

台灣地區實施船載重力測量作業規劃之探討 Proposing A Shipboard Gravimetric Survey Plan for the Taiwan Area

李旭志¹ 高書屏² 張嘉強³
Hsu-Chih Lee Szu-Pyng Kao C.C. Chang

摘 要

台灣本島陸地面積上之重力值觀測及重力成果建置，已有良好之基礎，為求擴大重力成果之運用成效，以求填補台灣周邊近海海域重力資料之不足，內政部自2004年起的四年，著手進行台灣地區船載重力之測量工作。為求能使後續施行之船載重力測量能獲致精度良好且系統均勻之重力測量成果資料，先行針對近海船載重力測量之相關技術及內容，進行船載重力測量在施測方法、作業準備以及作業規劃等探討，以使將來實務作業有所依據。

關鍵詞：船載重力測量、作業規劃

Abstract

The gravimetric measurements have been preliminarily carried out on land in Taiwan Island. To expand the validation of gravity values in geodetic application, it is also required to implement a well-designed scheme on shipboard gravimetric surveys around the Taiwan area. It has been decided by the government to launch such campaigns for four consecutive years since 2004. To achieve a good data quality and establish a consistent gravity system, a first step of confirming the evaluation items to the technique and operation of shipboard gravimetric surveys has to be carried on at this stage. The measuring approaches and survey plans are to be discussed by this paper to pave the way for the up-coming shipboard gravimetric surveys in the Taiwan area.

Keywords: shipboard gravimetric surveys, operation plans

一、前言

地球重力場除應包含陸地重力資料外，當然也要包含海洋重力的資料。就二者之觀測技術而言，陸地與海洋重力測量之間的一個主要區別，即在於陸地測量所使用的儀器，通常是固定在陸地上的一個靜止、穩定的載台上實施測量，而測

¹ 國立中興大學土木工程學系博士班研究生，內政部土地測量局技正

² 國立中興大學土木工程學系副教授

³ 國防大學中正理工學院測繪工程學系教授

點的位置可以隨時隨地的加以精確測定，不必然要和重力測量同步進行，且整個測量過程之程序相對較為簡便；而海洋重力測量所使用之儀器，則必須裝置在一個不斷運動的載台上實施測量，且由於海上測點位置之不易標定，又另需考量定位點同步測定之問題，使得海洋重力測量會在儀器觀測及數據處理等方面，帶來較為複雜與困難之作業程序。

為求擴大重力資料與成果之運用成效，以求台灣地區重力觀測精度與大地起伏計算精度之雙重提昇，當有填補台灣周邊近海海域重力資料不足之迫切需求。基於此項需求，內政部計畫於民國九十二年度開始辦理「國家基本測量發展計畫」，並於民國九十三年度起進行台灣地區船載重力測量工作。

本文乃依據船載重力測量研究之工作成果，針對我國船載重力測量作業推動程序與規劃內容進行探討，其內容包括國科會海研一號配合作業之可行方式，執行船測重力作業之先期準備工作、測量作業規劃、行前作業準備事項以及未來船測重力技術之相關課題等。

二、船載重力測量作業先期準備工作

在推動台灣四周海域船載重力測量作業之先期準備工作中，所需進行之工作項目可包括：

- (1) 蒐集國外辦理船載重力測量之樣本資料：蒐集並整理國外利用船載重力測量方法所獲取至少一組之近岸重力測量資料，以做為相關研究分析作業所需之測試樣本資料。
- (2) 分析台灣鄰近海域水文資料：蒐集台灣近海區域相關水文資料之獲取管道，並針對其資料內容及特性加以分析，以探討其對近海船載重力測量作業方式或成果計算所可能產生之影響。
- (3) 辦理重力測量與載具導航資料整合之可行性分析：開發船載重力測量測線規劃軟體一套，其功能可依測區範圍、測線間隔等參數，自動產生計畫測線，且可對測線進行增刪、修改。並應配合國內海洋研究船（以國科會海研一號為例），針對其重力測量設備、定位設備、測深設備及記錄設備等，在考量各測量要素時間同步化之條件下，進行載具航行及裝備工作狀態監控系統設計上之可行性分析。
- (4) 開發船載重力測量計算及精度分析軟體：利用所蒐集之國外船載重力測量資料，開發船載重力資料計算軟體一套，其功能需包括Eötvös 改正、零點飄移改正、潮汐改正、測船吃水改正等各類改正項目，以有效進行測點之絕對重力值計算、重力異常計算、交叉點不符值計算以及精估評估值之分析工作。
- (5) 研訂我國辦理船載重力測量之作業方式及規範：依據前項之相關工作項目，提出我國施行船載重力測量作業方式之規劃及標準規範之研擬。
- (6) 評估我國辦理船載重力測量之可行方法：依據前項之相關工作項目，提出我國船載重力測量作業推動程序與規劃內容之評估。

三、船載重力測量作業規劃

3.1 作業時程規劃：

為使船載重力測量能獲得較完整的重力資料及較準確的定位精度，建議海研一號船可採航速 6-10 節進行觀測航行。若以較慢的航速 6 節進行估算，其相應之時速約為 $6 \times 1.8 = 10.8$ 公里，在規劃船載重力測量作業所需時程時，可配合 20' x 20' 及 10' x 10' 兩種密度之重力測線網進行估算。

(1) 20' x 20' 密度之重力測線網：

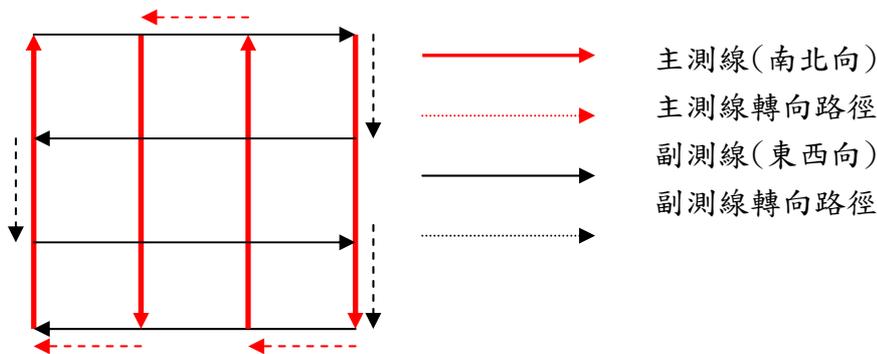
依所搜集之台灣鄰近海域水文資料研析，台灣西部海域因屬淺海及平坦之海底地形，可布設 20' x 20' 密度之重力測線網。若以 $1^\circ \times 1^\circ$ 範圍之測區為例，重力測線網之組成計有主測線（南北向）及副測線（東西向）各 4 條，合計 8 條測線（如圖 3.1），測線總長度約 $108 \times 8 = 864$ 公里，另考量航線轉向所需行經之距離，其實際測船總航行距離約為 1,080 公里。

依此資料推估可知，每 $1^\circ \times 1^\circ$ 測區約需 100 小時之作業航程，若以現階段海研一號測量船每年約可排定 3-4 週之重力測量作業時程來計算，當可在 24 小時連續航行之條件下，以 20' x 20' 之重力測線密度，每年完成約 6-7 個 $1^\circ \times 1^\circ$ 測區之重力測量作業。

(2) 10' x 10' 密度之重力測線網：

依所搜集之台灣鄰近海域水文資料研析，台灣東部海域因屬複雜之海溝地形，可布設 10' x 10' 密度之重力測線網。若以 $1^\circ \times 1^\circ$ 範圍之測區為例，重力測線網之組成計有主測線（南北向）及副測線（東西向）各 7 條，合計 14 條測線（如圖 3.2），測線總長度約 $108 \times 14 = 1512$ 公里，另考量航線轉向所需行經之距離，其實際測船總航行距離約為 1,728 公里。

依此資料推估可知，每 $1^\circ \times 1^\circ$ 測區約需 160 小時之作業航程，若以現階段海研一號測量船每年約可排定 3-4 週之重力測量作業時程來計算，當可在 24 小時連續航行之條件下，以 10' x 10' 之重力測線密度，每年完成約 3-4 個 $1^\circ \times 1^\circ$ 測區之重力測量作業。



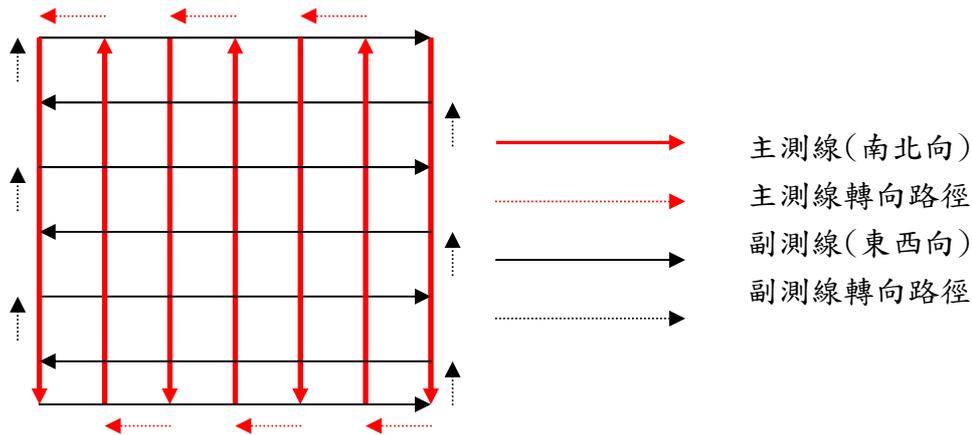


圖 3.2 10' x 10' 重力測線網在 1° x 1° 測區範圍之測線行程

3.2 作業區域規劃：

在獲得 20' x 20' 重力測線密度下，每年可完成約 6-7 個 1° x 1° 測區，以及 10' x 10' 重力測線密度下，每年可完成約 3-4 個 1° x 1° 測區之時程估算資料後，即可針對台灣近海區域所擬推動之船載重力測量作業，配合其可能之四年作業期程進行其作業區域之概略規劃（如圖 3.3）。

(1) 第一年作業區域：

建議第一年完成台灣北部及東北部近岸海域之船載重力測量，作業範圍約在北緯 24° 東經 121°，與北緯 26° 東經 123° 之海域。這是因為台灣東北部海域屬於複雜之海底地形，宜布設 10' x 10' 密度之重力測線網，故依作業時程規劃可知，一個年度之測船作業當可完成 3 個 1° x 1° 測區範圍之重力測量，正可完成台灣北部及東北部海域所涵蓋之測量區域。

(2) 第二年作業區域：

建議第二年完成台灣東部近岸海域之船載重力測量，作業範圍約在北緯 21° 東經 121°，與北緯 24° 東經 123° 之海域。這是因為台灣東部海域屬於複雜之海溝地形，宜布設 10' x 10' 密度之重力測線網，故依作業時程估算，當可完成台灣東部海域約佔 3 個 1° x 1° 測區範圍之重力測量作業。

(3) 第三年作業區域：

建議第三年完成台灣東部延伸海域之船載重力測量，作業範圍約在北緯 21° 東經 122°，與北緯 23° 東經 123° 之海域。同樣由於台灣東部之複雜海底地形，應布設 10' x 10' 密度之重力測線網，故規劃完成 2 個 1° x 1° 測區範圍之海洋重力測量，亦可視剩餘之期程，補測前二年成果精度較不理想之測區海域。

(4) 第四年作業區域：

建議第四年完成台灣西部近岸海域（台灣海峽中線以東）之船載重力測量，作業範圍約在北緯 21° 東經 119°，與北緯 26° 東經 121° 之海域。這是因為台灣西部海域屬於淺海及平坦之海底地形，當可布設 20' x 20' 密度之重力測線網，故依

作業時程規劃可知，一個年度之測船作業應可完成 6 個 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 測區範圍之重力測量，正可配合台灣海峽中線以東，至台灣本島岸線 15 公尺水深以外地區（大型測船作業能力區）之測量作業。另有關台灣本島岸線 15 公尺水深以內地區（如圖 3.4）之重力測量作業，則宜另行開發小型吃水測船之重力測量作業模式。

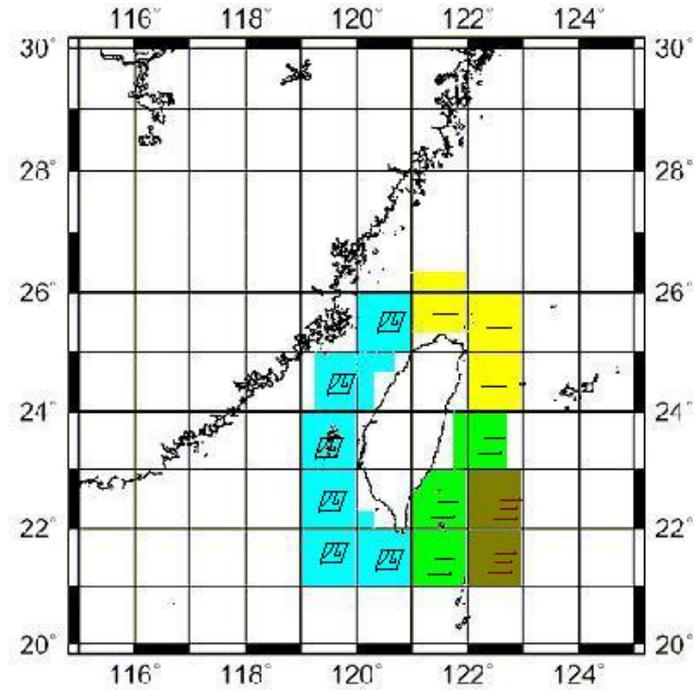


圖 3.3 作業期程與區域之概略規劃

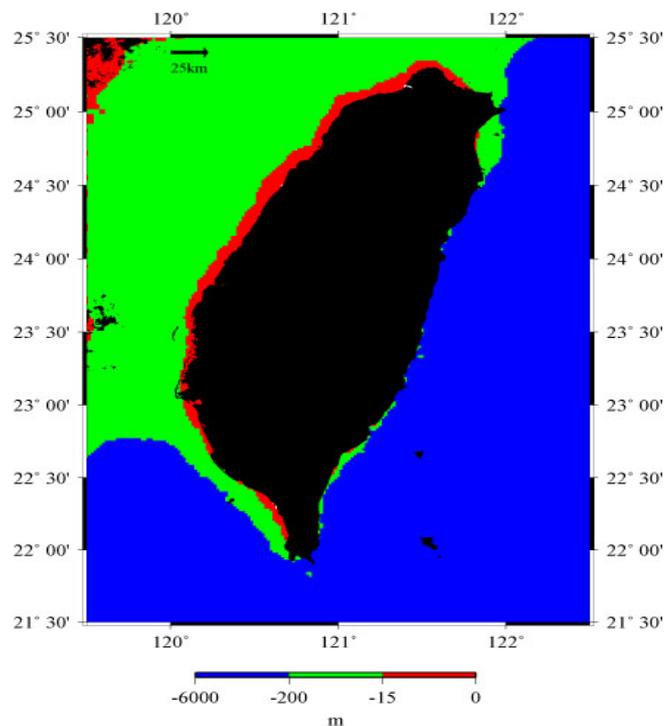


圖 3.4 台灣周圍海域 15 公尺水深區域分布圖

四、作業準備事項

4.1 海研一號測量船年度船期規劃協調：

主管船載重力測量之業務單位，應與國科會海研一號船之負責單位保持聯繫，以便在預算經費及測船航期能夠相互配合之條件下，於適當時機在海研一號船之任務協調會議中，提報並安排適當航期之船載重力測量任務。

4.2 舉辦海洋重力儀儀器操作訓練：

在所採購之海洋重力儀交貨之後，應安排原廠技術人員擔任講員，並在人數許可條件下，邀請國內可能參與船載重力測量之作業與研究單位人員，參與相關之儀器操作訓練，以擴大並落實船載重力測量技術之運用成效。

4.3 測試海洋重力儀與海研一號相關設備之整合運作能力：

儘管海研一號船上與海洋重力測量之相關設備，如艙位、導航、定位、測深、資料蒐集等系統方面，皆已具備整合運作之功能，但仍有在海洋重力儀安裝後，實際進行其整合功能測試之必要，以求在發船出測前，瞭解既有裝備或系統運作受限之條件，進而在考量其影響效應後，安排即時或後處理特性之解決方式。此外，在測試完成相關裝備與系統之整合運作功能後，亦應在港區安排「演練」性質之觀測操作，以求確保海上觀測作業程序之正確及完整。

4.4 完成岸台重力基點布設及重力施測：

配合海研一號船經常泊靠之位置，應在基隆港之水產試驗所碼頭以及高雄港之15號碼頭，先行選定適當地點埋設岸台重力基點，並依陸地重力測量規範之相關規定，由附近之高精度重力點進行岸台重力基點之重力值測定，以供後續海洋重力測量作業及資料化算使用。

4.5 完成測船固定參數及偏移量之測定：

基於海研一號之GPS天線並非正確架設在重力儀艙位之投影位置上，且有垂直距離上之差異，而重力儀艙位與測船甲板之間亦有垂直距離存在，因此在重力觀測資料計算過程中，所將運用之水平及垂直距離偏移量必須先行加以測定，以求提供最佳之重力成果精度。以圖4.1為例， d 是GPS天線沿測船船體中心線方向量至重力儀投影至甲板位置之左右平移與前後平移二個水平距離，其可配合航向資訊以進行GPS天線至重力儀坐標位置之化算使用；而 h_1 與 h_2 二個垂直距離量之組合，會是GPS天線所定出高度值化算至重力儀高度之運用資料，其可在重力觀測量計算時，提供重力異常值化算之所需。

五、結論

基於我國測量界現階段尚無足夠之船載重力測量實務經驗，本文所研擬之作業規劃亦屬先期作業準備項目之一環，應在多次海上作業所累積之實務經驗的基礎上，隨時修正年度作業計劃以符實際。對於往後資料計算與管理提出以下建議。

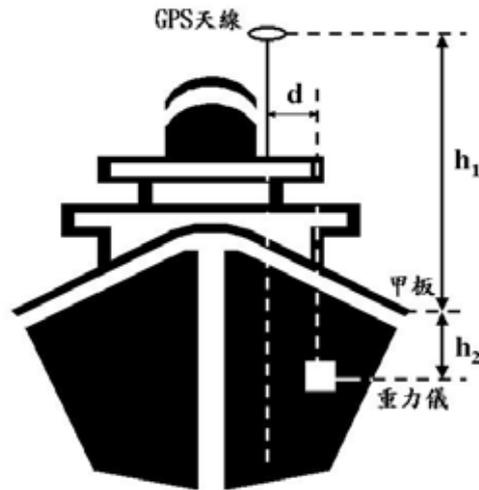


圖 4.1 測船所需量測之水平及垂直偏移量

1. 船載重力測量資料宜由專業人員進行處理及計算：

船載重力測量資料之處理項目繁雜，且必須在重力測量、物理大地測量、GPS 定位測量、海道測量以及測量平差計算等多項領域，具有較為嫻熟的理論基礎，方能在船載重力測量資料之處理過程中，解決其所產生的相關問題。因此，船載重力測量資料宜由專業人員進行處理及計算，以求在多年期資料之一致性及整合性上，取得最佳之成果運用效益。

2. 船載重力測量成果宜建置統一資料庫格式進行管理：

地球重力場資訊實為國防建設與經濟發展必需之基礎資訊，在相關的應用領域中，測量界可用它來研究地球形狀，地質界可用它來研究區域地質構造，能礦界可用它來進行資源測勘，國防單位則可用它來修正戰略武器的彈道，而太空科學界則可用它來計算航空器之精密軌道。基於此類地球重力場資訊之廣泛應用價值，資料本身便需要一個逐步累積、充實、完善及可靠的管理流程。因此，配合電腦技術及資料庫管理技術之發展，未來需有一套重力資料的自動化管理流程，以使地球重力資訊的運用更加落實。

參考文獻

張嘉強，黃金維，黃立信，陳松安，吳曙光，徐欣瑩（2003），台灣海域實施船載重力測量作業之評估要項，兩岸重力及水準面研討會，國立交通大學，新竹，第 325-336 頁。

張嘉強，黃金維（2003b），近海船載重力測量之可行性分析工作，內政部委託研究報告書，102 頁。

黃金維、王成機（2002），台灣新自由空間重力異常網格，測量工程，第 44 卷，第 2 期，第 1-22 頁。

張立華、殷曉東、孫毅、易啟林（2002），Eötvös 效應改正中航向航速計算間隔

- 分析，測繪工程，第11卷，第4期，第39-42頁。
- 管澤霖等（1991），海洋大地測量學，測繪出版社，共126頁。
- Adjaout, A. and M. Sarrailh (1997), A New Marine Geoid around Japan and the Detection of the Kuroshio Current, *Journal of Geodesy*, No. 71, pp. 725-735.
- Chang, C. C., H. W. Lee and I. F. Tsui (2002), Preliminary Test of Tide-independent Bathymetric Measurement Based on GPS, *Geomatics Research Australasia*, No.76, pp. 23-36.
- Dehghani, G. A. (2001), Marine Gravimetry: A Review, EGS XXVI General Assembly, NCOR (2003), 國家海洋科學研究中心海洋資料庫, National Center for Ocean Research, on-line available at <http://www.ncor.ntu.edu.tw/>
- Nice, F., Huang, M. T., et al. (1995), Marine Gravity Surveying Line System Adjustment, *Journal of Geodesy*, No. 70, pp. 158-165.
- Prince, R.A. and D.W. Forsyth (1984), A Simple Objective Method for Minimizing Crossover Errors in Marine Gravity Data, *Geophysics*, Vol. 49, No. 7, pp.1070-1083.
- Strang, V. and G. L. Hees (1983), Gravity Survey of the North Sea, *Marine Geodesy*, Vol. 6, No. 2, pp. 167-182.
- Torge, W. (1989), Gravimetry, Walter de Gruyter. Wessel, P. and A.B. Watts (1988), On the Accuracy of Marine Gravity Measurement, - 336 - *Journal of Geophysical Research*, No. 93(B1), pp. 393-413.