

## 提升水深測量成果品質之研究

謝東發<sup>1</sup>、李佩珊<sup>1</sup>、蔡鴻勳<sup>2</sup>、劉正倫<sup>3</sup>、林燕山<sup>4</sup>

- 1.內政部國土測繪中心測量員
- 2.內政部國土測繪中心簡任技正
- 3.內政部國土測繪中心副主任
- 4.內政部國土測繪中心主任

### 摘要

影響水深測量成果品質因素眾多，作業人員疏忽與儀器誤差為主要因素，作業人員疏忽可藉由制式程序與表格來規範，佐以抽驗性檢查，以作業過程標準化來克服；儀器誤差影響可藉由率定 (Calbration) 來降低，傳統上以校驗板 (Bar Check) 或聲速剖面儀 (Sound Velocity Profiler) 來施作，搭以交叉檢核線 (Cross Line) 辦理成果檢核，藉由比較重疊區之測量數據，判定測量成果之精度，惟此方法未臻完善，尚待利用其他方法進行驗證。本研究於淡水外海建立一個測試區進行實驗，作業時檢查各階段作業過程並予以紀錄；實地作業以 2 台同型號之多音束測深儀 (RESON SeaBat 8124) 辦理測試，於測試區進行水深測量與進行測量成果比對，藉由外部檢核方式檢查測深儀之系統誤差，並測試儀器可靠度。經實地驗證，本研究所建立水深測量標準作業程序可消除人員疏忽與降低儀器誤差，提升水深測量成果品質與可靠度。

關鍵詞：交叉檢核線，標準作業程序

## A STUDY ON THE PROMOTION OF BATHYMETRY SURVEY RESULT QUALITY

Tung-Fa Hsieh<sup>\*</sup> Pei-Shan Lee Hung-Shiun Tsai Jheng-Lun Liou Yen-Shan Lin

<sup>\*</sup> Surveyor, National Land Surveying and Mapping Center

### ABSTRACT

Many factors would contribute to the error sources of bathymetry survey. Among all factors, the carelessness of workers operation procedure and the accuracy of instruments affect the bathymetry survey quality most significantly. We can set up standardized courses, design table and execute random inspection to correct the carelessness operation procedure of workers. For the accuracy of instrument, the calibration such as the bar check, sound velocity profiler and the cross lines are applied. All orders in bathymetry survey were done and recorded in an experimental zone offshore Tamsui. Two multibeam sounders of the same type were tested and the results were compared. Also, the instruments reliability and the system error were checked. By doing the field trial and validation, the standard operation procedure of bathymetry survey were established to eliminate negligence of workers and errors of instruments, the quality and reliability of bathymetry survey are promoted.

Keywords: Cross Line ; Standard Operation Procedure

### 一、前言

傳統船載水深測量係以交叉檢核線 (Cross

Line) 辦理資料檢核，比較重疊區之測量數據，判定測量成果是否符合精度要求，惟此方法無法偵測設備之系統誤差，對於成果的可靠度尚待利用其他

方法進行驗證；而另一方面對於作業過程，亦少有人建立完整檢核機制來控管，導致測量資料解算發現錯誤時無法找尋問題癥結，利用前置的檢查機制，避免或減少上該錯誤。

本研究係於執行內政部「領海及鄰接區海域基本圖測量工作」時，於淡水外海建立一個測試區，以 2 台同型號之多音束測深儀（RESON SeaBat 8124）對此測試區進行水深測量與測量成果比對，以外部檢核方式檢查測深儀之系統誤差與可靠性。同時對各階段作業辦理檢查，建立水深測量標準作業程序，以提升水深測量成果品質。標準作業程序（Standard Operation Procedure, SOP），定義為經常性或重複性之工作，如各種測量作業等，為使作業程序統一，將其執行過程予以規範。其作用在於減少人為錯誤與獲取高品質成果的管控制度。水深測量工作查核作業是執行計畫過程中對成果之品質管制（Quality Control），品質管制的目的在預防錯誤的發生並使誤差最小化，藉由品質控制流程可得知測量資料之優劣，避免某環節出現問題不知而導致成果與後續應用的錯誤，有效率且按部就班的執行查核工作，對於日後成果驗收作業與成果品質將有正面之助益。

## 二、水深測量

### 2.1 音束測深概述

音束測深系統主要單元分為測深單元、定位單元、船體姿態單元、資料收集單元。在預定的航線上施測，音鼓每次發射音束取得音鼓下方（或某範圍）之水深值，隨著船隻移動可得測線水深。在提供足夠密度測線水深資料後，可以內插方式繪製等深線，以取得地形變化趨勢。因為基本上音束在水中的速度是可藉由計算得知，因此我們能以音束從發射至返回接收的時間來計算音束發射中心與物體間距離。公式：距離 = (音速於水中傳遞之速度\*時間差)/2，得到音束發射點與物體間距離後，再經計算得到載具在坐標系統的空間位置，即得物體在坐標系統的空間位置。以音束測深之優點為垂直方向上具公分級解析能力，儀器較便宜，在儀器組裝及操作上簡單易上手，資料量小，處理簡單且單

純。其精度受到包含測深儀測深精度、定位精度、水中聲速、潮位量測及潮差改正、船體前後傾斜、左右搖擺運動(Pitch& Roll)、船體上下升降及船向(Heave & Yaw)、儀器間的時間延遲(Latency)等（謝東發等，2005），音束測深為目前最普遍的作業方式。

本研究採用 RESON SeaBat 8124 多音束測深儀，涵蓋範圍 120°（約 3.4 倍水深），具備 80 個音束（1.5° \*1.5°），其聲納頻率為 200kHz，測深可達 300m，解析力為 1cm；並搭配 Leica GPS 衛星定位儀（SYSTEM 500）、IXSea OCTANS III 動態運動姿態感測儀及電羅經、AVITRONIC SVP 14 聲速剖面儀、SEA-BIRDSBE37-SI MicroCAT 鹽溫深儀（CTD）表面聲速儀等設備進行作業，以提供本研究參考依據。

### 2.2 影響水深測量精度因子

依據（張功武，1999）所蒐集美國工兵署美國工兵署深度量測精度評估表（Estimated depth Measurement Accuracy），該表詳列誤差來源與影響，水深測量誤差來源包括儀器系統誤差、系統率定誤差、解析度、水深因素、高程參考基準、驗潮資料、載具穩定度、載具速度、儀器靈敏度等，如表 1。

表 1 美國工兵署深度量測精度評估表

深度量測精度評估表				
誤差來源	每種條件預估的標準誤差 (單位: ±英尺)			
	理想狀況	平均小於 20 英尺	平均大於 20 英尺	海岸
量測系統	0.05	0.05	0.1	0.2
系統率定	0.05	0.1	0.2	0.3
解析度	0.1	0.1	0.1	0.2
水深因素	---	0.05	0.1	0.2
參考基準： 垂直	0.05	0.05	0.05	0.05
	0.02	0.2	0.2	0.2
載具穩定度	0.05	0.2	0.3	1
載具速度	---	0.1	0.1	0.2
靈敏度	0.05	0.05	0.1	0.5
成果均方根誤差	±0.15	±0.3	±0.5	±1.3

## 2.3 測量精度規範

目前國內較具體的水深測量規範係由內政部委託國立中山大學海洋科技研究中心薛憲文教授參考 IHO (International Hydrographic Organization) 於 1998 年公佈國際海洋測量標準 S-44 (International Hydrographic Bureau, 1997) 研訂「領海及鄰接區海域基本圖測量規範」(內政部, 2004), 內容包含近岸海域、領海海域與鄰接區海域的水深測量規範, 以供辦理海域基本圖測量規格與驗收參據, 如表 2, 其水域分類依據「中華民國領海及鄰接區法」分為近岸海域、領海海域與鄰接區海域 3 項, 各分類之定義如下:

1. 近岸海域: 定義為平均海水面至 30 公尺水深處或離岸 6 公里處, 取其距離長者。
2. 領海海域: 定義為 30 公尺水深處或離岸 6 公里處, 取其距離長者至領海界線。
3. 鄰接區海域: 定義為領海界線至鄰接海域界線。

表 2 海域基本圖測量精度規範

等級	特等量測	一等量測	二等量測
典型水域	近岸海域	領海海域	鄰接區海域
水平定位精度	2m	5m+0.05d	20m+0.05d
水深精度	a=0.25m b=0.0075	a=0.5m b=0.013	a=1.0m b=0.023
圖比例尺	1:5,000	1:50,000	1:50,000
測線間距	50m	500m	500m
水深精度: $[a^2+(b*d)^2]^{1/2}$ a: 固定水深誤差 b: 從屬水深誤差因子 d: 水深 (公尺)			

## 三、實地測試作業

海域地形測量資料為後續海域地形圖、GIS 與數值高程模型製作的基礎, 因此其重要性不可言喻。本研究對於影響海域地形測量資料成果因素包含船隻導航及定位方式、儀器架設偏移修正數據如音鼓吃水深、音鼓平面位置、定位儀平面位置、定位儀高程、定位儀至水面距離、船隻姿態感測器位置與音束測深儀音鼓的安置角度等於港區進行檢查, 另潮位觀測數據與精度更是影響海域地形測量資料優劣之重大原因, 所以上述作業過程與資料於工作進行同時需加以檢視。本研究作業用船隻為金龍資 39 號與詮華 1 號 (圖 1)。



圖 1 作業船隻 (詮華 1 號)

船隻基本資料如表 3, 2 艘作業船分別於 97 年 3 月 18 日與 25 日進行作業, 並於淡水第二漁港 (漁人碼頭) 進行港區內前置作業檢查。

表 3 作業船基本資料

船名	金龍資 39 號	詮華 1 號
船長	13.5 公尺	12.0 公尺
船寬	3.3 公尺	2.75 公尺
船體	F.R.P 船殼	F.R.P 船殼
噸位	總噸位: 14.98 噸/ 淨噸位: 4.49 噸	總噸位: 6.37 噸/ 淨噸位: 0 噸
動力	六缸柴油引擎, 螺旋推進器	YANMAR 柴油內機
馬力	320 匹	360 匹
油量	7173 公升	1600 公升
乘員	20 名	8 名
吃水深	1.4 公尺	0.45 公尺
航速	12 節	18~22 節

## 3.1 測試區規劃

本研究於淡水外海選定一個 1Km\*1Km 大小之測試區 (圖 2), 提供 2 台同型號多音束測深儀依規劃測線進行水深測量作業。

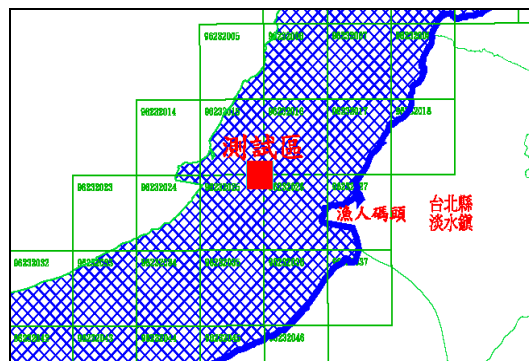


圖 2 測試區

### 3.2 作業程序

作業程序分爲 8 步驟，各步驟由作業人員執行與填載各項表單後，再由檢查人員檢核，以確認作業過程均依標準作業程序執行。

1. 基地站架設於 96H011 點位上，經檢查基地站坐標輸入正確無誤（圖 3）。



圖 3 基地站架設檢查

2. 移動站檢測選定 96H012 點位，檢查檢測成果符合精度規範，並填寫水深測量 GPS 衛星定位儀檢測表。
3. 檢查船上各項儀器，皆正常運作（GPS、動態姿態感測儀、電羅經、多音束測深機、表面聲速儀、電腦及導航軟體）。
4. 填寫測量工作記錄表（多音束），記錄各使用儀器及參數。
5. 填寫出海作業記錄表，於安檢所登記出港。
6. 作業中隨時監控船隻航行路徑、船隻航行速度、儀器狀態、資料傳輸狀況、資料品質等，並填寫測量工作記錄表。
7. 於測區內施放聲速剖面儀，記錄其施放位置，即時下載並檢查資料。
8. 水深測量作業完畢後立即下載各項資料並回傳至公司以進行內業計算。

作業過程以工作紀錄表或檢查表辦理紀錄與檢查，由作業人員紀錄控制點、船隻、儀器、作業人員、儀器架設相關位置與參數等資料，並填寫出海作業記錄表，檢查船上各項儀器，是否皆正常運作（GPS、動態姿態感測儀、電羅經、多音束測深機、表面聲速儀、電腦及導航軟體），最後由檢查人員辦理書面及實地檢查作業人員是否依規定辦理與完成

各項工作。作業中於測試區內施放聲速剖面儀，記錄其施放位置，並監控船航徑、航速、儀器狀態、資料傳輸狀況、資料品質等，並填寫測量工作記錄表，測線規劃與航線軌跡如圖 4。

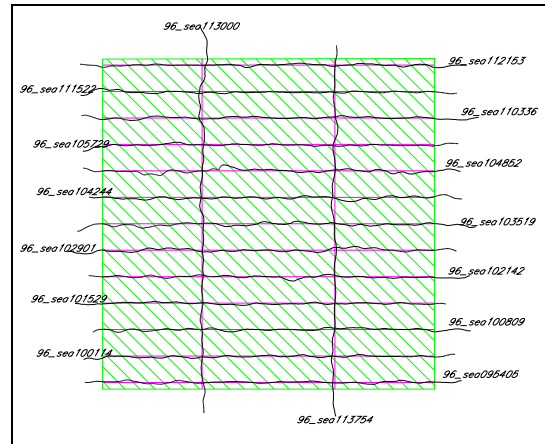


圖 4 測線規劃與航線軌跡

## 四、資料分析

### 4.1 資料解算

資料解算以 HYPACK MAX 4.3 軟體進行，分爲 5 步驟：

1. 先逐一對單一測線初步篩除可疑的水深資料，如訊號品質不佳的水深值、異常的水深值及定位品質不佳的水深點。多音束測深資料因資料量龐大，需藉由專業軟體輔助資料的篩選作業。
2. 計算系統的疊合測試（patch test），將實測資料經內業計算處理分別求取音鼓安置的前後傾斜（pitch）、左右傾斜（roll）、船向偏差（yaw）之角度，經由多次的反覆測試與計算求取出最佳的率定值，以修正音鼓安置角度的偏差，將水深測點修正至正確的深度及位置。
3. 加入各項修正資料，包含潮位資料、聲速剖面資料、儀器架設偏移參數、船隻姿態資料及率定資料等，經檢核無誤後才加入水深資料的修正計算，可得到歸算後的水深資料。
4. 整合同一測區的測深資料，利用資料間的相互重疊或交錯部分來比較其差值以剔除不符的水深點。
5. 相鄰測線進行測線資料重疊率計算及水深精度計算，將其整理成表。

測量資料進行計算與篩選後，依據 IHO 一等規範公式

$$\text{水深精度} = \sqrt{a^2 + (b * d)^2} \quad (1)$$

其中 a 為固定水深誤差；b 為從屬水深誤差因子；d 為水深，將重疊區資料進行比對，以分析不同測深儀對同一區域測量成果較差。

## 4.2 成果分析

成果分析分為 2 部分，首先利用檢核線進行單儀器測量成果比對，再進行同區域不同儀器成果比對，藉由 2 階段比對來分析設備內精度。

### 4.2.1 檢核線分析

檢測區內各相鄰測線間（與檢核線）之重疊率計算及水深精度計算，其成果計 14 筆重疊測線，重疊筆數介於 982 筆-4956 筆間，其較差平均介於 0.09 公尺-0.20 公尺間，比對結果，14 筆重疊測線數據均符合 IHO 一等規範要求。圖 5 之水深測量誤差分佈圖，是選用 2 條測線重疊區域比較其誤差值，將其數據繪製成圖。

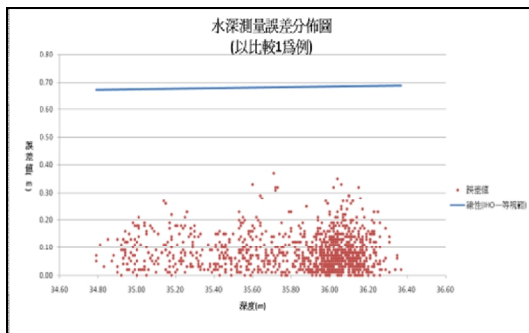


圖 5 檢核線誤差分佈圖（金龍資 39 號）

### 4.2.2 交叉分析

2 台儀器於同區域測量成果進行比對，如成果有明顯差異，則表示作業過程或儀器有錯誤，因此，對 2 套多音束測量系統（金龍資 39 號與詮華一號）於 1Km×1Km 測試區內所量測之水深值進行誤差分析，比較時先將各自測得之水深資料內插成 5m×5m 網格點，再一一比對相同位置之水深誤差。

因測試區水深介於 35-39 公尺間，依據 IHO 一等規範，計算其允許較差不得大於 0.67-0.72 公尺，本研究測資料經處理計獲得 47405 筆重疊區資料，經計算其較差中誤差為 0.15 公尺，最大差值為 0.97 公尺，踰越上該規範有 20 個點，佔總點數

0.05%，不同測深儀測線重疊區水深測量較差如圖 6 所示。

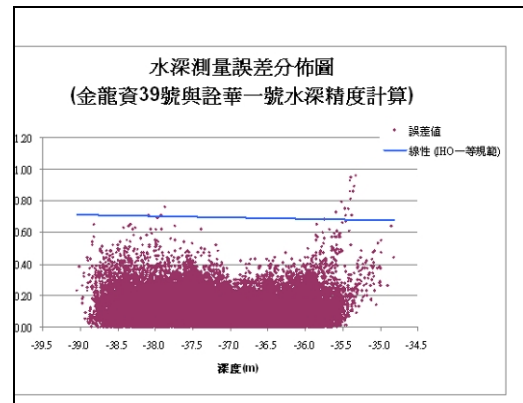


圖 6 重疊區水深測量較差圖

## 五、結論

水深測量工作查核作業是執行計畫過程中對成果之品質管制（Quality Control），預防錯誤的發生並使誤差最小化，經實地驗證，本研究所建立水深測量標準作業程序可消除人員疏忽與降低儀器誤差，提升水深測量成果品質與可靠性。

海域地形會因浪、流、暴雨、颱風、季風... 等外在因素影響而產生巨大變化，因此在進行相關查核時須考量時間因素，為避免時間因素影響作業，以避免資料取樣時間不同所產生之差異。

## 參考文獻

1. 謝東發、白敏思、李彥弘(2005)，「海域地形測量成果查核與驗收機制建立之研究」，內政部土地測量局自行研究報告。
2. 內政部（2004），「研定領海及鄰接區海域基本圖測量規範」。
3. 張功武（1999），「海底地形量測之品質管制」，國立中山大學海洋環境及工程學系研究所碩士論文。
4. International Hydrographic Bureau（1997），IHO Standards for Hydrographic Surveys, 4rd.