

海研三號 杜卜勒流剖儀使用手冊
Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)
R/V Ocean Researcher III (OR3)

張育嘉¹ 曾若玄²

¹中山大學海洋資源系博士生

²中山大學海洋資源系教授

國科會海研三號貴重儀器中心

中華民國九十四年八月

目 錄

一、 ADCP 設備介紹	3
1.1 ADCP 規格資料	3
1.2 ADCP 音鼓	4
1.3 ADCP 控制儀	5
1.4 輸入訊號(GPS, heading, Pitch/Roll)	6
1.5 使用軟體(VMDAS, WinADCP, BBLIST)	7
二、 資料擷取軟體 VMDAS 介紹	8
三、 原始資料之格式說明	11
四、 資料展示與輸出軟體 WinADCP 介紹	14
五、 資料輸出軟體 BBLIST 介紹	18
附錄	
A. ADCP 原理簡介	19
A.1 杜卜勒效應與流速	19
A.2 三維流速向量	20
A.3 流速剖面	22
A.4 ADCP 資料和回音波譜	24
A.5 整體平均(Ensemble averaging)	25
A.6 ADCP 的運動: pitch, roll, heading and velocity 的修正	26
A.7 回音的振幅和剖面的範圍	27
A.8 音鼓(transducer)	27
A.9 其他影響 ADCP 資料品質的因素	29
A.10 Bottom tracking	30

一、ADCP 設備介紹

1.1 ADCP 規格資料

海研三號船碇式聲納杜卜勒流速剖面儀 (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP) 的硬體基本設備包含了一組音鼓 (transducer) 和一套控制儀 (deck unit)，此系統為美國 RD Instruments (RDI) 公司所製造的 Ocean Surveyor 150 kHz Vessel-Mount ADCP，於 2003 年 2 月安裝完畢，取代了舊的 75 kHz ADCP，RDI 公司的住址為 9855 Businesspark Avenue, San Diego, CA 92131 USA, Tel. (858)693-1178, Fax (858)695-1459, E-mail: sales@rdinstruments.com，網址為 www.rdinstruments.com。

這款新型的 ADCP 有兩種觀測模式可供選擇，第一種為 Long-Range mode，是屬於 broad band，它可以量測到較深的流速剖面資料，但其精確性 (Precision) 較低，第二種模式為 High-Precision Mode，是屬於 narrow band，它可測量的深度範圍較小，但具有較高的精確性。表 1 為 RDI 提供的技術說明。海研三號 ADCP 的頻率為 150 kHz，在 Long-Range Mode 下，當 Vertical Resolution Cell Size 設定為 4m 的時候，船速範圍在 1~5 節，可測量的最大深度範圍為 325~350 m，單一個 ping 的標準差為 30 cm/s。當 Cell Size 增加到 8 m 時，可測量的深度範圍約增加 50 m，單一個 ping 的標準差也降到 19 cm/s。而在 High-Precision Mode 中，Cell size 等於 4 m 時，船速 1~5 節，可測量的深度範圍為 200~250 m，單一個 ping 的標準差只有 12 cm/s。當 cell size 為 8 m 時，可測量的深度範圍略增為 220~275 m，而單一個 ping 的標準差降到只有 9 cm/s。

表 1 RDI 公司提供的技術說明

Technical Specifications

Water Profiling						
Long-Range Mode	38 kHz		75 kHz		150 kHz	
Vertical Resolution Cell Size ³	Max. Range (m) ¹	Precision (cm/s) ²	Max. Range (m) ¹	Precision (cm/s) ²	Max. Range (m) ¹	Precision (cm/s) ²
4m					325-350	30
8m			520-650	30	375-400	19
16m	800-1000	30	560-700	17		
24m	800-1000	23				
High-Precision Mode	38 kHz		75 kHz		150 kHz	
Vertical Resolution Cell Size ³	Max. Range (m) ¹	Precision (cm/s) ²	Max. Range (m) ¹	Precision (cm/s) ²	Max. Range (m) ¹	Precision (cm/s) ²
4m					200-250	12
8m			310-430	12	220-275	9
16m	520-730	12	350-450	9		
24m	730-780	9				

¹ Ranges at 1 to 5 knots ship speed are typical and vary with situation.

² Single-ping standard deviation.

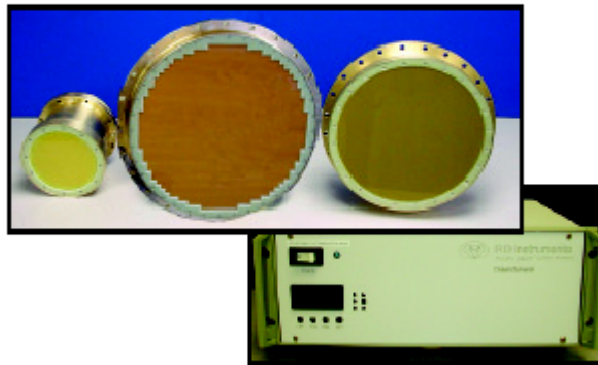
³ User's choice of depth cell size is not limited to the typical values specified.

1.2 ADCP 音鼓(Transducer)

整個 ADCP 的系統零件主要由 150 kHz 的 transducer 與電子控制儀 (rack-mount electronic chassis) 所組成，主機可以外接其他儀器，如電羅經等資料，供整套系統正常運作。圖 1 為 transducer 與電子主機的外觀，海研三號 150 kHz 的 transducer，直徑約只有 0.3 m 左右(圖 2)，本說明書的圖表大部份皆取自於 RDI 發表的技術說明與使用手冊。圖 3 為 transducer 的內部結構，包含音鼓外殼(transducer housing)、Beam 的電路板、Compass 的電路板以及 I/O Cable 等等。Transducer 的 Beam angle 為 30 度，4 個 beam 的排列方式，一般典型長週期平均的流速準確度約為 $\pm 1.0\%$ ， ± 0.5 cm/s，可量測的速度範圍為 -5 到 9 m/s, depth cells 的數目範圍為 1~128 個，最大的 ping rate 是 1.1 Hz。Bottom Track 的 maximum altitude (precision <2 cm/s) 是 600m。安裝在 transducer 上的溫度 sensors 的溫度量測範圍為 -5~45，精確度為 ± 0.1 ，解析度為 0.03。

System Components

- 38, 75, or 150 kHz transducer
- 19" rack-mount electronic chassis



User to supply compass input or GPS navigation data and NMEA tilt information.

圖 1 Ocean Surveyor Vessel-Mount ADCP 主要的系統零件

Dimensions

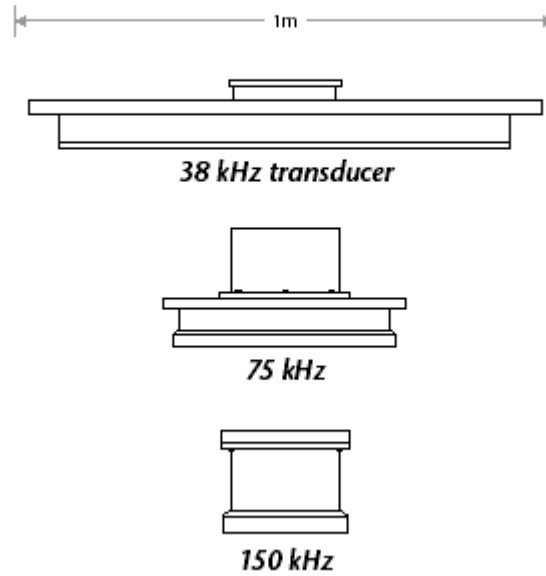


圖 2 Transducer 的尺寸大小

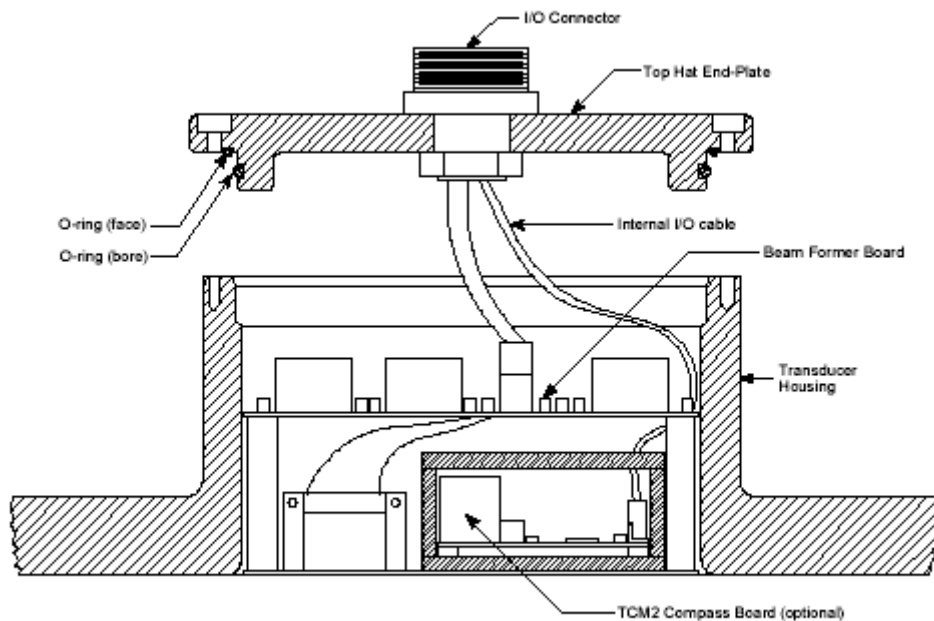


Figure 4-2. Ocean Surveyor Transducer

圖 3 Transducer 的內部結構

1.3 ADCP 控制儀(Electronic chassis)

控制儀包含所有連接到音鼓、電腦、船舶電羅經以及交流電源的介面，圖 4 為控制儀的後視圖(REAR VIEW)、俯視圖(TOP VIEW)以及前視圖(FRONT VIEW)。裡面包含一塊主機板(MOTHER BOARD)、電源供應器(POWER SUPPLY)以及一些內建

的電路板，如:GYRO BOARD..等。

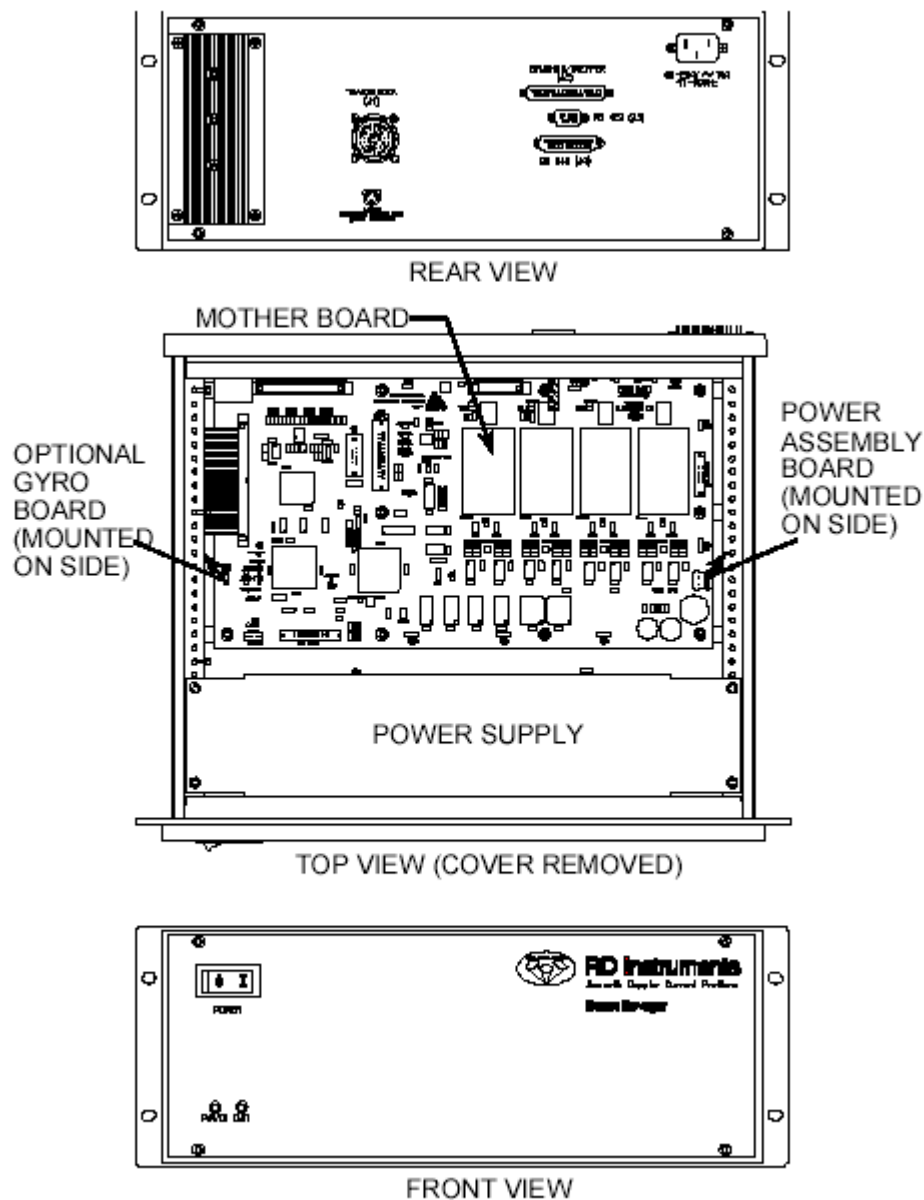


Figure 4-1. Ocean Surveyor Electronics Chassis

圖 4 控制儀的後視圖(REAR VIEW)、俯視圖(TOP VIEW)以及前視圖(FRONT VIEW)。

1.4 輸入訊號(GPS, heading, Pitch/Roll)

圖 5 為 Ocean Surveyor 的 cable 連線圖，音鼓與船上電羅經(gyrocompass)的類比信號先輸入至控制儀，再轉換成數位信號，然後再藉由 RS-232 或 RS-422 的信號線傳送到電腦。衛星定位的資料(NAV)也輸入至電腦，所有資料經過軟體整合之後再輸出至檔案。至於海研三號上另有一台 motion sensor，可將船舶的 pitch/roll 動態信號傳送到控制儀，以便修正 ADCP 的流速資料，但是由於系統整合有些問題，故此 sensor 目前並無使用中。

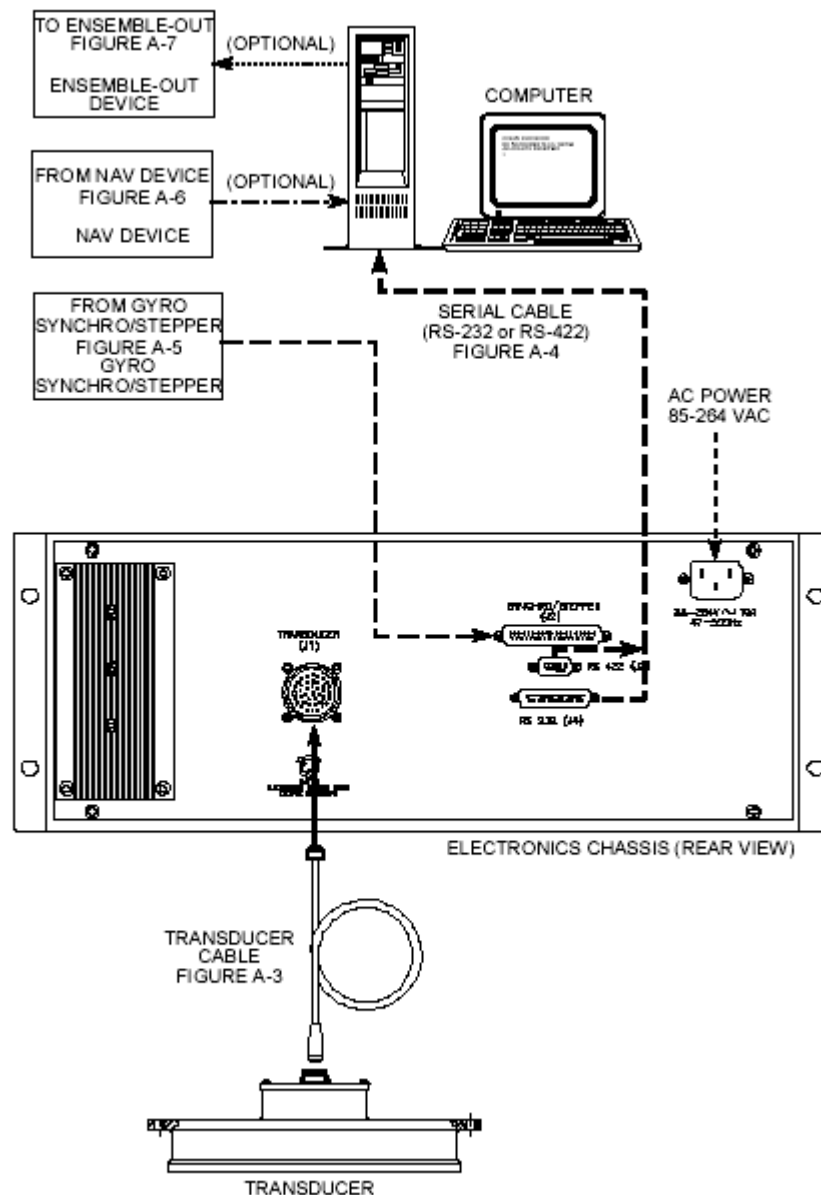


Figure A-1. Ocean Surveyor Cable Interconnections

圖 5 Ocean Surveyor 的 cable 連線圖

1.5 使用軟體(VmDas, WinADCP, BBLIST)

這套系統主要應用到兩套視窗版的軟體，分別是 VmDas 和 WinADCP。VmDas 這套軟體主要是提供資料擷取與重新處理(Reprocess)資料的功能。WinADCP 的功能主要為資料展示與輸出，輸出的格式有 TXT 與 MATLAB 兩種，將於下面章節詳細介紹。另外還有一種 DOS 版的輸出軟體叫 BBLIST，也將於後面章節加以說明。

二、資料擷取軟體 VmDas 介紹

VmDas 主要功能為資料擷取(data collection)與資料的再處理(reprocess)，其中關於資料擷取這方面的操作，海研三號船上的探測技正相當熟悉，上船時只需要告知船上技術人員要使用 Long-Range mode 或 High-Precision mode，垂直解析度的 cell size 要設定成 4 m 或 8 m，短週期與長週期的資料平均間隔要設定成幾分鐘？如果沒有告知，就會設定成預設值，不過有些的設定都可以回到實驗室後再利用再處理(Reprocess)的功能重新轉換成需要的設定，如長週期或短週期所設定的平均時間就可以回到實驗室再處理成需要的平均時間。

2.1 Reprocess

通常在出海航次結束以後，若要再重新處理 ADCP 資料時，則可以使用 VmDas 的 Reprocess 功能，詳情請參閱 VmDas User 's Guide，這裡僅將重要的步驟加以說明。執行 VmDas 程式後，按 File, Reprocess Data，選擇你要 reprocess 的.VMO 檔案。如圖 6 畫面相同。

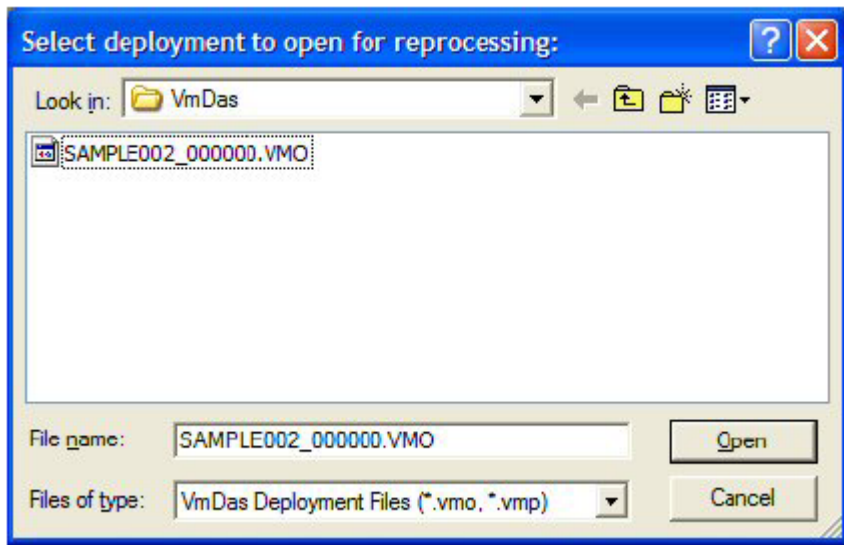


圖 6 Reprocess Data 時，選擇你要 reprocess 的.VMO 檔案

之後按 Options，Edit Data Options，按 Recording 選單，可以更改要處理的檔案名稱與號碼，如圖 7 的畫面。

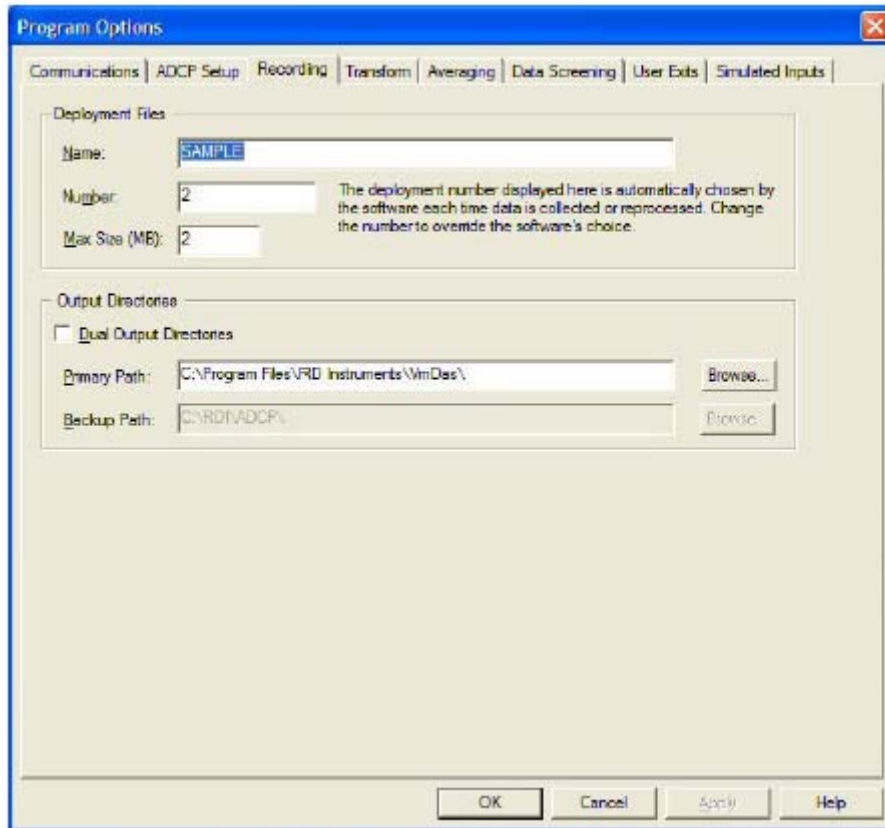


圖 7 Options , Edit Data Options , Recording 選單。

Reprocess 常用來重新計算 Long time average (*.lta)和 Short time average (*.sta)的平均時間間隔。選擇 Averaging 的標籤，更改 First Time Interval 的值，這個是 *.sta 的平均時間，單位為秒。另一個 Second Time Interval 是用來設定 *.lta 的平均時間，如圖 8 的畫面所示。

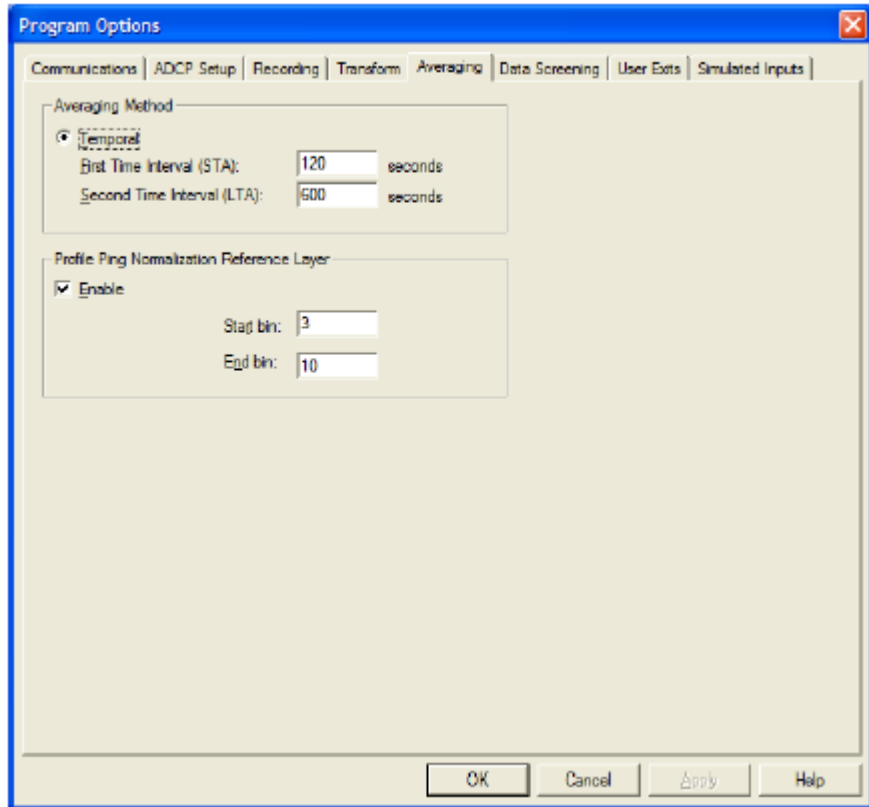


圖 8 Averaging 的標籤，更改*.sta 和*.lta 的時間間隔。

所有想要重新處理的設定都更改後，按下 OK 鍵離開 Edit Data Options 的螢幕，然後按下 Options, Save as 儲存，要開始 Reprocess 則是選擇 Control 主選單，然後按 Go，就開始重新處理了，這時候你會看到 Ensemble number 會增加，等到處理完成會出現 " Done! " 的訊息。畫面如圖 9 所展示的一樣。

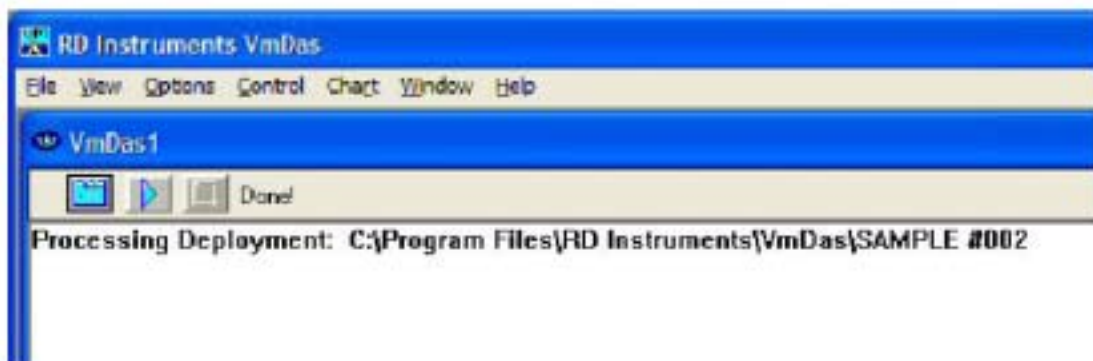


圖 9 Reprocess 完成後的畫面訊息。

三、原始資料之格式說明

VmDas軟體在資料收集模式下會產生的檔案格式為

DeployNamexxx_yyyyyy.Ext，其中DeployName是使用者命名的航次名稱。xxx是 deployment number，隨著軟體每一次的停止執行與重新啟動而依序增加。yyyyyy是file sequence number，當檔案容量大於預設的最大容量時就會增加。Ext是附檔名，它代表資料的類型。

VmDas在重新處理模式下所產生的reprocessed files有類似的格式

DeployNamexxx_zzz_yyyyyy.Ext，其中zzz代表 reprocessing number，隨著同一個原始資料被重新處理的次數而增加，其他的格式與資料收集模式的格式相同。

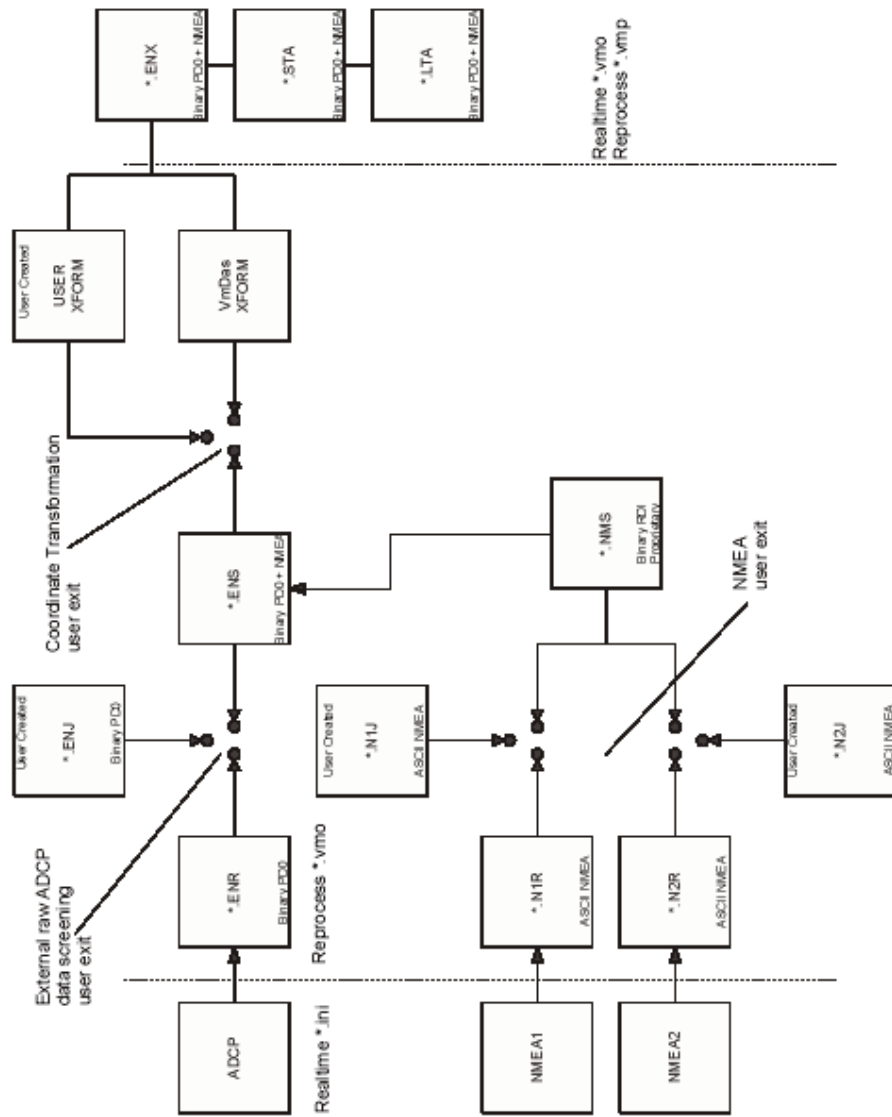


Figure 24. User Exits

圖10 VmDas使用手冊內產生各個檔案的流程圖。

圖10是VmDas使用手冊內產生各個檔案的流程圖，不同副檔名所代表的資料格式說明如下：

副檔名	說明
.ENR	ADCP資料的原始(Raw)檔案(Binary格式)
.LTA	長時間週期的ADCP平均資料(Binary格式，已包含經緯度資料)
.STA	短時間週期的ADCP平均資料(Binary格式，已包含經緯度資料)
.ENS	ADCP data已經被VmDas利用RSSI和correlation篩選過或被 User Exit調整過的資料，它也包含有經緯度的資料。
.ENX	ADCP單一個ping的資料，它也包含經緯度的資料，經過座標轉換以及error velocity、vertical velocity和false targets的篩選。
.N1R & .N2R	原始經緯度與pitch&roll的資料，是文字格式(text files)，其中包含ADCP的時間，它的格式為 \$PADCP, eeeee, yyyymmdd, hhmmss, -nnnnn.nn，其中 eeeee是ADCP ensemble的數目, yyyymmdd是年 月 日的時間, hhmmss.ss是小時、分、秒，-nnnnn.nn = (signed) PC clock offset from UTC in seconds; includes time zone difference)。
.VMO	蒐集資料時的設定檔(text file)。
.VMP	再處理(reprocess)資料時的設定檔(text file)。
.LOG	為ASCII檔案，裡面紀錄所有因為全球定位系統，ASCII Ensemble輸出或是ADCP信號傳送過程而產生的錯誤訊息

四、資料展示與輸出軟體 WinADCP 介紹

通常在分析處理 ADCP 資料時，會使用 Mat lab 或其他的程式語言的軟體，這時就會使用 WinADCP 來將二進位格式的資料轉換成 ASCII 格式。使用 WinADCP 的重要步驟如下：

1. 執行 WinADCP 軟體，從主選單 File→Open 選項，選取要開啟的檔案，如*.STA *.LTA 或*.ENX。

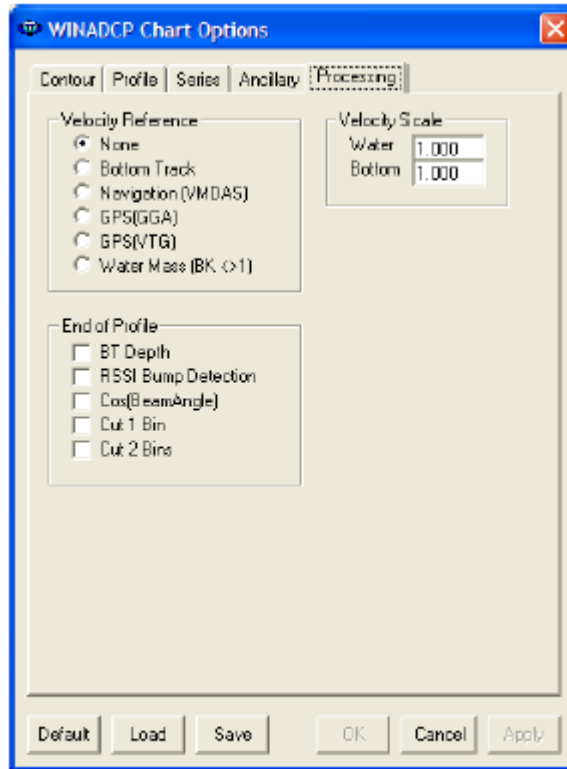


Figure 15. Processing Tab

圖 11 在 Velocity Reference 選單裡選擇參考速度的方式

2. 從主選單 Options→Chart Options→Processing 在 Velocity Reference 選單裡選擇參考速度的方式(圖 11)，選擇 Bottom Track 模式為參考海底的速度，適用於淺海作業，Navigation 模式適用於任何水深。選擇好 Processing 的模式後，所展示出的時間序列剖面如下圖 12 和 13 所示，Whole Set 是所有時間的圖，Sub Set 是擷取一部份時間的圖，因此 WinADCP 具有初步的資料展示功能。可以利用 Options→Chart Options→Contour 去選擇要繪製物理量的等值圖，也可以利用 Options→Chart Options→Profile 去更改 Profile 的展示功能。

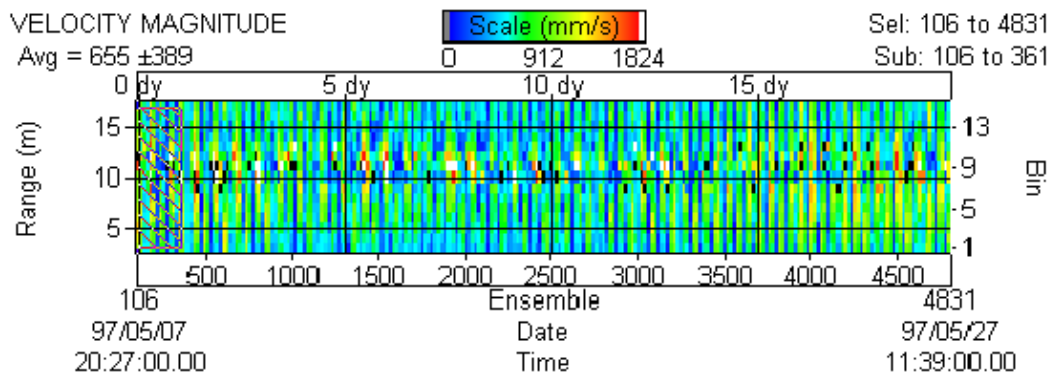


Figure 1. Whole Set

圖 12 所有觀測時間(Whole Set)的速度大小時間序列圖

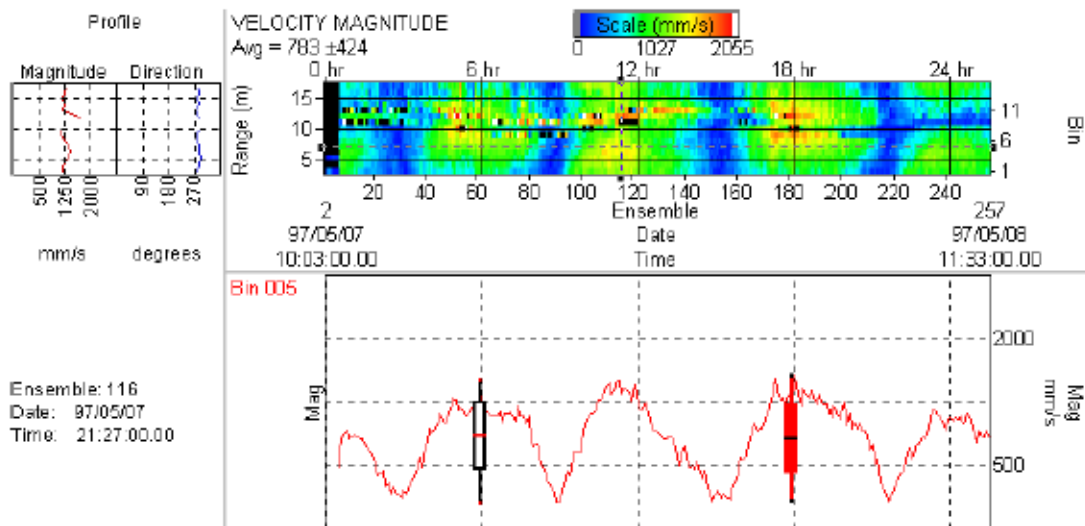


Figure 2. Sub Set

圖 13 部份觀測時間(Sub Set)的速度大小時間序列圖

3. 從主選單 Export→Series/Ancillary→輸出時間序列的資料,在視窗中 File Type 裡選擇要輸出的檔案的格式,選擇輸出格式為 Matlab 格式(MAT)或文字格式(TXT)? 如圖 14 的畫面。Bins 選單裡選擇你所需要的 Bin numbers, Ensemble 選單裡選擇你需要輸出的 Ensemble 範圍與間隔。之後再勾選你要輸出的物理量,一般會有 Velocity 選項的 u, v, w, Error, Magnitude, Direction, Percent Good 選項的 PG4, ANC DATA TYPE 選項的 Heading, Bottom Track 選項中的 BT Depth, Navigation 選項中的 Lat/Lon。如果你需要其他紀錄,就請勾選需要的物理量。

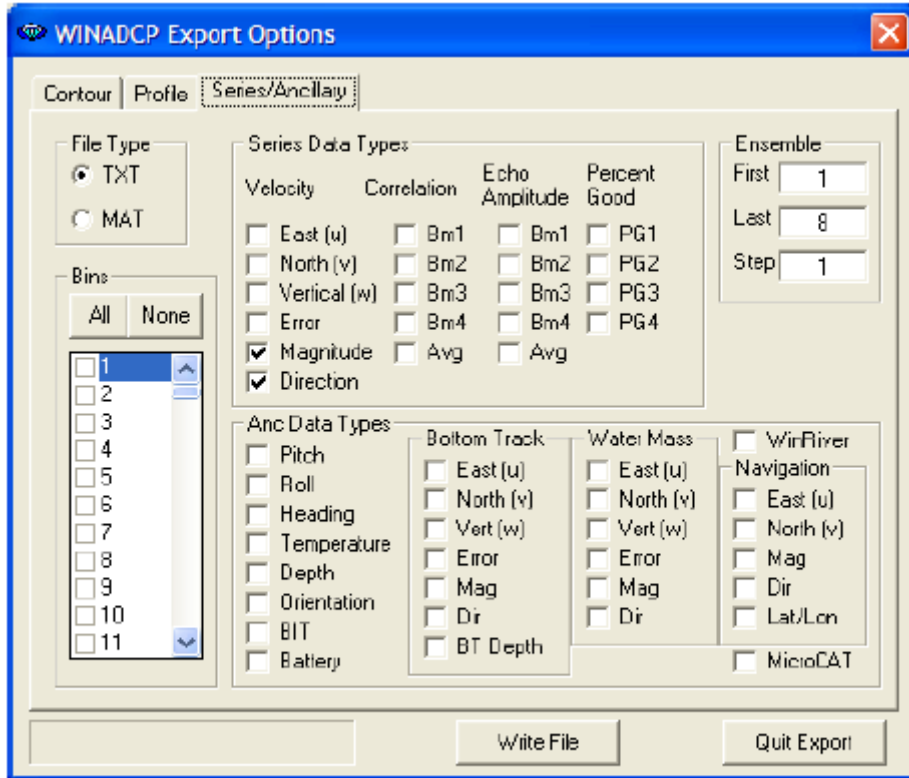


Figure 18. Export Data – Series/Ancillary

圖 14 Series/Ancillary 選單中，選擇要輸出的物理量。

4. 選擇好輸出的選項，按下 Write File 鈕，就可以輸入路徑及檔名然後輸出資料。

4.1 MATLAB 格式內建的矩陣說明

利用 matlab 軟體 load 輸出的檔案(matlab 格式)，會得到許多內建矩陣的名稱，它們的矩陣大小與物理量意義如下：

Name	Size	
AnBTDepthcmB1	Ensemble no. x 1	Depth (cm) of Beam 1 in Bottom Track mode
AnBTDepthcmB2	Ensemble no. x 1	Depth (cm) of Beam 2 in Bottom Track mode
AnFLatDeg	Ensemble no. x 1	The First Latitude (degree)
AnFLonDeg	Ensemble no. x 1	The First Longitude (degree)
AnLLatDeg	Ensemble no. x 1	The Last Latitude (degree)
AnLLonDeg	Ensemble no. x 1	The Last Longitude (degree)
AnH100thDeg	Ensemble no. x 1	Heading (100 x degree)
AnT100thDeg	Ensemble no. x 1	Temperature (100 x degree)
RDIBin1Mid	1 x 1	The Middle Depth of Bin 1
RDIBinSize	1 x 1	The Bin Size
RDIEnsDate	Char	The Date of first ensemble

RDIEnsInterval	1 x 1	The Interval of Ensemble (sec.)
RDIEnsTime	Char	The Time of First Ensemble
RDIFileName	char	File Name
RDIpingsPerEns	1 x 1	Pings of per Ensemble
RDISystem	char	The System of ADCP
SerBins	1 x Bins no.	A Series of Bins
SerDay	Ensemble no. x 1	A Series of Days
SerDir10thDeg	Ensemble no. x Bins no.	A Series of Directions (10 x degree)
SerEmmpersec	Ensemble no. x Bins no.	A Series of E-W component velocities (mm/sec)
SerEnsembles	Ensemble no. x 1	A Series of Ensembles
SerErmmpersec	Ensemble no. x Bins no.	A Series of Error velocities (mm/sec)
SerHour	Ensemble no. x 1	A Series of Hours
SerHund	Ensemble no. x 1	A Series of Hundred Seconds
SerMagmmpersec	Ensemble no. x Bins no.	A Series of Magnitudes (mm/sec)
SerMin	Ensemble no. x 1	A Series of Minutes
SerMon	Ensemble no. x 1	A Series of Months
SerNmmppersec	Ensemble no. x Bins no.	A Series of N-S component velocities (mm/sec)
SerPG4	Ensemble no. x Bins no.	A Series of Percent Good of Beam 4
SerSec	Ensemble no. x 1	A Series of Seconds
SerYear	Ensemble no. x 1	A Series of Years

五、資料輸出軟體 BBLIST 介紹

Bblist 是一項較早期的 RDI 工具軟體，要在 DOS 模式下使用，可以將二進位資料轉換成 ASCII 格式，它的優點是輸出檔案的格式排列較為整齊規則，便於讀取。缺點則是它無法輸出經緯度資料，需要另外利用擷取 EK500 的檔案來補足經緯度資料。

首先要開啟檔案要輸出的檔案，利用主選單 File → Load → Binary Data → 鍵入要開啟檔案的路徑與檔名，開啟要轉換的檔案。

接下來選擇主選單的 Process 來更改資料處理的步驟，選入 Process 後，velocity reference 選擇 BTM TRACK 模式(Bottom Tracking)，Velocity units 可以選擇 mm/s, cm/s, m/s 等等。同理 Depth units 的選擇有 cm, m 等等。Mark below bottom 的選項是決定是否要輸出海底以下的資料。

主選單 Display 可以用來看看數值的變化，選擇 Display 之後，在選擇要展示的物理量就可以看它的時間序列的變化，利用+號和-號來變化 ensemble 的個數。

主選單 Convert 是用來將 Binary 格式轉換成 ASCII 格式，選擇 Convert 有 Limit, Define format, Start conversion 三個次選單。其中 Limit 裡面可以選擇你要輸出的 Bin 數目(Bin selection)或更改輸出檔案的最大容量(Max file size)等等。Define Format 次選單裡面是用來選擇你輸出物理量的格式，選擇 Define Format 進去後游標就在第一個 Column，按下 Enter 就可以選擇你第一個 Column 要輸出什麼物理量，選完之後就會進入到第二個 Column。可以利用 Delete Block 來刪掉你選錯的格式，全部選完之後按下 Esc 鍵，退到次選單，然後選擇 Start conversion，然後輸入要輸出檔案的路徑與檔名，就開始輸出檔案。

附錄 A ADCP 原理簡介

本操作手冊上包含的 ADCP 基本原理大部份內容取材自 RDI 公司出版的操作原理-實用入門一書。

A.1 杜卜勒效應與流速

本節將介紹杜卜勒效應和如何應用杜卜勒效應測量相對的徑向流速，以基本的數學式說明杜卜勒位移和速度的關係。

杜卜勒位移(Doppler shift)以聲波來說，就是靜止物體與移動物體所聽到聲音的頻率差，其方程式如下：

$$F_D = F_s (V/C) \quad (1)$$

其中 F_D : 杜卜勒頻率位移

F_s : 當聲源與接收者皆靜止時的頻率

V : 音源與接收者之間的相對運動速度(m/sec)

C : 音速(m/sec)

ADCP 應用杜卜勒效應，傳送一固定頻率的聲波，然後聽水中散射物(scatter)傳回來的回音，散射物主要是水中的固體微粒和浮游生物，它們在海水中到處都存在，本身無運動能力，只是隨海水漂流移動，故其和海水流動是一致的，由於水中散射物既是接收者也是回音的發射者，故由 ADCP 音鼓所接收到的回音事實上有兩次杜卜勒效應(圖 15)(1)式修正如下

$$F_D = 2F_s (V/C) \quad (2)$$

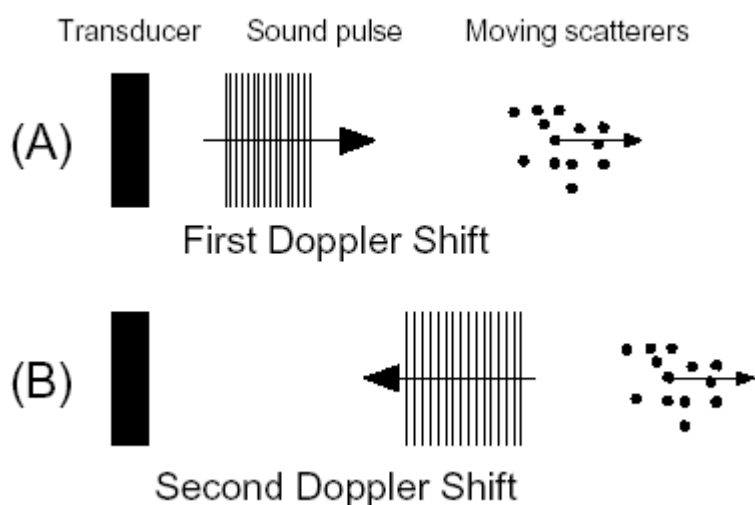


圖 15

應注意的是杜卜勒效應只能測量音源與物體之間的相對徑向運動 (relative radial motion) 若 ADCP 音鼓與水中散射物之間的運動如圖 16，則(2)式修正如下：

$$F_D = 2F_s (V/C) \cos(A) \quad (3)$$

其中 A 是相對速度向量與音束 (ADCP 與散射物之間的直線) 之間的夾角。

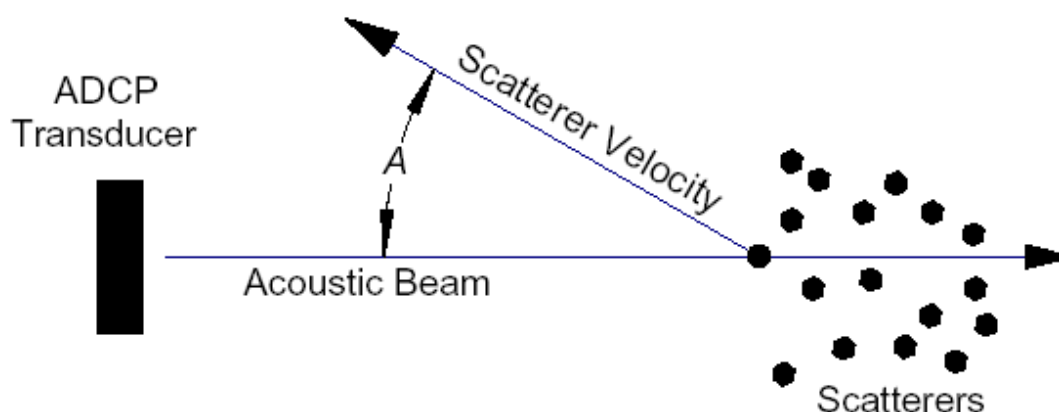


圖 16

A.2 三維流速向量

ADCP 音鼓每一音束可測量沿此音束方向的流速分量，一般使用者只需要水平的二維流速分量或至多三維的流速即滿足需要。本節解釋為何 ADCP 使用複合式的音束得到三維的流速，使用複合式音束系統必須假設在同一深度音束所包含的範圍內流速是均勻的 (homogeneous)。

ADCP 的複合式音束各自向不同的方向發射而得到不同方向的流速分量，要得到三維的流速向量至少需要三個不同方向的音束，再利用三角向量關係得到三維的流速向量。問題是 ADCP 音束各自發射至不同的方向，測得不同位置的流速分量，如果不同位置的流速不同，則三角向量的關係就無法使用，亦即同一深度在 ADCP 的四個音束所包含的範圍內水平流速一致性的假設要先滿足，幸運的是，一般海洋、河流或湖泊中水平流速均勻一致是合理的假設。

假設 ADCP 四個音鼓，其中一對是朝東西向，另一對是朝南北向，其測量流速向量的方法，如圖 17。

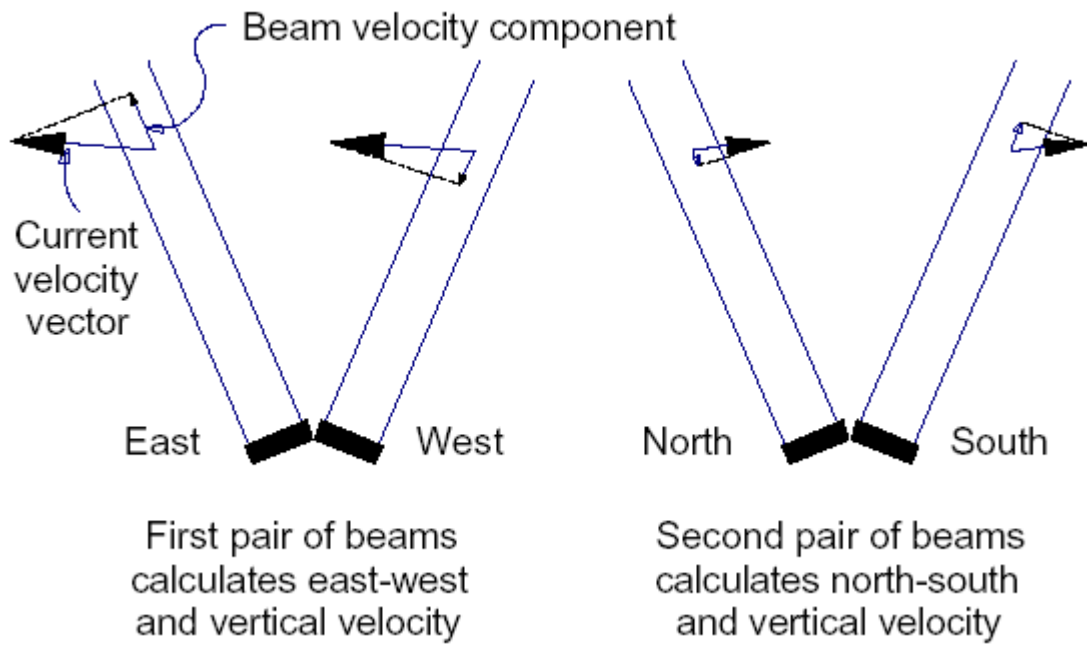


圖 17

東西向的音束與南北向的音束各自得到一組水平與垂直流速分量，其中水平分量互相垂直，而兩個垂直分量的差稱為誤差速度(error velocity)，誤差速度的功用是在判斷資料的品質，即水平流速均勻一致的假設是否合理，圖 18 用來說明誤差速度，上圖四個音束的位置水平流速均勻一致，得到的誤差速度值即變大。

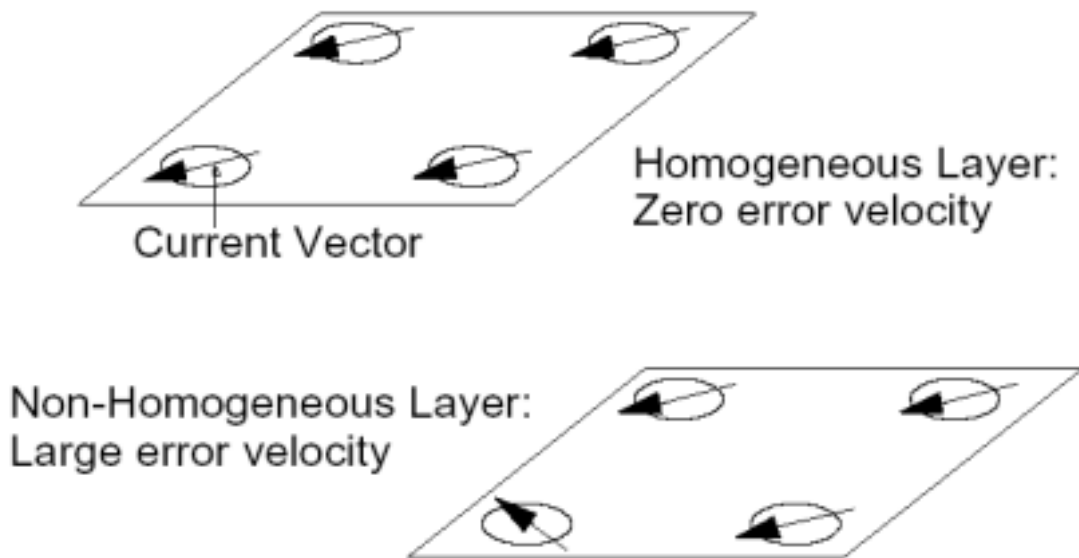


圖 18

不管是由於實際上四個位置的水平流速不一致或是 ADCP 本身機能故障，皆會使誤差速度變大，ADCP 無法區別此兩種情況。

ADCP 音鼓的配置架構稱之為 Janus 架構，即四個音鼓皆與鉛垂線成 30° 角，各自朝東西南北四個方向，這種架構的優點是測量水平流速時不會受到 ADCP 傾斜(pitch and roll)的影響。

A.3 流速剖面

ADCP 最重要的功能是測量流速的剖面分布，ADCP 將剖面分割成均勻厚度的水層稱之為 depth cell，每一個 depth cell 相當於一個海流儀，ADCP 得到的流速剖面就相當於一連串分布的海流儀，而 depth cell 的厚度就相當於海流儀之間間距，其數目就相當於海流儀的數目。ADCP 得到的流速剖面和海流儀之間有兩點不同，第一是 ADCP 之 depth cell 永遠是均勻分布的，而一連串的海流儀則可以不等距分布，第二是 ADCP 所得之流速是每一 depth cell 內的平均流速，而海流儀是測點海流儀所在位置的流速。均勻分布的 depth cell 的優點是方便資料的處理，均勻的空間分布就相當於規則的取樣頻率。

ADCP 不同於傳統海流儀的是，它是將 depth cell 所包含的體積做流速的總平均來代表此一 depth cell 的流速，這個平均降低時間序列中的 aliasing 的效應。

剖面的產生是將連續的回音信號以 range-gating 的方式完成在 ADCP 紀錄回音的時間軸上，隨時間連續的 range-gating 代表距離漸增的 depth cell 的回音，圖 19 說明了 depth cell 的距離與時間軸上 gate 的關係。

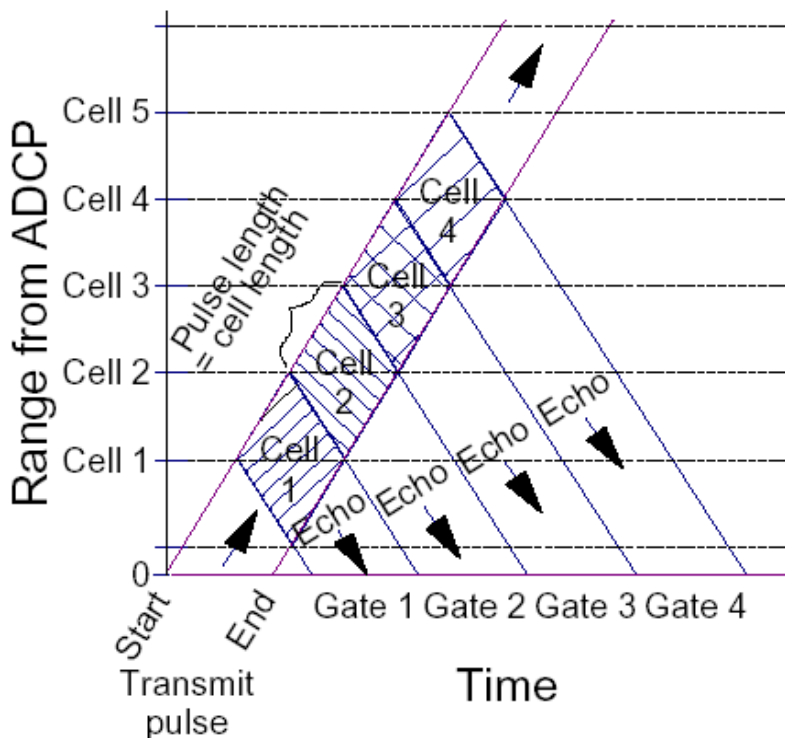


圖 19

ADCP 音鼓發射聲音脈波後，ADCP 先關閉一小段時間，然後開始聽回音信號並處理 range-gate 1 當 gate 1 完成後緊接著開始 gate 2，依此程序完成所有的 gate。圖 20 說明了 gate1 開始的時間所聽到的回音是由 cell 1 不同位置散射回來的回音，最初的脈波由 cell 1 中間位置所散射回 gate 1 結束的脈波由 cell 1 底部位置散射回 gate 1 同樣的位置，故 gate 內的回音信號做平均時必須以權重平均。

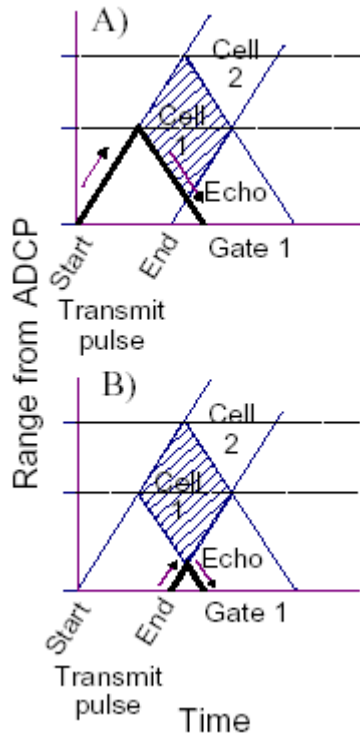


圖 20

在 cell 1 的菱形區域中，中間的位置散射回較多的能量至 gate 1 中，上下兩端則較小，權重平均的函數圖形如圖 21，相鄰的 cell 之間有重疊的部份，其間相關(correlation)大約為 15%。

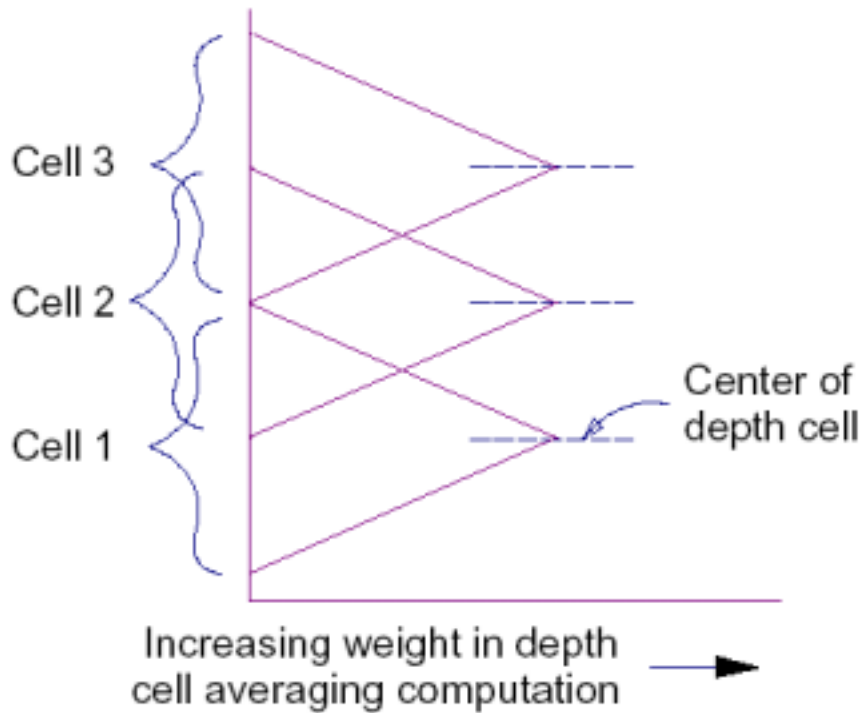


圖 21

一般在使用時將發射脈波的時間與 range gate 持續的時間設定為一致。Range gate 持續的時間長短限制了垂直剖面的解析度。

A.4 ADCP 資料和回音波譜

ADCP 產生了流速、振幅和波譜寬等資料，這些資料都是根據回音波譜，以不同的統計動差(statistical moments)而得到的。本節將著重在流速測量的不準確度(uncertainty)波譜寬和脈波長度之間的關係。

ADCP 以精確的水晶體震盪器控制發射的脈波，在發射之前此信號為單一頻率的波譜型式，而回音波譜則包含較寬的頻帶。

波譜的寬度(spectral width)直接與平均杜卜勒頻率估計值的不準度成正比關係，而杜卜勒頻率的不準度直接與流速測量的不準度有關。

頻譜變寬的主要原因是發射較短的脈波，波譜寬度與發射脈波的長度成反比關係。其他使波譜變寬的次要原因包括了亂流和音束寬度，亂流使水中散射物所散射的聲波有不同的杜卜勒頻率位移，使得回音波譜變寬。

發射音束的寬度影響回音波譜有兩種方式，都直接與流速有關。第一為發射音束若是較寬，則在音束中同一水平的兩端與流速的相對夾角不同，造成不同的杜卜勒頻率位移使回音波頻變寬。第二是過窄的音束，使水中散射物經過音束的時間較脈波發射的時間還短，造成了回音波譜變寬，散射物質逗留時間短的效應相當於發射一較短脈波的結果。

錨碇式的 ADCP 測量到的平均流速小於船用式的 ADCP 所測量到的，因此錨碇式的 ADCP 對於音束寬度所造成的誤差較不敏感。在一些狀況下船用式 ADCP 波譜

變寬是很明顯的，尤其當船在航行時。

無論如何，當信號與噪音之比下降，波譜就變寬，使得流速測量的不準度增加，特別是在剖面的最後 1/3 範圍內。ADCP 量測了流速、波譜和振幅流速，回音波譜的一階動差(平均值)，以 Hz 為單位。波譜是二階動差(平均值±一個標準差的範圍)，同樣以 Hz 為單位。振幅是零階動差(波譜下方所包含的總面積)，用來測量回音的能量，回音的振幅轉變為 dB 值。

A.5 整體平均(Ensemble averaging)

ADCP 若以單一脈波做流速的測量不準度過大，因此資料是由多個脈波做平均來降低測量的不準度。本節定義 ADCP 的不準度為在 ADCP 內部、資料擷取系統與平均後的資料不準度三種。

ADCP 的不準度由兩種誤差所造成，隨機誤差(random error)和偏差(bias)，平均可降低隨機誤差，但由於 bias 不受平均影響。圖 22 上面的圖是對於同一流速 20000 次測量的分佈結果測量結果大部份集中在正確值附近，但是每一次測量都有隨機誤差是不相關的，平均可以降低標準差如下：

$$\text{標準差} \sim N^{-1/2} \quad (4)$$

N 是做平均的脈波個數

圖 22 下面的圖是將同樣 20000 個脈波取每 100 個做平均得 200 個資料，如此可降低 1/10 的隨機誤差，但平均值與正確值之間的 bias 仍然與上圖一樣，並且此 bias 大於隨機誤差。亦即 bias 無法由平均的方法來降低，當 bias 大於平均後的隨機誤差時，平均已無法降低誤差。

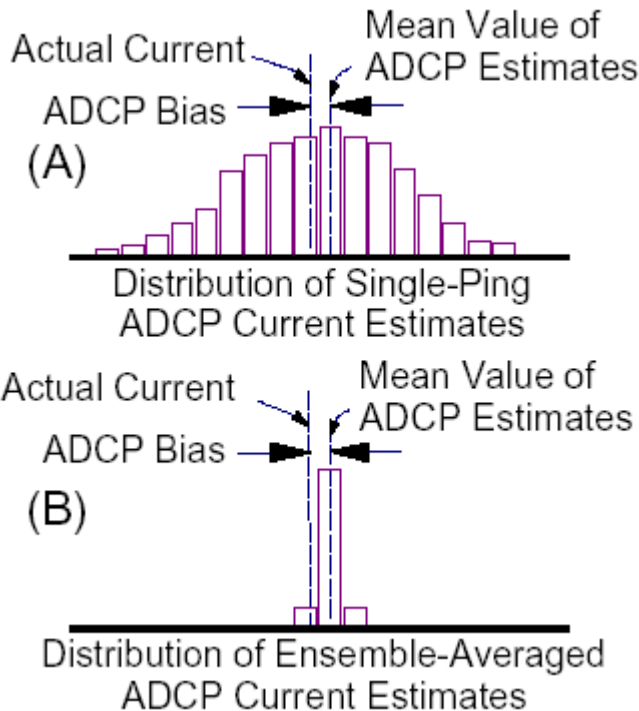


圖 22

ADCP 單一脈波所測量的流速誤差典型值為數 cm/sec 至 50 cm/sec, 而 ADCP 儀器的 bias 典型值為 0.5~1.0 cm/sec, 目前對於 bias 無法做校正。此外, ADCP 系統可在 ADCP 內部與資料擷取系統內作整體平均工作。

A.6 ADCP 的運動: pitch, roll, heading and velocity 的修正

ADCP 測量相對於 ADCP 的流速, 而 ADCP 會隨著船的運動而改變位置故其資料需要做修正。

有兩種運動需要修正轉動(pitch, roll and heading)和移動(船速)而更進一步將 pitch, roll 與 heading 分開, 因其處理方式不同。下列三個步驟將以 ADCP 為參考座標的流速轉換成以地球為參考座標的流速。

1. 將以四個音束為參考座標的流速轉換為以 ADCP 四個音鼓所朝方向的水平和垂直方向的正交系統為參考座標, 這需要 pitch and roll 的資料做修正, 圖 23 顯示修正方法。

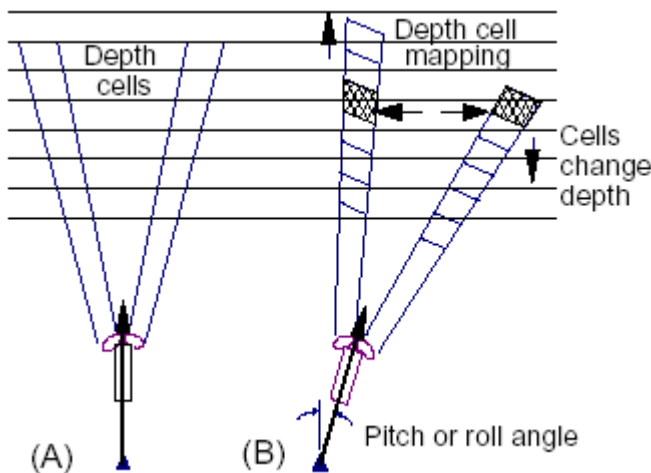


圖 23

(a) Depth cell mapping: 確信同一深度水平流速的均勻一致性。

(b) 三角向量法計算必須考慮 ADCP 的傾斜角度。

2. 將 ADCP 的座標旋轉使與地球座標一致, 此修正需要電羅經資料的流速, 並需要測量船相對於地球的速度, 這個步驟通常在資料收集紀錄後才完成。實用上的 heading 是以電羅經(gyro compass)測量, 而 pitch and roll 是以垂直 gyro 來測量, 另外平移是以 bottom tracking 方法測量, bottom tracking 的優點是與流速剖面採用同樣的參考座標(ADCP 座標)當相對流速減去 bottom tracking 的航速時, 其誤差會抵銷掉而得到較準確的流速資料。Pitch and roll 的修正在水平流速上只有 1 cm/sec 左右, 在垂直接流速上則有 5 cm/sec 左右, 所以只有在特殊要求時和極惡劣的海況下才有必要做 pitch and roll 的修正。

A.7 回音的振輻和剖面的範圍

回音的振輻是用來測量信號的強度與下列因素有關，聲音的被吸收、音束的擴散、發散的功率和散射係數以方程式表示如下：

$$EA=SL+SV+constant-20\log(R)-2eR \quad (5)$$

其中 EA : 回音振輻(dB)

SL : 發射功率的強度(dB)

SV : 海水的散射強度(dB)

e : 吸收係數(dB/m)

R : 音鼓至 depth cell 的距離(m)

$constant$ 的意義是指測量值為相對值而非絕對值, $2eR$ 是吸收項, 而 $20\log(R)$ 是音束擴散項。ADCP 所能測量的最大距離範圍是當信號強度減弱至與環境噪音相當時的地方, 超過此範圍 ADCP 就不能準確的計算杜卜勒位移。聲音的吸收在海水中比淡水中快速, 且大致與 ADCP 的操作頻率(75~1200KHz)成正比(當以 dB/meter 為單位時), 音束擴散的影響是音鼓接收到的回音能量與距離的平方成反比。

發射功率的強度與電源是 AC 或 DC 有關, 一般 AC 電源的發射功率是 DC 電源的 20 倍造成了在低頻 ADCP 系統中使用 AC 發射電源比 DC 電源的測量距離多一倍

發射脈波的長度加倍則能量加倍增加最大距離約 10 %, 水中最主要的散射物體是尺寸在 mm 數量級的浮游生物, 在最缺乏水中散射物的情況下測量最大距離將減至 1/3。海面碎波產生的氣泡可能會下沉至船的龍骨, 這些氣泡會形成類似盾的作用, 最嚴重的情況下可使最大距離減小至 40 % 的範圍。

A.8 音鼓(transducer)

ADCP 的音鼓是資料品質好壞的主要因素, 本節描述音鼓的特性, 特別是影響測量功能的特性。音鼓中運動的元件是一些陶質碟片, 可在電廠作用下膨脹或收縮產生聲波。ADCP 需要窄而方向性的音束型態(beam pattern), 有兩個重要的特性為音束寬度(beamwidth)和次音束的強度(sidelobe level), 圖 24 為一 beam pattern 的例子, beamwidth 是一 3dB 間的寬度(一 3dB 相當於 1/2 的信號強度)其中包含了大部份的能量, 而 main lobe 位於此中心, sidelobe 由其餘能量所組成, 其影響測量品質最重要的地方是比 main lobe 多 15° 的位置。RDI 公司 ADCP 的音鼓設計規格是 sidelobe 要比 main lobe 低 40 dB 值。Sidelobe 是一個音鼓尺寸大小的函數, 音鼓愈大(同樣頻率下), 音束愈窄, 且 sidelobe 被抑制住。

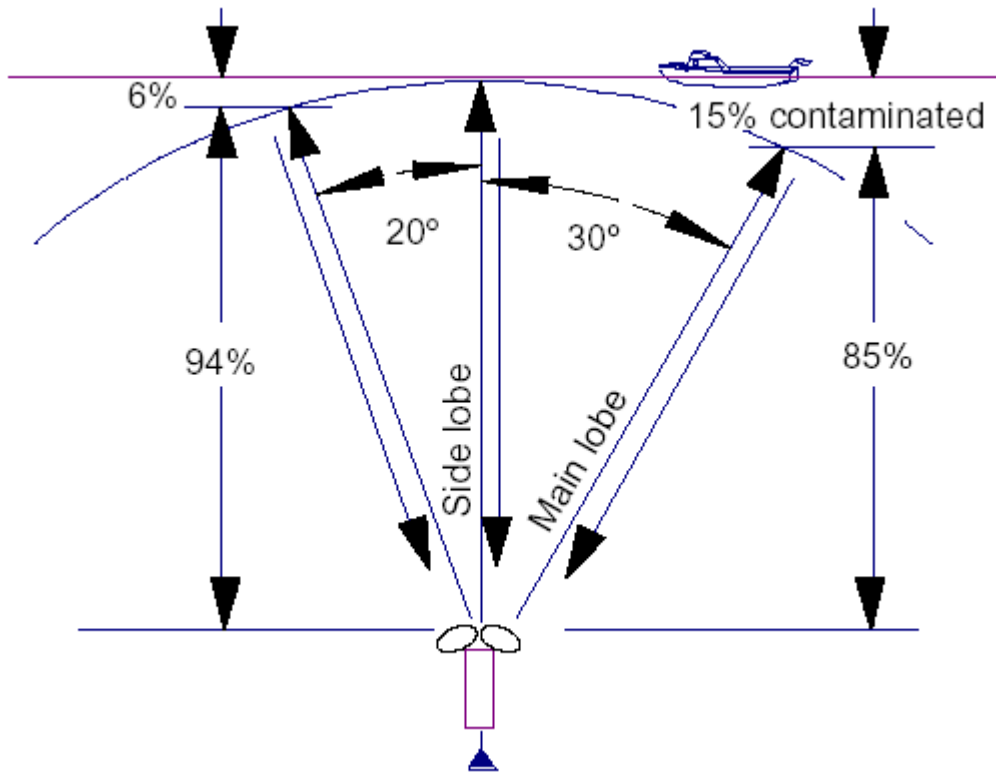


圖 24

由海面或是海底反射的回音強度比由水中散射物所散射的回音強大的多，可使音鼓的 sidelobe 的抑制作用消失，圖 25 顯示音鼓呈 30°角，其 main lobe 與 sidelobe 之關係，沿 sidelobe 由海面(或海底)反射的回音與沿 main lobe 在垂直 85 %距離所反射時回音同時由音鼓接收，此含意即從最後 15 %範圍內所反射的回音一直是沿 sidelobe 方向的回音所污染，因此其所得資料不準確。資料可被接受的最大範圍由下式控制：

$$R_{max}=D\cos(\theta)$$

其中 R_{max} : 資料可被接受最大範圍

D : ADCP 至海面(或海底)的垂直距離

θ : 音束與鉛直線的夾角

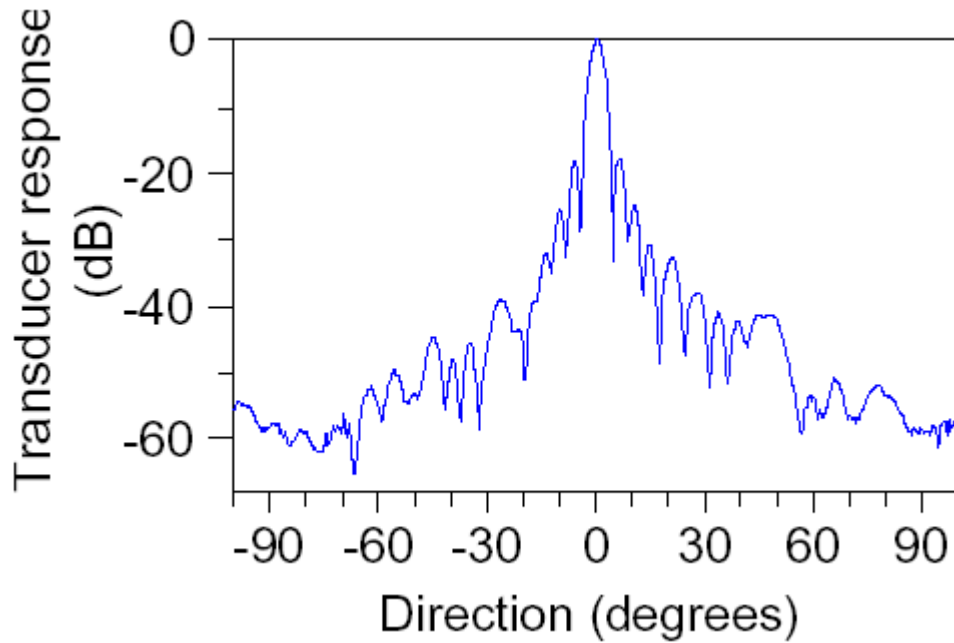


圖 25

A.9 其他影響 ADCP 資料品質的因素

音速隨深度而改變，但不影響水平流速的測量(圖 26)，因為音波的折射不影響水平分量，但垂直分量會改變，並與音速成正比關係。

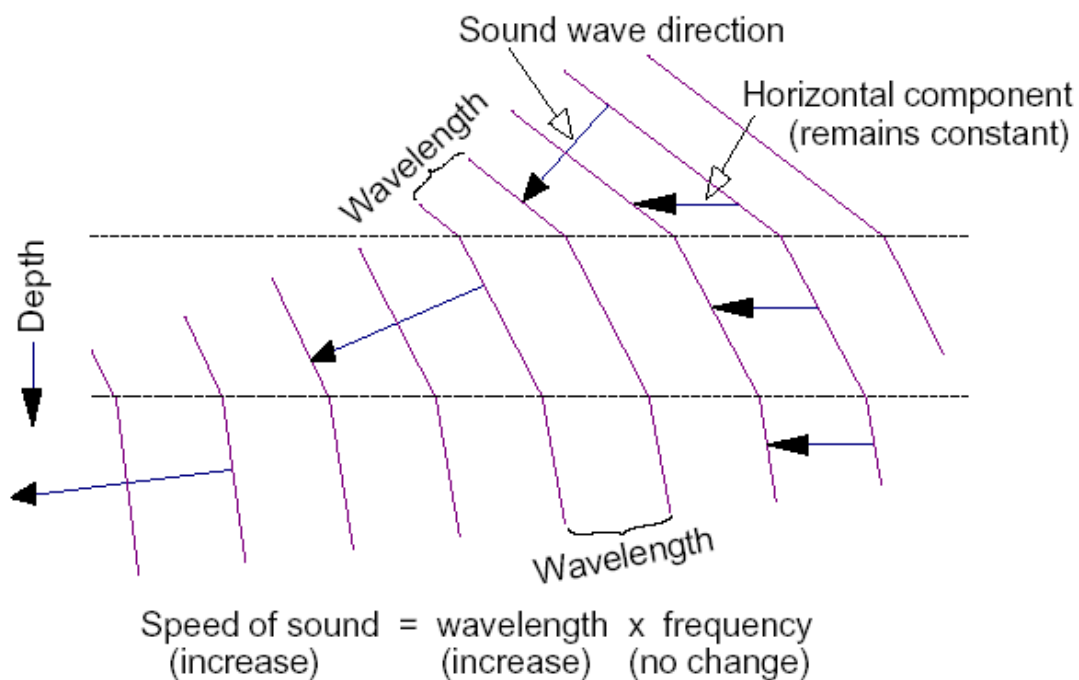


圖 26

由於 ADCP 的音鼓佈置是與鉛直線成 30°角，故溫躍層(thermoclines)造成

的音鼓無法穿過的現象不會發生(圖 27)。

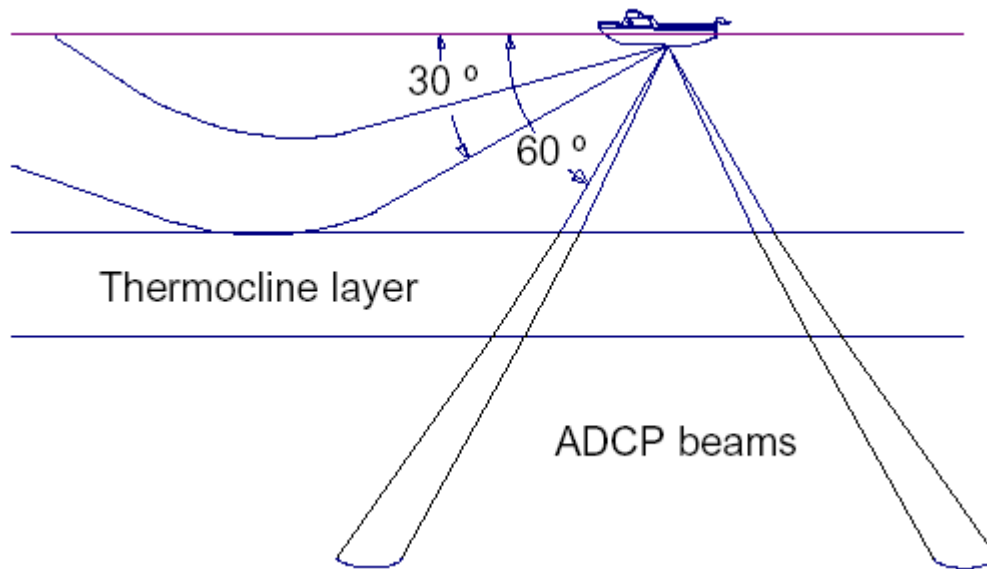


圖 27

A.10 Bottom tracking

測量流速剖面時需要短的脈波來保持垂直的解析度，而 bottom tracking 則需要長的脈波來達成，原因是脈波長度必須要能夠一次包含住音束所達的海底範圍，才能有一致的夾角，若是脈波長度不夠，則較靠近 ADCP 的地方與較遠的地方反射回音的夾角不同，而影響杜卜勒位移(圖 28)，較長的脈波可以得到較準確而穩定的流速，可達 1 cm/sec，而深度準確度可達 1 m，且 bottom tracking 所能達的深度範圍比流速剖面多 50 %。

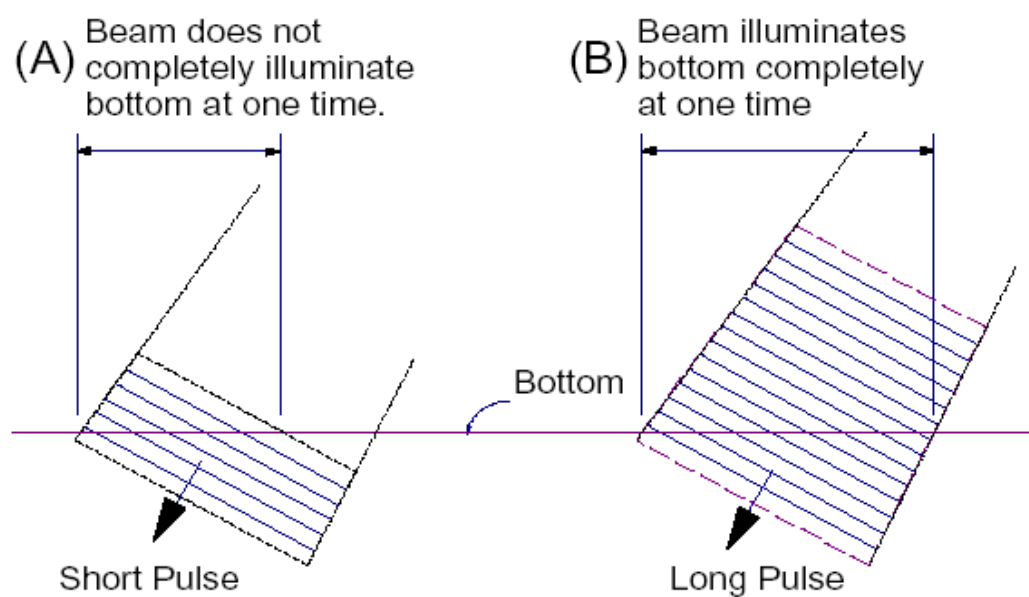


圖 28