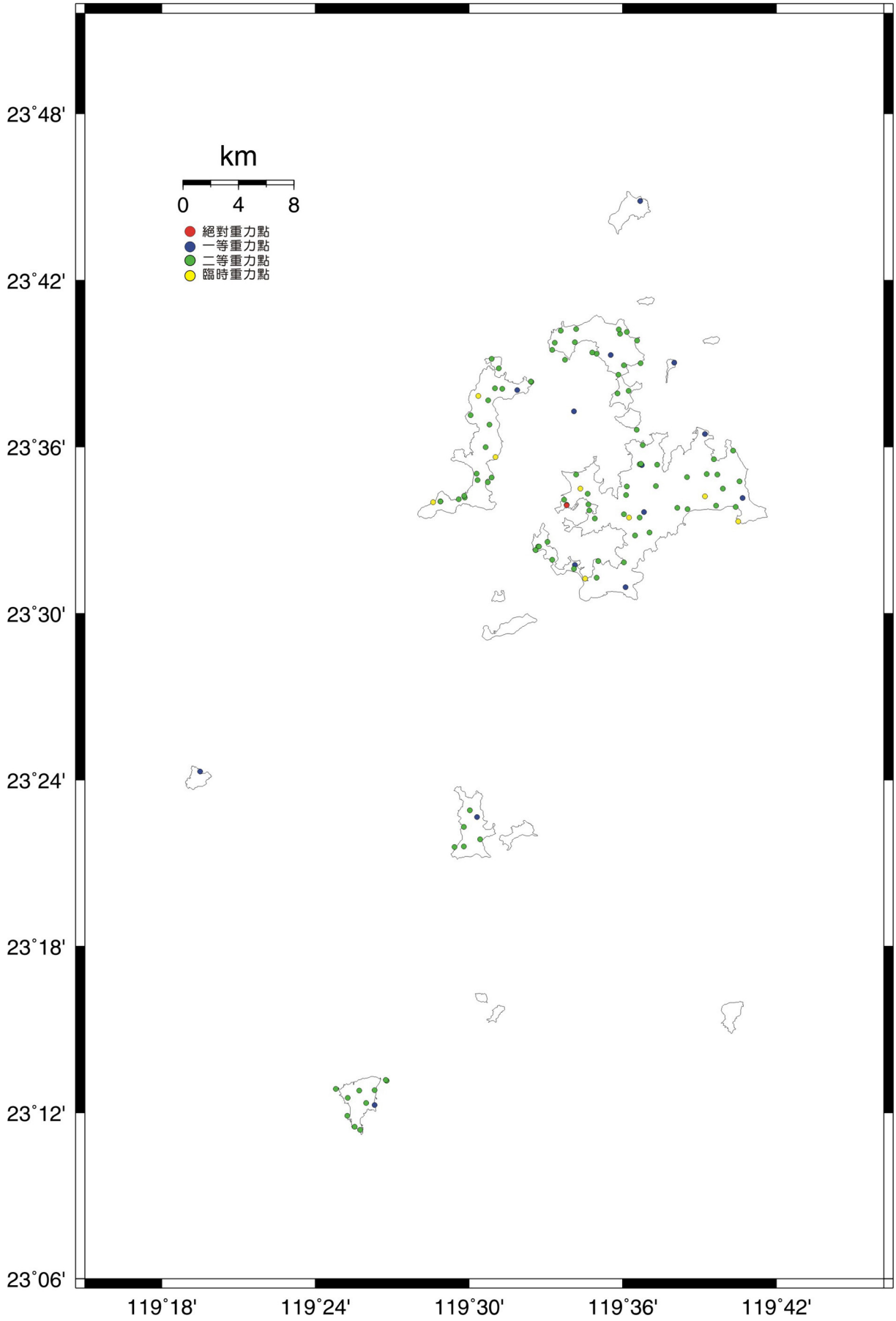


圖 4-9　澎湖地區重力點分布圖

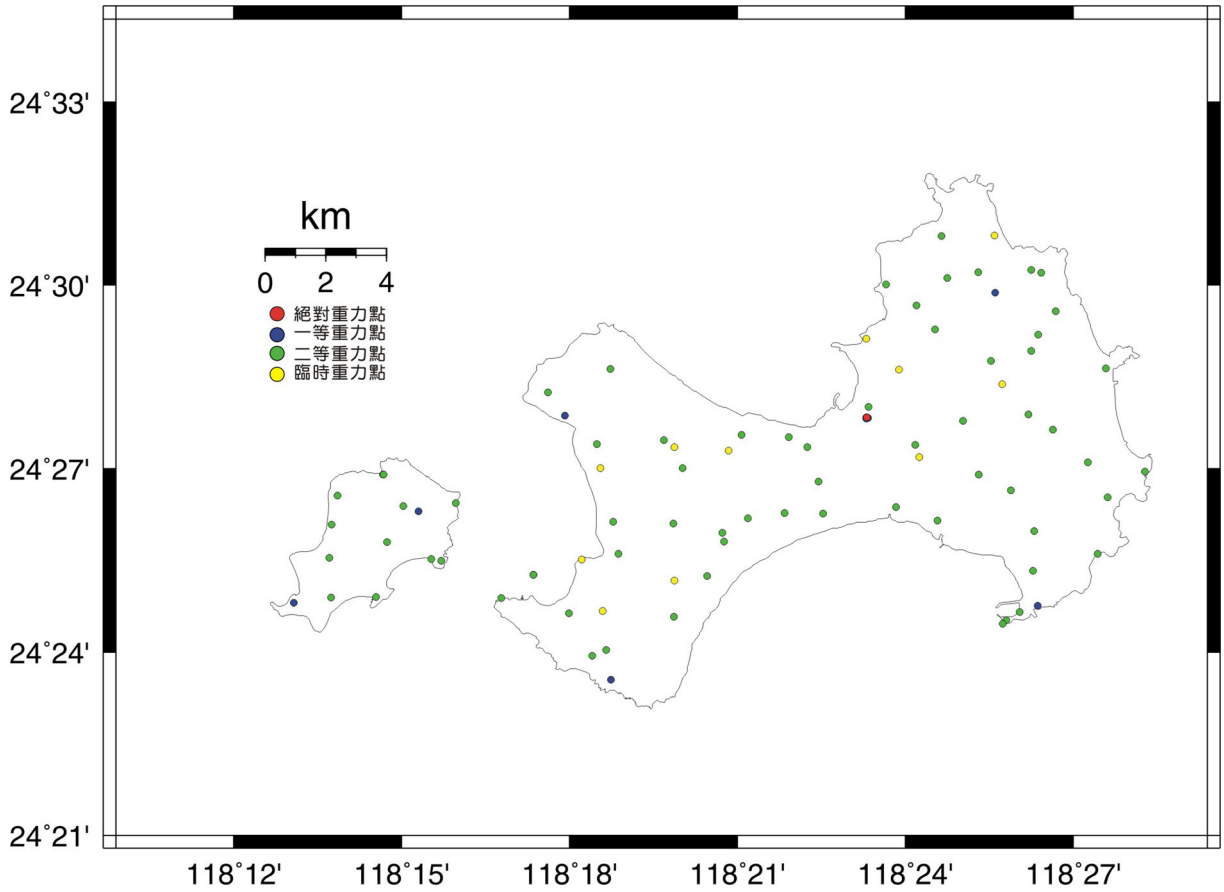


圖 4-10　金門地區重力點分布圖

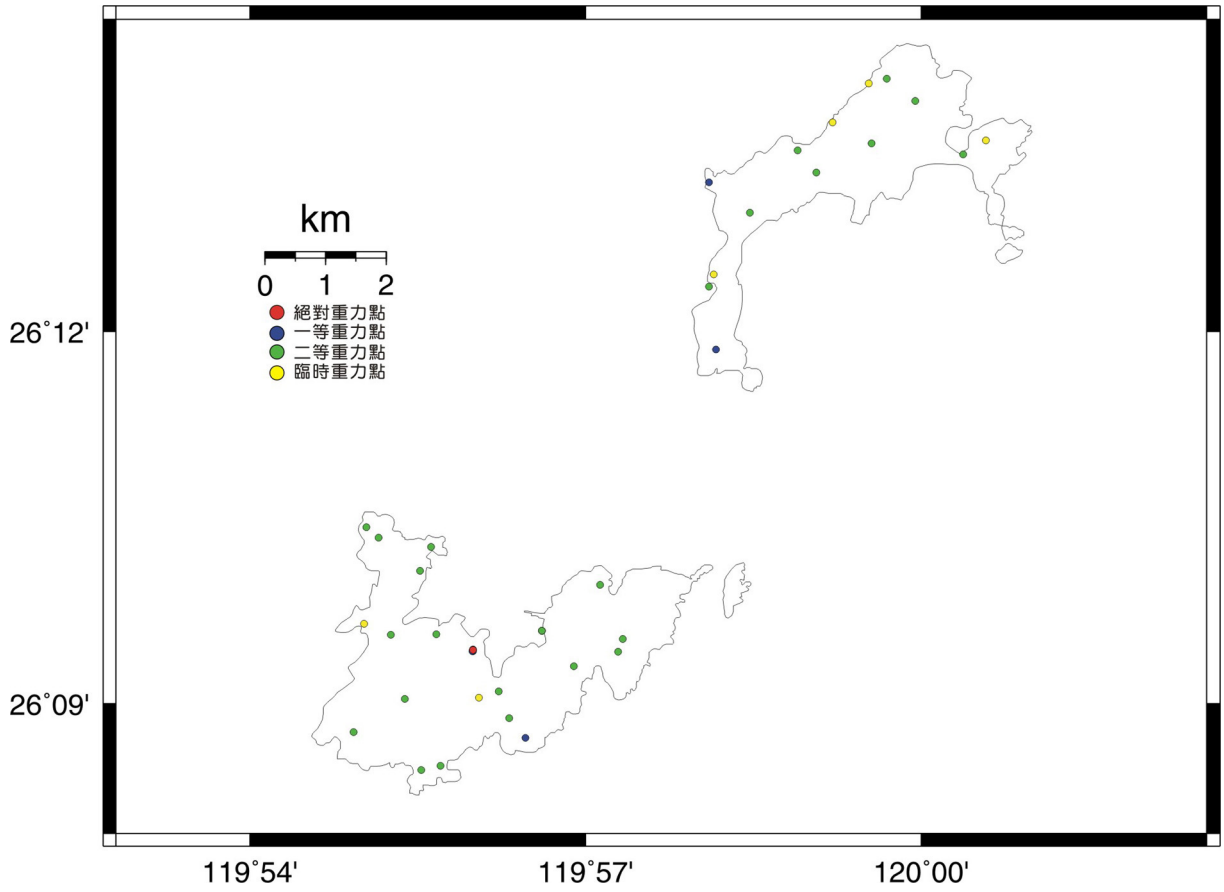


圖 4-11　馬祖地區重力點分布圖

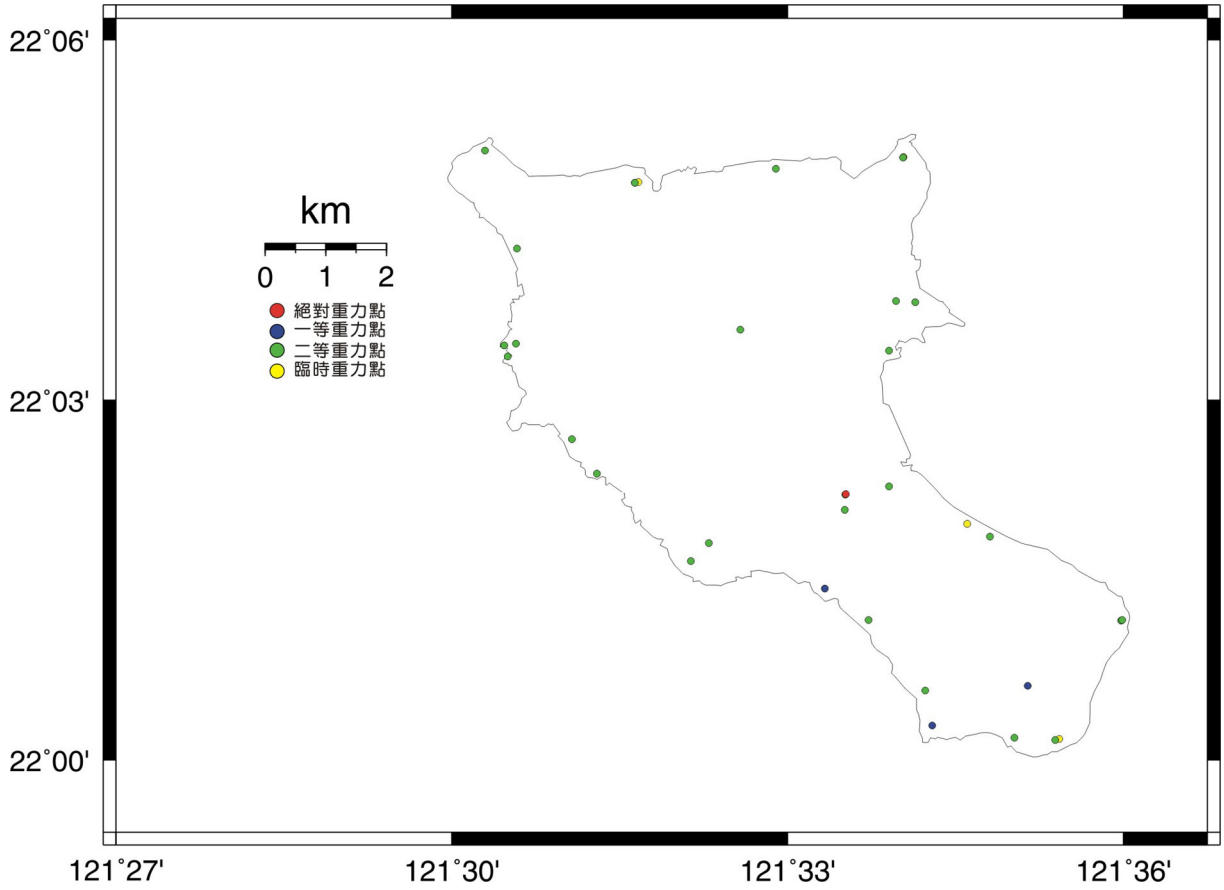


圖 4-12　蘭嶼地區重力點分布圖

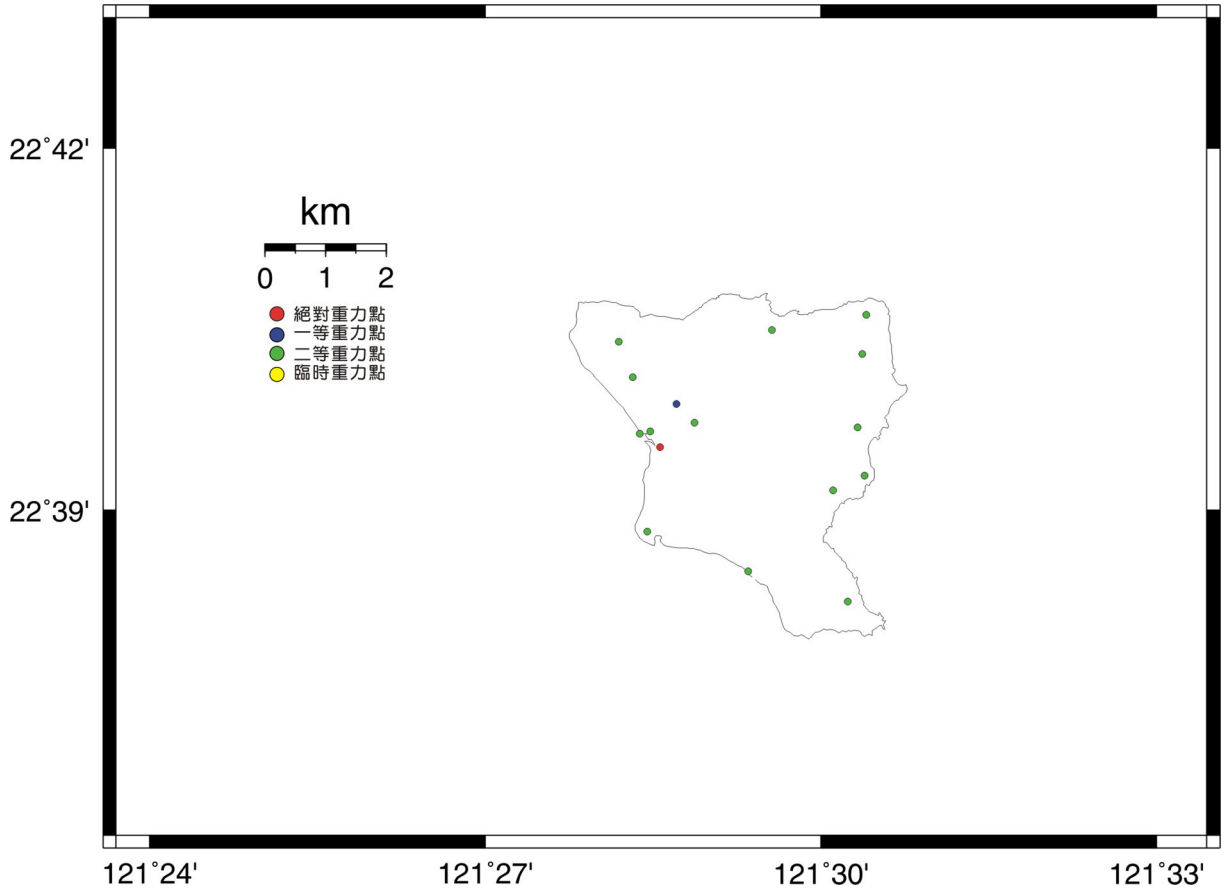


圖 4-13　綠島地區重力點分布圖

在 6 個平差的區域中，除了臺灣本島外，其它 5 個離島地區的點位較為單純，故當結合不同計畫的成果時，並無點號重複的問題發生，故僅於原點位遺失補點時於原點號之後加註「A」區隔外（以確認為臨時點），其餘點位均依原點號（均為 4 碼）不做修正。至於臺灣本島地區則相對複雜許多，不同計畫的點位來源分屬不同單位建置，故不同點位會發生相同點號的情形，加上不同種類的點位間亦有共用相同標石的情形，故點號命名亦有優先次序的問題，故需針對這 2 種情形對點號進行修正，以避免後續平差時產生重號的問題發生。點號修正的次序與原則參照表 4-3，各區點位點號對照參照附錄 E。

表 4-3　臺灣本島地區點號修正一覽表

次序	點位種類	點位來源	點位編號原則	命名範例	
				原點號	新點號
1	絕對重力點	內政部	點號為 4 碼，依原點號命名。	YMSG	YMSG
2	一、二等衛星控制點	內政部	點號為 4 碼，依原點號命名。	M044	M044
3	一等水準點	內政部	點號為 4 碼，依原點號命名。	1015	1015
4	重力點	內政部	點號為 5 碼，依原點號命名。	GE001	GE001
5	三等衛星控制點	內政部國土測繪中心	點號為 5 碼，第 1 碼加「T」，後 4 碼為原點號。	F313	TF313
6	一、二、三等三角點	內政部	點號為 5 碼，第 1 碼加「I」，後 4 碼為原點號。	4160	I4160
7	地殼變動基準點	經濟部中央地質調查所	點號為 5 碼，第 1 碼加「L」，後 4 碼為原點號。	G179	LG179
8	民航局控制點	交通部民用航空局	點號為 5 碼，前 2 碼為「AG」，後 3 碼為原點號末 3 碼。	G003	AG003
9	臺北市 3D 控制點	臺北市政府	點號為 5 碼，前 2 碼為「TA」，後 3 碼為原點號末 3 碼。	88314	TA314
10	地籍重測加密控制點	內政部國土測繪中心	點號為 5 碼，前 2 碼為「FG」，後 3 碼為原點號末 3 碼。	GA100	FG100
11	山區臨時點	依計畫測設	前 2 碼為「GT」者，點號為 5 碼，前 2 碼為「GR」者，點號為 4 碼。	GT263 GR01	GT263 GR01
12	臨時點	依計畫測設	原點遺失補設，於原點號後加註「A」區隔	T345	T345A

§4-3　最小約制平差計算

§4-3-1　臺灣本島地區最小約制平差計算

臺灣本島地區（含小琉球）觀測量原共有 17,958 個觀測量，經粗差偵錯後，共剔除 106 個觀測量，故最後計有 17,852 個觀測量。最小約制平差時約制絕對重力點 HS01，計有 6,499 個重力點，後驗單位權變方為 0.993，χ^2 分布之臨界值為 11603.0522，χ^2 分布統計測試結果為 11189.2470 小於臨界值，通過 χ^2 分布統計測試；在自由度為 11,354 時，τ_c 臨界值為 4.6775，前述觀測量最大 τ 測試值為 4.5293（I4160-TG041），均小於 τ_c 臨界值，顯示平差後觀測量粗差已符合統計測試結果。觀測量改正數分布如圖 4-14 所示。平差後重力值標準偏差最大為 0.089 *mgal*（點號：TV056A），標準偏差分布圖如 4-15。

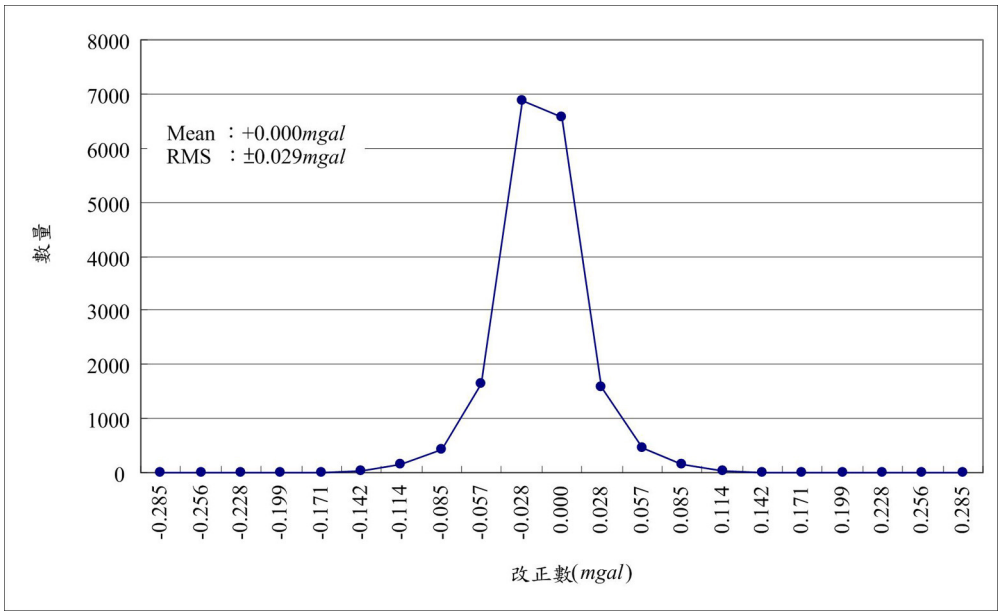


圖 4-14　臺灣本島地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖

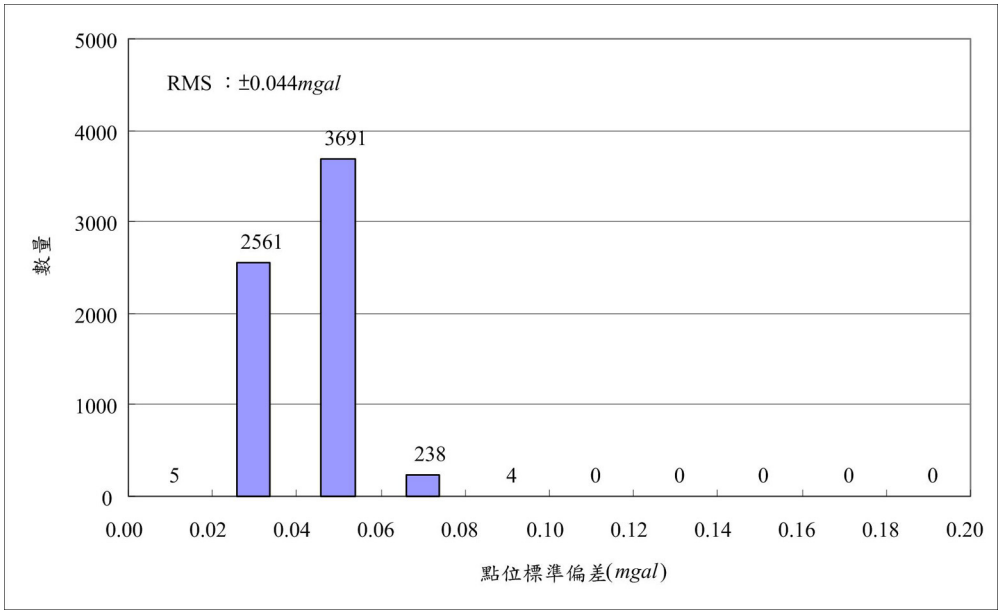


圖 4-15　臺灣本島地區最小約制平差後標準偏差分布圖

§4-3-2　澎湖地區最小約制平差計算

澎湖地區觀測量計有 349 個觀測量，經粗差偵錯後，並未剔除觀測量。最小約制平差時約制絕對重力點 PHUG，計有 113 個重力點，後驗單位權變方為 1.074，χ^2 分布之臨界值為 273.9186，χ^2 分布統計測試結果為 273.3924 小於臨界值，通過 χ^2 分布統計測試；在自由度為 237 時，τ_c 臨界值為 3.7507，前述觀測量最大 τ 測試值為 3.6084（WA01-S864），均小於 τ_c 臨界值，顯示平差後觀測量粗差已符合統計測試結果。觀測量改正數分布如圖 4-16 所示。平差後重力值標準偏差最大為 0.041 *mgal*（點號：S917），標準偏差分布圖如 4-17。

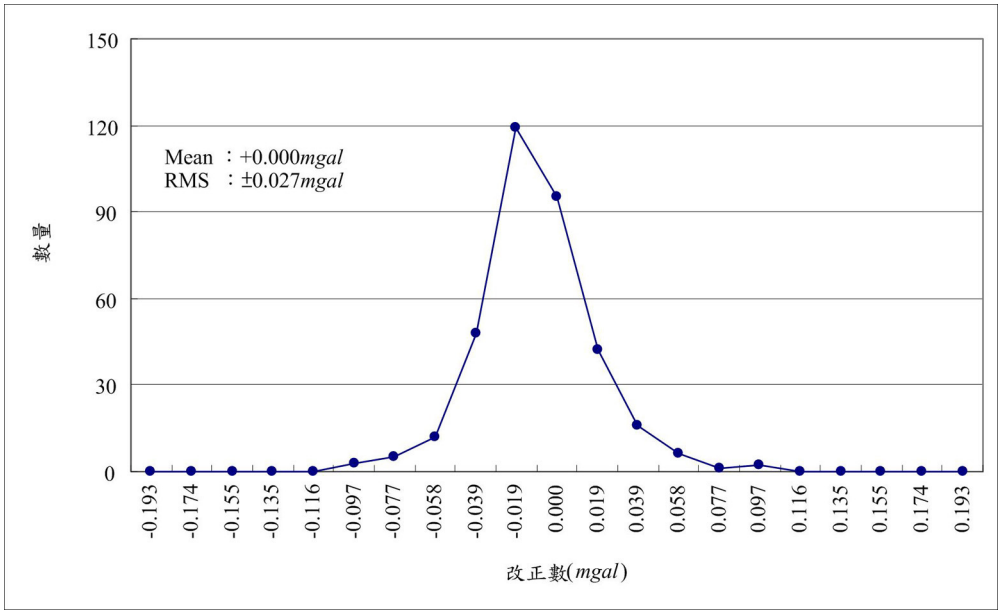


圖 4-16　澎湖地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖

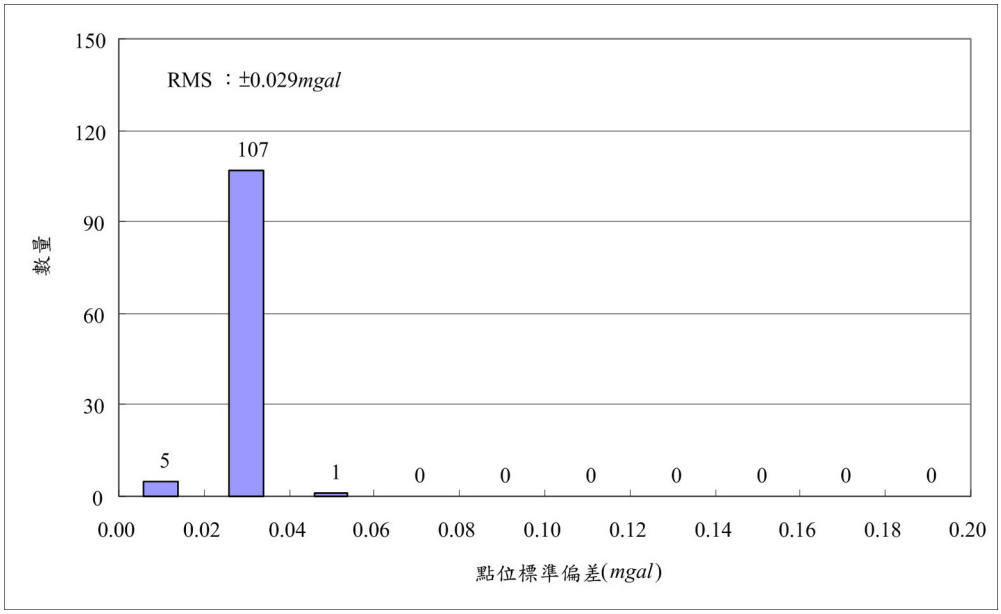


圖 4-17　澎湖地區最小約制平差後標準偏差分布圖

§4-3-3　金門地區最小約制平差計算

金門地區觀測量計有 261 個觀測量，經粗差偵錯後，並未剔除觀測量。最小約制平差時約制絕對重力點 KMNG，計有 89 個重力點，後驗單位權變方為 1.072，χ^2 分布之臨界值為 204.6959，χ^2 分布統計測試結果為 198.8186 小於臨界值，通過 χ^2 分布統計測試；在自由度為 173 時，τ_c 臨界值為 3.6654，前述觀測量最大 τ 測試值為 3.6059（KMNC-KM16），均小於 τ_c 臨界值，顯示平差後觀測量粗差已符合統計測試結果。觀測量改正數分布如圖 4-18 所示。平差後重力值標準偏差最大為 0.028 *mgal*（點號：WX48），標準偏差分布圖如 4-19。

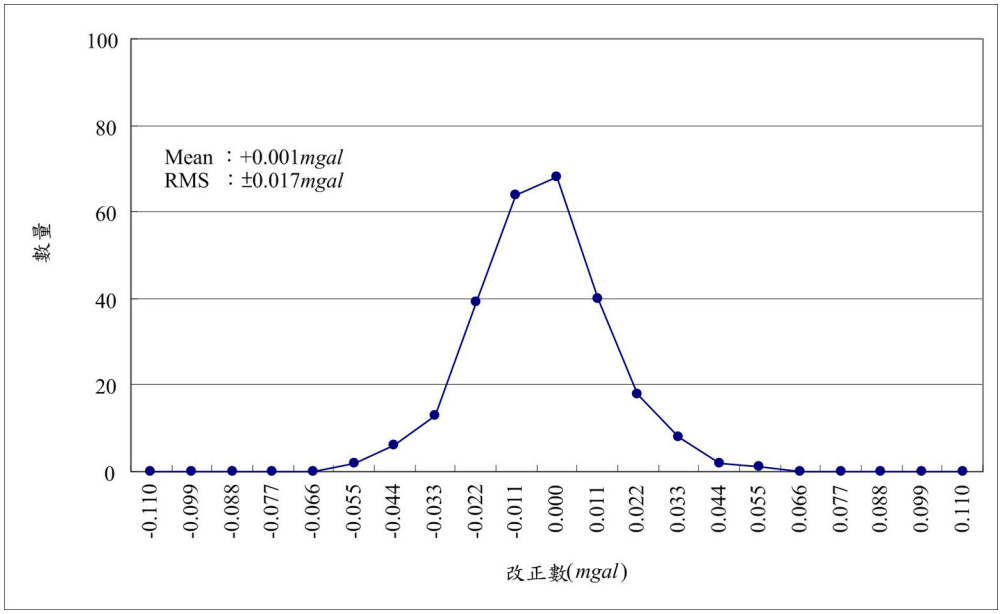


圖 4-18　金門地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖

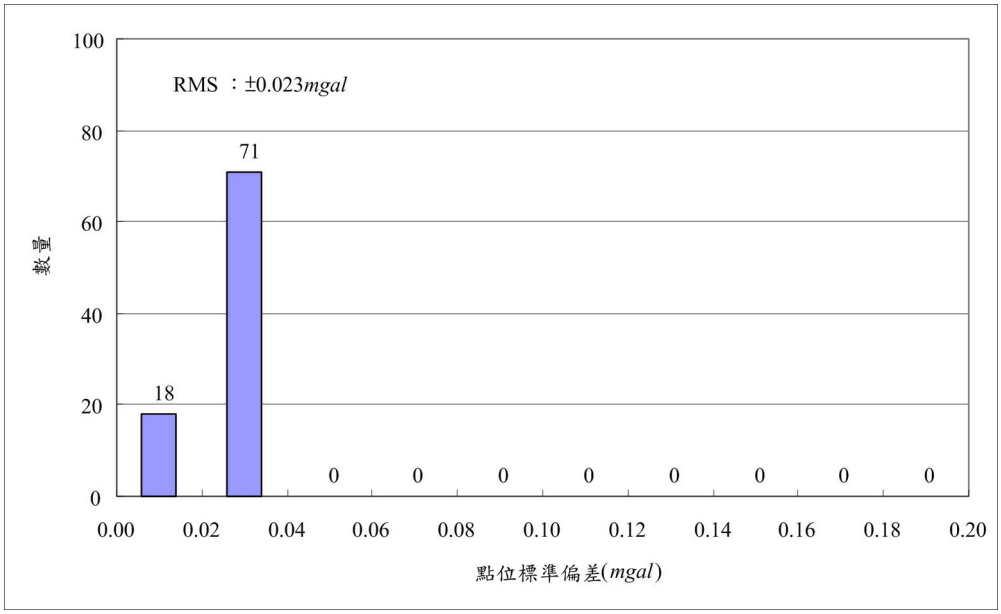


圖 4-19　金門地區最小約制平差後標準偏差分布圖

§4-3-4　馬祖地區最小約制平差計算

馬祖地區觀測量計有 119 個觀測量，經粗差偵錯後，並未剔除觀測量。最小約制平差時約制絕對重力點 MZUG，計有 39 個重力點，後驗單位權變方為 0.993，χ^2 分布之臨界值為 103.0119，χ^2 分布統計測試結果為 79.9968 小於臨界值，通過 χ^2 分布統計測試；在自由度為 81 時，τ_c 臨界值為 3.4193，前述觀測量最大 τ 測試值為 3.3699（W905-Z030A），均小於 τ_c 臨界值，顯示平差後觀測量粗差已符合統計測試結果。觀測量改正數分布如圖 4-20 所示。平差後重力值標準偏差最大為 0.078 *mgal*（點號：Z020A），標準偏差分布圖如 4-21。

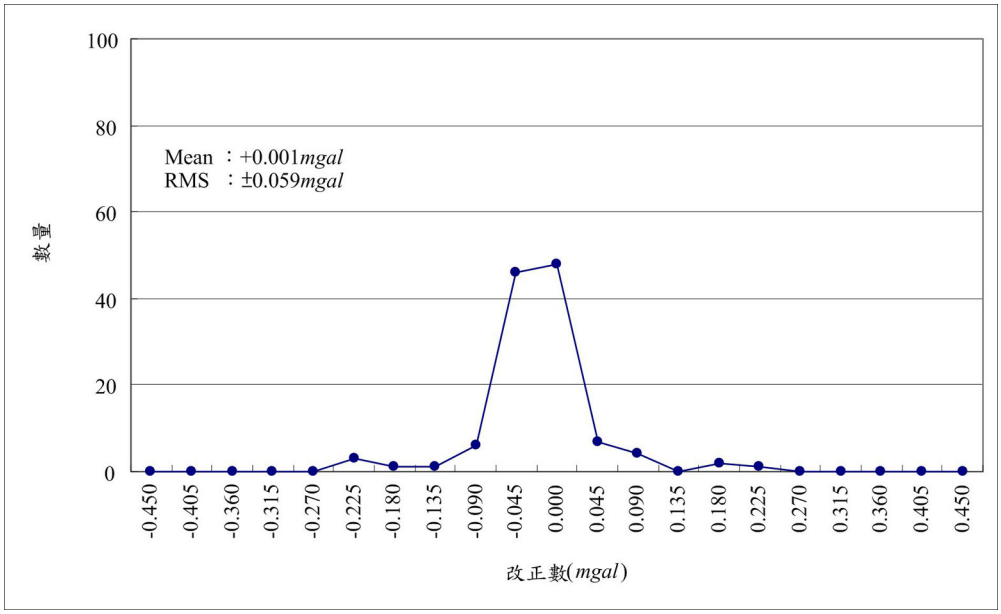


圖 4-20　馬祖地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖

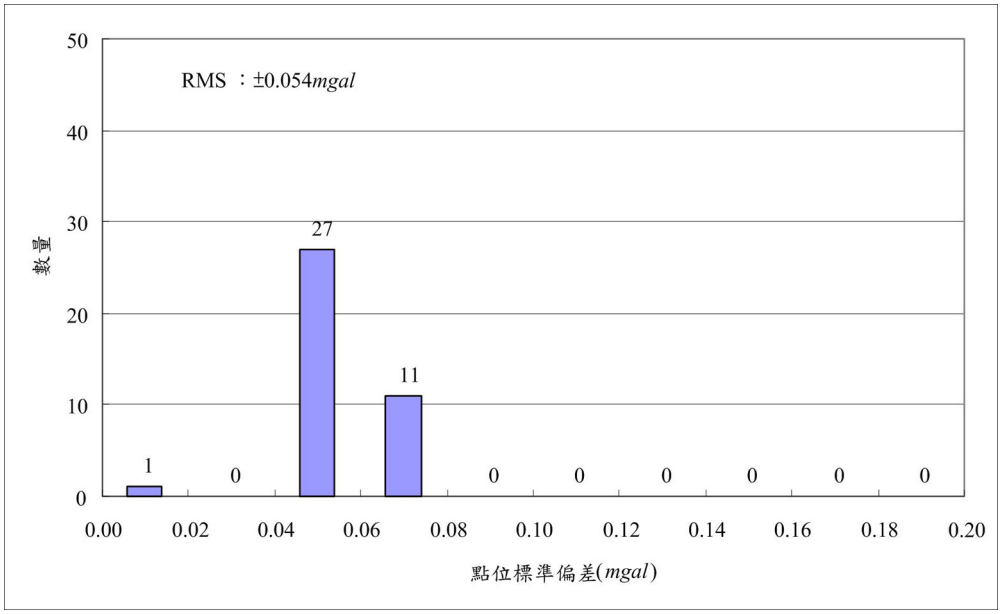


圖 4-21　馬祖地區最小約制平差後標準偏差分布圖

§4-3-5　蘭嶼地區最小約制平差計算

蘭嶼地區觀測量計有 100 個觀測量，經粗差偵錯後，並未剔除觀測量。最小約制平差時約制絕對重力點 LYUG，計有 35 個重力點，後驗單位權變方為 1.030，χ^2 分布之臨界值為 85.9663，χ^2 分布統計測試結果為 70.1119 小於臨界值，通過 χ^2 分布統計測試；在自由度為 66 時，τ_c 臨界值為 3.3559，前述觀測量最大 τ 測試值為 2.5896(E362-LY04)，均小於 τ_c 臨界值，顯示平差後觀測量粗差已符合統計測試結果。觀測量改正數分布如圖 4-22 所示。平差後重力值標準偏差最大為 0.182 *mgal*（點號：LY17），標準偏差分布圖如 4-23。

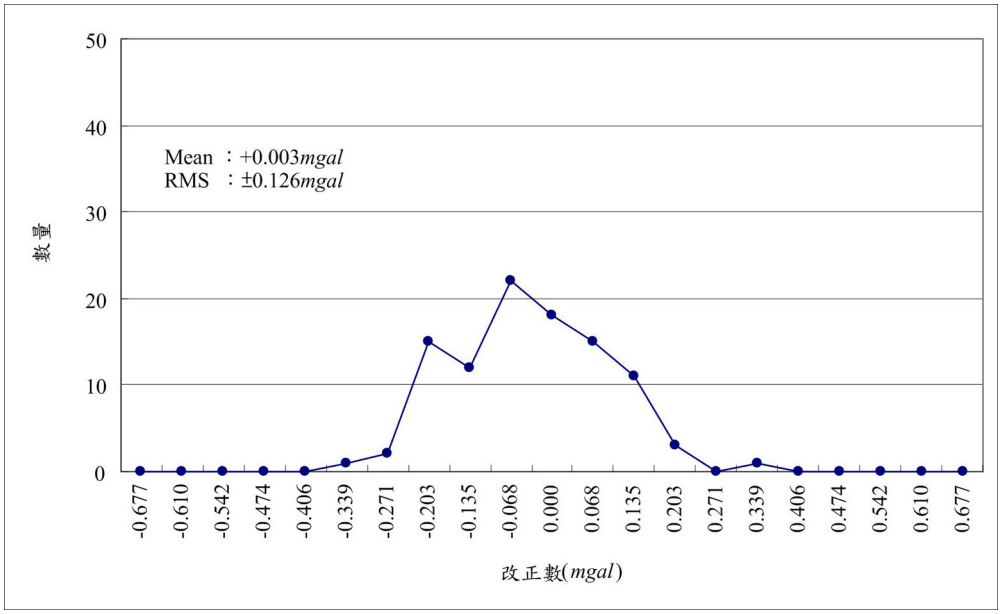


圖 4-22　蘭嶼地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖

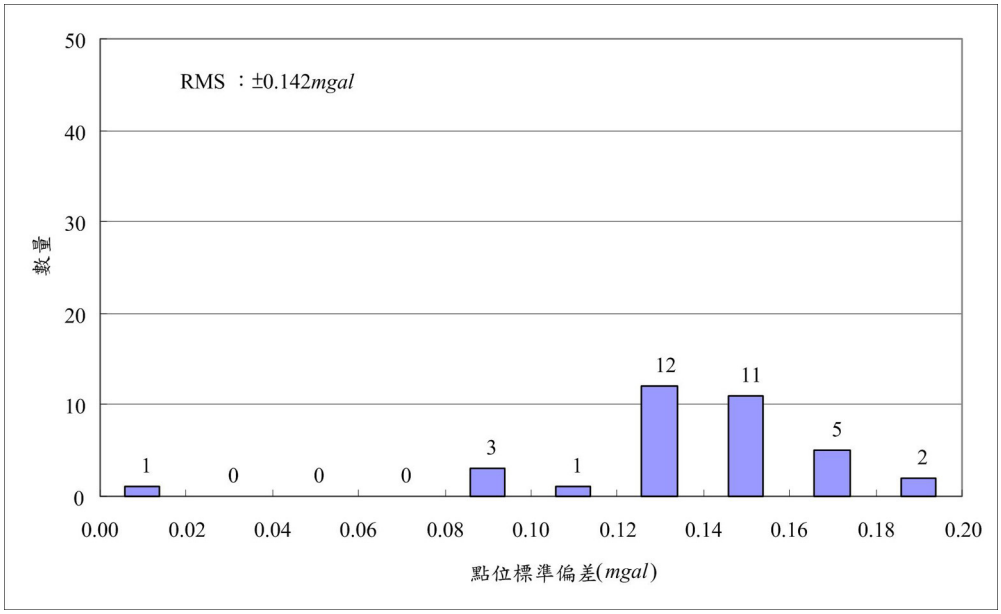


圖 4-23　蘭嶼地區最小約制平差後標準偏差分布圖

§4-3-6　綠島地區最小約制平差計算

綠島地區觀測量計有 56 個觀測量，經粗差偵錯後，並未剔除觀測量。最小約制平差時約制絕對重力點 AG01，計有 16 個重力點，後驗單位權變方為 1.032，χ^2 分布之臨界值為 56.9414，χ^2 分布統計測試結果為 43.7277 小於臨界值，通過 χ^2 分布統計測試；在自由度為 41 時，τ_c 臨界值為 3.1554，前述觀測量最大 τ 測試值為 3.0703（LD10-LD01），均小於 τ_c 臨界值，顯示平差後觀測量粗差已符合統計測試結果。觀測量改正數分布如圖 4-24 所示。平差後重力值標準偏差最大為 0.075 *mgal*（點號：LD06），標準偏差分布圖如 4-25。

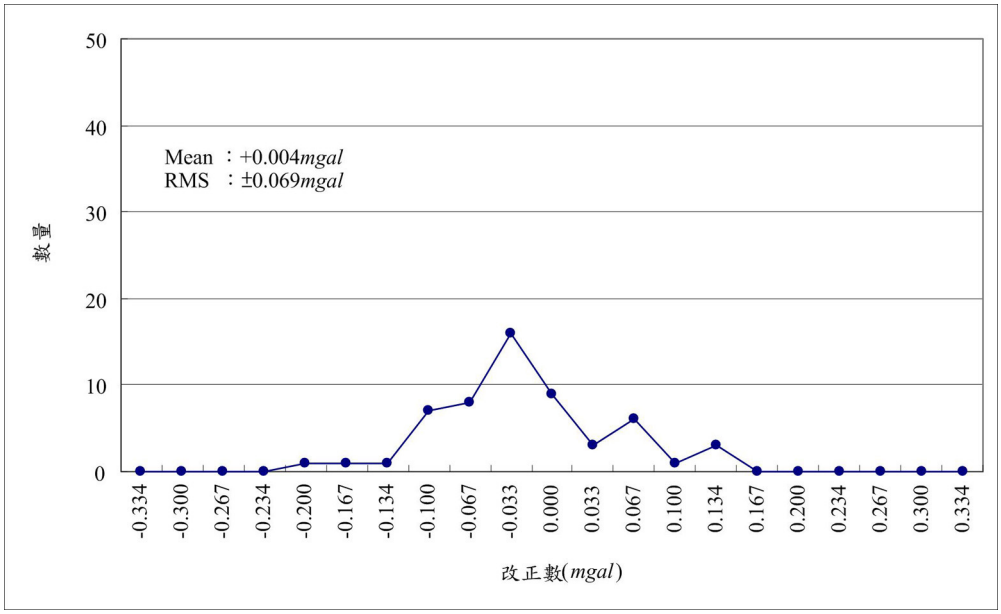
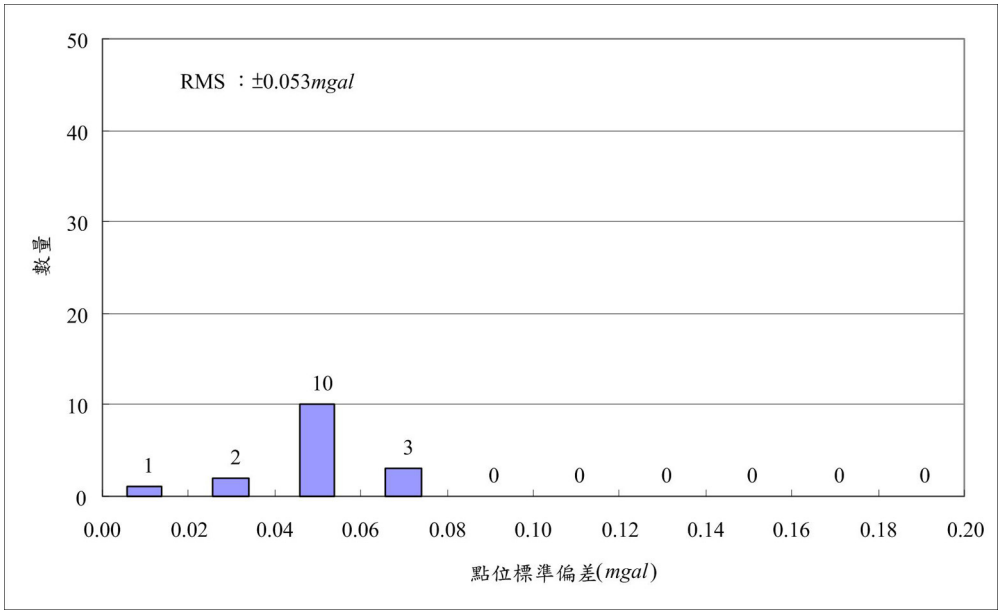


圖 4-24　綠島地區最小約制平差後觀測量改正數分布圖



ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: f‘~

STACK: