

科學圖書大庫

回聲捕魚術

譯者 鄭儒強

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

回聲捕魚術

譯者 鄭儒強

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年四月二十日再版

回聲捕魚術

基本定價 1.30

譯者 鄭儒強 國立台灣大學電機系副教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號

承印者 遠大美術印刷有限公司 台北市武成街 35 巷16 弄 15 號
電話：三〇二九七三三

原 序 一

當商業上的捕魚受技術的支配日漸增加其重要性時，爲了尋找魚類聚集的位置，回聲探測器及聲納組合佔有很重要的位置。像其它的工具一樣，回聲探測器要被最佳利用，必須有會使用的人。爲了此一理由，製造廠商要求知道那些熟悉應用這種儀器的人的需要，與此儀器的限制，以及找出回聲蹤跡的正確解釋。

在過去，有些人認爲要達到此一目的，在某些情況下，必須由於實際使用此儀器的漁人所得的瞭解及需求，而獲得了技術上的基礎；甚至於由於失敗才能對於回聲蹤跡之意義有足夠的瞭解。

回聲捕魚術是希望在正常的狀況下，能够得到正確的訊息，而且此訊息必須爲一般漁人所能接受及瞭解，且此方法能幫助他們捕得更多的魚。同時，更需要知道超音波在水中之情況。在此回聲捕魚術中，對上列之情形，討論得很清楚，並不是使用數學或理論物理學，僅使用普通的圖形及回聲圖表來說明。

現在，品質優良的回聲探測器及聲納之裝置，不管是英國的或者是外國的廠商，由於商業捕魚上之某些特別需求而有各種不同的型式。本書的目的，並不是要從事討論各種不同型式及製造者的不同，或者它們的優點或缺點。此“回聲捕魚術”所要提供的是基於適當的常識，而從事於選擇儀器的正確決定。

本書作者，在開始發展此類設備時，就從事此類工作，因此多年來，他一直被認爲是對回聲音響及探索器技術上的專家。是傳授此類知識的最有資格者。

原作者序

當我寫這本書時，曾得到許多朋友及同事的協助，尤其是在凱爾文·休赫斯工作的同事。例如關於捕魚的方法以及選擇適當的回聲圖表、說明等，大都是在同事們協助之下完成的。

此外，我亦感謝在斯塔芬谷的歐斯塔君提供了一張顯示大量鯉魚聚集的圖表（圖版 30）；卡貝華克的安得魯君提供編號第 31 的一張有趣的圖片，還有雷克喬委克的立卡特遜提供的編號第 29 的圖表。其他圖表均為凱爾文·休赫斯所提供。

末了，我要特別感謝懷特漁業局容許我使用其一系列的圖表（圖版 33 至 38）來比較使用操縱狹窄音束及低 Q 功率轉送器及不使用此類設備時之海底固定追蹤。並參考此情形，討論這一章中的新發展以及此領域的實驗工作之進步。

引言

世界上缺少糧食的嚴重性，隨着世界人口的日漸增多而日趨嚴重。於是，在地球上浩瀚的海洋，其中所蘊藏的大量的物質，將是待開發的主要的蛋白質的新資源。而此新資源的開發，是依賴各地的漁業人員在容許的情況下成功地使用新的捕魚方法。其中最重要的發展，是在大戰後，所使用的超音波探測魚類，已成功地增加了漁獲量。但是這些新式的輔助器材，必須為那些使用此種器材的漁人們所瞭解，否則即使有了新的進步的設備，而無法使用或使用不恰當，就沒有用處了，為此理由，我推薦此書給所有的從事漁業的朋友們。

漁業部主任
非爾·羅馬

羅耶·哲克遜

Handwritten: H. 671/04 III

目 錄

原序一

原作者序

引 言

第一章 回聲捕魚.....1

第二章 聲音在水中之傳播...4

第三章 回聲探測器..... 10

3.1 定理..... 10

功率轉換器 發訊機
收訊機 記錄單位
陰極射線管 (C.R.T)
的顯示 電源供給器

3.2 實地應用..... 25

預防保養 滑潤
控制裝置

3.3 特種應用..... 28

遠洋拖網 海底拉網
甲殼類 近海捕魚

3.4 圖表說明..... 38

魚類蹤跡 魚群蹤跡
海底回聲 其他回聲

第四章 探索器..... 71

4.1 定理..... 71

音束彎曲 反射
側葉

4.2 實施..... 74

功率轉換器 水下單
位 電橋單位

4.3 操作程序..... 82

搜索 校準方法
搜索範圍 接觸程序
接近 分類 魚群
深度 捕捉方法
第二用途 地形探測

4.4 圖表說明..... 89

第五章 將來之發展..... 103

5.1 回聲測量水深... 103

5.2 探索器..... 104

插 圖 目 錄

1 正弦曲線..... 5

2a 環型功率傳送器.....6

2b 棒型功率傳送器.....7

3 極座標圖..... 8

4	魚之回聲·····	9	10	音束彎曲·····	72
5	上昇時間·····	15	11	反射與雜音·····	73
6	最初制止·····	16	12	接近魚群·····	76
7	相位移·····	20	13	功率轉送器之移動·····	77
8	魚類回聲之高度·····	33	14	最佳搜索角度·····	85
9	地形辨別·····	35	15	蹤跡之形成·····	86

圖版目錄

1a 及 1b	個別功率轉送器及 整功率轉送器之實例 ·····	11	32 及 33	海底固定·····	64
2a 及 2b	陶製功率轉送器·····	12	34	海底固定顯像·····	66
2c	拖體·····	14	35	穩定狹窄音束·····	67
3	典型旋轉臂·····	18	36 及 37	陰極射線管·····	68
4	直線帶·····	19	38	陰極射線管海底固定之 比較·····	70
5	陰極射線管顯像·····	24	39	典型探索器功率轉送 器·····	75
6	蘇格蘭船尾拖網·····	29	40	探索器搜索模型·····	83
7	船尾拖網·····	30	41	水島收縮拉網·····	88
8	舵手室及儀表·····	31	42	輸送聲納·····	90
9 至 11	小鯉·····	41	43	船隻蹤跡·····	91
12 至 15	地形辨別·····	44	44	海底回聲蹤跡·····	92
16	第二回聲·····	48	45	干擾·····	93
17 及 18	白線·····	49	46	魚類蹤跡·····	94
19	錯誤蹤跡·····	51	47	大型及小型魚類蹤跡 ·····	95
20	標題蹤跡·····	52	48	鮪魚·····	96
21 至 28	海底魚類·····	53	49	水平／角之傳送·····	97
29	鯖魚(濕型圖表)·····	61	50	靜臥的魚類·····	98
30	鯖魚·····	62	51	撒網時之蹤跡·····	99
31	鯉魚·····	63	52 及 53	探索器與回聲探測器·····	100
32 及 33	海底固定·····	64	54	探索器與標題蹤跡·····	102
34	海底固定顯像·····	66			

第一章 回聲捕魚

歷史背景 回聲探測的發展與聲納—應用於捕魚

一個最簡單明瞭的理由——海員們最常要知道的是他們所在之處的海水深度如何。在最初，使用繫有重物的繩索、或吊着鉛塊的鐵鍊去探測，以後是使用能發生聲音的機器。但近世紀來，都被回聲探測器所代替了。這種儀器之被採用，現在已被認為是當然的事實，不但在航海學及水路學上使用，而且被廣泛應用於全世界的漁撈事業上。

關於深度之探測，是利用回聲探測器發出聲音脈波通過水域而測出。當聲音脈波到達海底，就發出回聲反射由海底通過水層到達發出脈波的船上。因為聲波在水中傳遞之速率為一定數，所以只要量出聲音脈波發出到回聲抵達水面之時間間隔，即可計算出其深度。

最原始的回聲探測器，包括一把鐵槌及一個碼錶。技術員用鐵槌敲打在水下的船身，同時按下碼錶，用耳朵貼緊船板靜聽，當回聲到達時停住碼錶，即可由錶上讀出水之深度，因為碼表上刻度不是記錄時間，而是刻着海水深度之噶數（一噶等於六呎）。

聲音在水中之速率約為每秒四千八百呎，因此若聲音脈波從發出到收聽回聲的時間為一秒，則其深度為四百噶或二千四百呎，因為此時間內，聲音脈波要經過去回兩段距離。

這類簡單的方法，只能測得一個大約的深度，因此，雖然現在仍用此同一原理，但其所使用之方法，已與前面所說的方法大不相同。現在使用超音頻脈波代替音波棒，鐵槌換為功率轉換器——一種能將電能轉換為各種不同頻率聲波的機器，碼錶則變成記錄器。此記錄器不但能自動記錄深度，而且可用符號顯示在記錄紙上。

公元一九三三年，史吉波·羅納爾·貝爾在漂網漁船“紫羅蘭與玫瑰”號上，注意到回聲發音器之記錄紙上，有時記錄到一些明顯清晰的回聲訊號，但是並不是海底，這些訊號是由水中的青魚所發出的回聲。兩年之後，奧

斯卡·宋德博士在挪威的研究船“約亨·若得”號的指揮艙中，在洛夫騰島的V形峽灣附近，第一次毫無錯誤地在記錄紙上記錄出魚羣的痕跡。在這時期，正是鱈魚羣在水中產卵的季節。現在不但魚羣可被記錄下來，而且個別的魚兒亦可在記錄紙上找到。在史吉波·貝爾第一次看到他們以前是沒有發現任何東西，是由於其超音頻脈波的靈敏度不夠高，不能接收到個別魚兒所產生的微弱的回聲訊號。

最近二十五年來，回聲探測器被廣泛地應用於尋找水中及海底的魚羣，所以這些儀器都以這個目的而經過特別設計。由實驗結果，這些儀器在水中探測時，先送回海底特性的回聲訊號。以及一些關於某些特別形式的海中魚羣的重要特徵。這種回聲探測器的樣子，是由漁人們自己提出意見，然後由工程師整理設計及試用。

回聲探測器給予漁人們的第六感覺，告訴他們船下面有魚羣存在，在多少深度，魚羣的大小。假如能測出船的附近有魚羣存在而不是正在船的航線上，這樣的探測設備則更有價值。事實上，若將超音頻脈波由垂直改為水平方向，且能得到與垂直方向相同的效果，則研究的區域即被擴大了。

在使用回聲探測器捕魚以前，這種技術早已在軍事上應用，只不過其效果比不上海員的使用效果。

第一次大戰之後，有一個稱為“海洋探測同盟委員會”(ASDIC)的組織設立，提供瞭解與發展潛入水底之方法。這個困難，可使用超音頻的輸送方向波，水平穿透水域而由其海洋回聲而解決。這種技術的成功，在第二次大戰中，與ASDIC組織一樣的著名。在第二次世界末期，對於魚羣及海洋中的哺乳動物如鯨魚等，要使用此方法探測，幾為不可能。在戰時，當他們在搜索德國的潛水艇時，機務員常發現這樣的目標，但常被魚羣所擾亂，造成了很大的困惑。

在二次大戰以後幾年，要將這種探測設備改為商業用的探測以前，這種技術一直被保留秘密，很少為人瞭解。但是要將這技術改為捕魚之用，則必須重視過去的使用經驗及技術發展。

由於戰時驅逐艦的潛水艇探測器最先發現鯨魚，因此捕鯨公司首先招募在戰時曾經有過搜索潛水艇經驗的技術員。但要用此技術來捕魚是不簡單的，因為必須一方面去跟踪鯨魚的“噴水”一方面要通知炮手準備隨時射擊獵物，而且漁船在獵物幾百碼內，以全速作不規則追逐，這與攻擊潛艇的長時間計劃程序是顯然不同的。雖然如此，我們可以測得驚人的結果，不過，不幸得很，由於此一進步，使南極地區的主要種類的鯨魚，幾乎趨於絕跡了。

由於使用潛艇探測器作為探測魚羣的工具，以及最近十年來，冰島與挪威的青魚漁船隊，在水中使用探測結果優良，故這種設備被廣泛地使用。

很多其他國家現代化的捕魚船隊現在也開始跟着此趨勢，裝用探測器了。無論如何，其最特別的困難已不是沒有回聲探測器的設備，而是操作此類設備的技術。現在已因被廣泛使用的結果而獲得了成功。這些將在另一章中詳細的說。探測器的名稱，現在在海員的術語中，已被“聲納”所代替了。在本書中仍保留這原始的字眼是因為有一部份漁民仍使用此一術語。由於探測器的使用成功，這新的聞名全世界的製造工業成長起來，而“回聲捕魚”法變為大家所熟悉的觀念，全世界的漁撈業都非常清楚。用各種不同的方法來捕魚，或將各式的魚類引導到一相對廣大的儀器搜索範圍而成功地發見它們。但是要想依賴此最新的工具以獲得最大的利益，漁人們必須先去瞭解很多東西，包括探測器原理等。也要知道那些儀器最適合他們的需要，也要知道如何去使用這種儀器以及如何去維護這些儀器。在本書中，全部的主題是用最簡單的語言及使用插圖，回聲圖表及魚之蹤跡圖等例子來討論，它所敘述的都是很簡單易於瞭解，讀者也不必要求具備太多的物理與數學的知識。

第二章 聲音在水中之傳播

聲音的特性 超音波 方向音束 聲音在水中之特性

魚類與海底之回聲

漁人們常在談論關於在回聲探測器的圖表上“搜索魚羣”，這句話是甚麼意思呢？原來是探測器利用音波（不是光波）探測海底的物體而得到的，漁人所說的是在觀察回聲記錄圖表上情形。由於已往的經驗，在觀察遠處的物體時，很顯然的光線是一種比聲音更有效的媒介物。

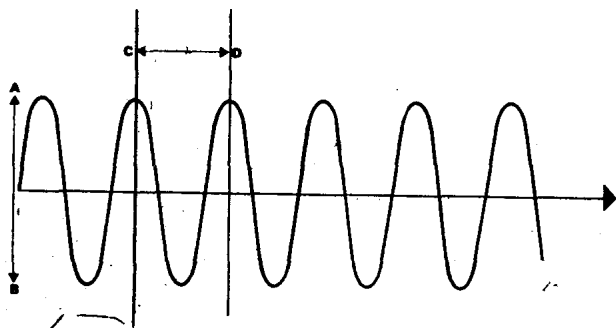
不過，各種不同的聲音可以幫助我們想像到那些發出聲音的物體。例如用聲音來表示火車時，我們都有此簡單的經驗，這些聲音可以告訴我們，火車是到站，或者在行駛中途，或者是剛剛出站。

一個盲人用他的手杖輕輕地敲打地面，就能由其回聲來判斷出他是否走近了牆邊。毫無疑問的，大家都知道回聲是有各種不同的變化的。在意大利的西西里島上有一個巖穴，如果在穴頂敲了一下，就會將聲音擴散得很大。羅馬人就利用它來囚禁犯人，若犯人有所舉動，就會很快的通知了上面的守衛。另外，在聖保羅，有一“低語高響走廊”（遠處可聽見低聲說話的圓頂廊）是奇異的回聲效果的另一例子。像這類的例子真是舉不勝舉。

聲音進入水底，很容易遇到奇怪的物體，而在其回聲圖表上的指示有時候會引起誤會。

聲音在水中或其他介質中傳播時，是形成了由內向外運動的連續壓力波，其速率是依介質的密度及彈性而定。要瞭解這一過程。我們可想像到，若離合器產生一推力加於卡車的排檔，這一動作穿過每一耦合的屈折部份，傳抵卡車的主軸上，其通過的速率是依每一卡車的重量及耦合時間之長短而定。更適當的例子，從科學的觀點，聲波看起來就像移動的波浪或者成正弦波（如第一圖）。

聲波由其曲線之中心線起至最高或最低的寬度稱為波幅，每一週之寬度則稱為波長，因為聲波在任何指定的介質中，其速率為一定數，故在任何週



第一圖 正弦曲線代表聲音脈波

A B 代表波幅（尖峰至尖峰）

C D 代表波長（ λ ）

運動的方向向右

聲音在水中之速為每秒四千八百呎（S）

$$\text{頻率}(f) = \frac{S}{\lambda}$$

期內，經過某一固定點的週數稱為頻率，而頻率與波長成反比例。

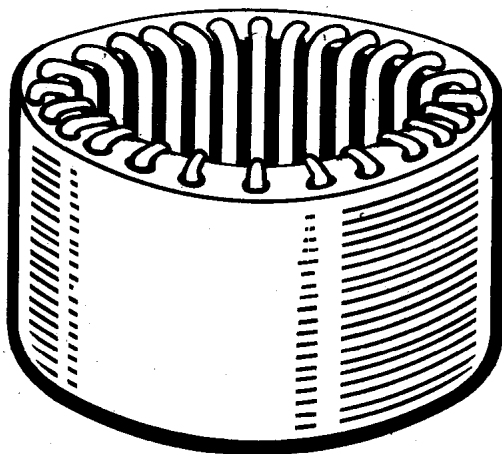
在僅有單一頻率聲音的純粹特徵，在試驗中可以用一連續脈波來完成。例如被用為回聲音波的短脈波。這種聲音可在某一頻率範圍內傳遞，其頻率區變得更寬而使其波長減少至時隔在十毫秒以下，則其音樂特徵已變為噪音，而其回聲頻率（或波距）不再相異了。

在記錄海床下的地層或者海底的最大深度時，其使用之頻率大概在五千赫至十千赫間。應用探測魚類，或其他應用時，其超音波頻率範圍必須在十五千赫以上才可。頻率越高，則其傳送越快，而且在水中分散，減少了設備的傳送功率。

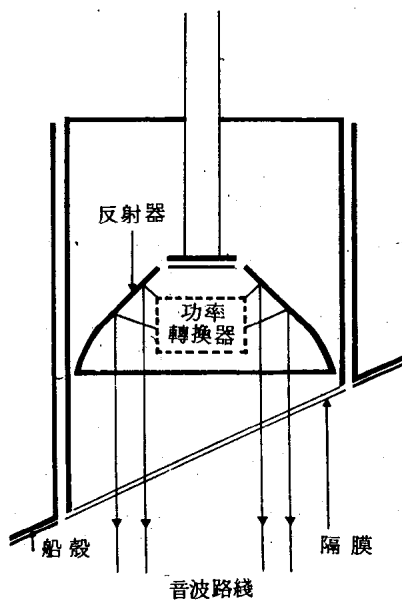
聲音脈波的能量必須盡可能集中在一方向，才能在範圍內的“行動”不致減退得太快，而且避免從別的回聲接收到錯誤的訊號。

用一拋物線形反射器或設置一個功率轉換器的擺動平面，將音束集中在一狹小的角度裡，此擺動平面比起傳送波要大得多。這兩種方法分別在第二圖A及B中說明。第一種方法是使用一環型功率轉換器及一拋物線面反射器，這兩種儀器固定在裝滿油或其他液體的桶或空位中，這樣裝置的缺點是當音波播送出來及回聲傳送回來時，均需經過一層用鋼製成的薄膜，則將會使訊號減弱。第二種方法中，功率轉換器之一面直接與海面接觸。

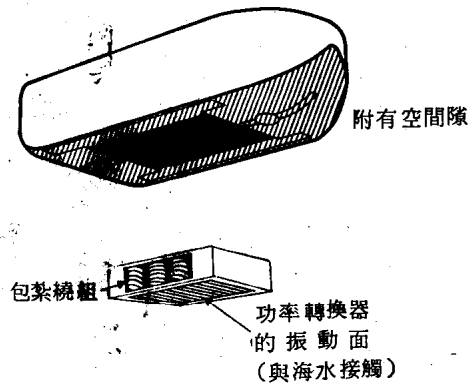
當頻率減低時，其波長則變得較長，就能成功地使音束集中在某一角度



(上圖) 放大的圖形



(下圖) 環型功率轉換器及拋物線面反射器



第二圖 B 棒型功率轉換器

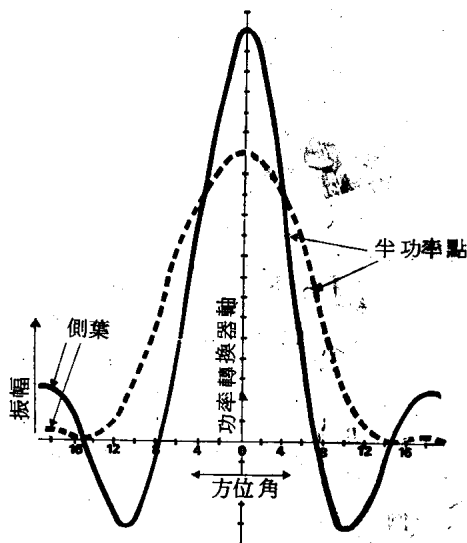
內。頻率較低時，需要一個比高頻率更大的功率轉換器。同樣地，拋物線面反射器的尺寸亦必須增大。爲了許多目的，一個能够在某一方向量度兩個波長，而在另一方向量度三個波長的功率轉換器，將會產生足够的方向音束。若功率轉換器增爲四倍，則音束將可被集中在平均爲百分之廿五的範圍內。

“音束角”這一術語是被用以表示傳送脈波於一方向的範圍（在回聲探測器的音束角若爲十度，即在其音束中心線左右各五度時，則其放射能減少爲原來最大量的一半。除了在衰弱水平上外，一部份的能量被放射到極限以外。在主葉之兩側，即所謂側葉的地方，其最高的能量，在正常的狀況下可達最高值的五分之一。這就是說可以接到從目標附近所發出的回聲，假如此目標在傳送音束邊線以外時，這可由第三圖來說明，此圖稱爲“極圖”，在這圖中，垂直軸表示量得之能量，水平軸表示音束角中之兩側。

在某些應用中，減低側葉能量是很重要的。這可由“削尖”技術來完成。“削尖”使功率轉換器的振幅中心線極大，而兩側減弱。這必須在有寬大主葉時，才需處理。第三圖之虛線表示這種效應。

有時候則需要與上述情形相反的效果，即相對地增加其側葉，這種方法是在使用“接地差別”功率轉換器的情況，且同時要除去其中間部份時才應用。這種儀器將在第三章中，討論其使用觀點時再說。

任何極小的物體，存置於音束的途徑中均會引起一些反射。這些反射訊號或回聲之大小，不但依物體的大小，形狀對音束之方位而不同，且依其本



第三圖 八個波長功率轉換器的極圖

側葉的最大振幅被“削尖”(虛線部份)所減弱,但音束角增加則尖峰功率輸入將被減少。

身物質而定。假如此物體是一種使聲音在其中通過之速率與聲音在水中通過之速率相同的物質,則其大部份音束能量將順利通過物體而反射更少。相反地,如果兩者的速率相差很大,如空氣等,則其反射必定發生,甚至能量全部不能通過。

在魚類的情形中,魚的泳鰭雖然約為魚體的廿分之一,但其反射量佔魚的全部反射量之一半,這是因為魚鰭中含有很多空氣。因此與魚身比起來,魚鰭是一個很好的反射器,魚身在比較上是較弱的部份。

這也就是為甚麼那些沒有泳鰭的魚類,如鯖魚,角鯊魚等所產生的回聲比那有泳鰭的魚類弱得多。

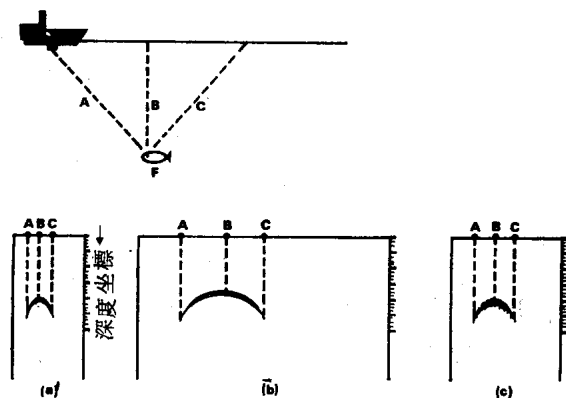
當這些傳送脈波,由魚類或海底反射回來時,其聲音能量被廣大的分散,這些回聲不是能集中在一方向。而只有很少部份可以回到船上。

發生在海底的分散能量,是由於海底的性質來決定。如果海底非常崎嶇不平,則其回聲分散特別厲害,因此在主音束於某一角度擊中海底時,其主

音束之側葉，却能反射，反射較多的能量到船上，則其海底地質必定崎嶇不平或為岩石地。相反地，若地質為細砂或爛泥時，則其反射能量較少。這種性質，在使用於“地形辨別”時甚為重要。

由小目標如單獨的魚兒上之回聲，張開為寬大的弧形。其道理是因為魚身的回聲在船通過其上方之前及之後均收集到。當魚類距船的距離最小時，在最初瞬間與最末的顯示的傾斜排列較其垂直深度為大。所以每一個單獨魚兒的回聲蹤跡在記錄圖表上都成新月的形狀（第四圖）。回聲的蹤跡在中心處較強而在兩端處較弱，這種情形若說是脉波的極圖，不若說是目標的性質影響較為確當。

這種像新月形的回聲蹤跡是非常清楚的，當船緩慢航行或漂流時（圖版廿五）就是如此。但在常速時，圖表之水平方向較垂直方向為小，故單獨魚兒的回聲蹤跡看起來比較像彗星而不像新月。



第四圖 魚之回聲

魚兒最初是船在A點測得至船在C點時消失。AF, CF之距離均較BF之距離為大。所以其回聲蹤跡呈新月形。(A)圖船速為二十海里，(B)圖船在漂浮狀態，(C)圖表示不良氣候時之效果。其蹤跡之缺口是由於船之垂直運動。