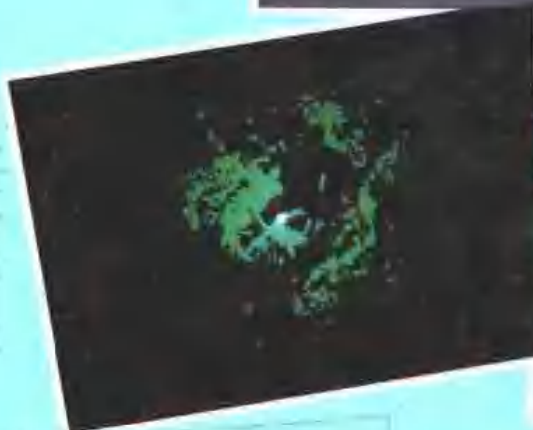


現代船舶電子科技叢書
部編大學用書

實用船舶雷達(上)

主編者 國立編譯館
編著者 熊雲嵐



徐氏基金會出版

現代船舶電子科技叢書
部編大學用書

實用船舶雷達(上)

主編者 國立編譯館
編著者 熊雲嵐

徐氏基金會出版

財團
法人 徐氏基金會

科學圖書大庫

實用船舶雷達(上)

基本定價 6.20

主編者 國立編譯館
編著者 熊雲嵐 國立海洋大學航海系教授
著作權 國立編譯館
所有人

出版者 財團法人徐氏基金會
發行人 鍾廖權
地址 台北縣新店市中正路284巷3號
電話 917-9077~8
電傳 911-7618
郵政劃撥帳戶第00157952號

承印廠 大原彩色印製有限公司
地址 台北市武成街35巷9號

行政院新聞局登記證局版臺業字第3033號
中華民國八十年九月十三日初版一刷

本書如有裝訂錯誤或缺頁敬請「刷掛」寄回調換
ISBN 957-18-0269-7 (套) 版權所有·不許翻印
ISBN 957-18-0270-0 (上)

感謝長榮海運公司提供
最新船舶雷達裝備照相圖作為封面

自序

雷達 (Radar) 裝備，乃二次世界大戰時期應同盟國強烈軍事應用目標要求發展下，輝煌成就之一，當時雖視爲機密武器，但由於其運用成效極爲顯著良好，戰後遂開放推廣至民間使用，『船舶雷達 (Marine radars) 』，即爲其有效推廣運用之一，目前不論軍民用之艦船、商船、漁船、甚至遊艇，無不均有雷達裝備之導航應用，使雷達成爲航海人之千里眼日，爲船舶航行所依賴。國際 (政府間) 商船諮詢組織 (IMCO)，亦爲船舶航行安全需要，早訂有加強雷達操作使用訓練之要求，使船舶雷達不僅帶給航海工作者便利，更積極有效增進船舶航行安全，而『船舶雷達』僅爲雷達和平用途應用之一項，若從雷達之全面應用發展觀之，今日之雷達，事實上早已成爲國防應用科技之重要一環。

二次世界大戰勝利後，工業復甦，電子工業更是突飛猛進，加之電子計算機之普遍應用，船舶雷達亦自然隨電子航海 (Electronic navigation) 科技，亦有極佳之發展成效，在戰後三十多年間，船舶脈波雷達 (Pulse radars)，由相對運動雷達而真運動雷達 (The true motion radar)，再又發展至自動測繪 (裝置) 雷達 (Automatic Radar Plotting Aids，縮簡稱之爲 ARPA)，且各生產製造船舶雷達之廠家，不斷競相創新發展，確實已邁入更能增進船舶航行安全之新境界。

船舶航海官員研習雷達，應從雷達之基本原理起開始瞭解，循序漸進，進而對雷達操作使用、簡單保養維護、以及如何選擇雷達 (性能特性與

安全裝置之選擇)等全盤知識之研習,針對此要求,本書所研討範圍,即以船舶脈波雷達及海上船舶雷達之操作使用為主,主要內容為:

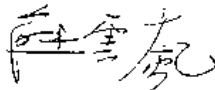
- 1.脈波雷達基本原理。
- 2.船舶雷達裝備與操作。
- 3.電波傳播及天氣對雷達之影響。
- 4.雷達目標之回波響應與判讀。
- 5.雷達航海。
- 6.雷達模擬機。
- 7.雷達與海上避碰規則,及雷達測繪。
- 8.雷達簡單保養維護。
- 9.自動測繪(裝置)雷達。

以及

10.現代船舶雷達及雷達未來發展等十部份,共分十一章,書末附錄除有簡略提綱式複習外,並增列各類型自我評量研習題,以供讀者作進一步探討研習之用。

我國迄無國造船舶雷達之設計與生產製造,本書中所介紹,均為各海運先進強國所造雷達,願由雷達教學之強力有效推動,使船舶雷達能普遍操作運用,期能激起我自製雷達之研究發展,使我海運科技之發展,亦能開創嶄新之一頁。

筆者乃一忠實航海工作者,為推動船舶電子航海暨雷達教學研究而編著本書,有關電子航海部份,請參閱拙著『電子航海(Electronic navigation)』一書,本書之出版,承蒙國外各船舶雷達製造公司提供最新寶貴資料,及國立編譯館與徐氏基金會熱誠鼎力支持出版,謹致以萬分謝忱,又筆者才疏學淺,錯誤之處,在所難免,尚祈海內外賢達先進,不吝賜教匡正。



謹識於國立台灣海洋大學海洋運輸系

實用船舶雷達(上) 目 錄

自序

第一章 雷達原理與一般特性	1
一、回波測距原理	1
二、雷達發展簡史	4
三、雷達之分類	8
四、船舶航海用雷達	11
五、雷達之主要功能與操作方式	14
六、雷達之波束形狀	16
七、雷達顯示器圖	18
八、一般常用之脈波雷達	19
九、雷達裝備之性能特性	29
十、特殊雷達裝備及本書所研習範圍	37
習題一	39
第二章 雷達裝備	42
一、無線電波、頻率與波長	47
二、由雷達發射機、接收機、顯示器及天線等方塊所組合而成之 雷達方塊圖	49
三、雷達發射機	52
四、天線系統	66

五、收發開關或役工器裝置	72
六、雷達接收機	79
七、雷達顯示器	88
八、雷達裝備完整方塊圖	98
習題二	101
第三章 船舶雷達控制開關鈕與操作	107
一、船舶雷達控制開關鈕之分類及所用圖形符號	107
二、船舶雷達操作原理	130
習題三	192
第四章 電波傳播與目標回波之響應	197
一、電波傳播	197
二、輻射與涵蓋範圍圖之一般原理	203
三、目標響應與回波之特性	217
習題四	237
第五章 氣象與雷達	240
一、標準電波傳播情況	240
二、非標準情況之電波傳播	241
三、大氣衰減與天氣回波	245
四、大氣中溫度或濕度之不規則經過變率或大氣不連續	251
習題五	260
第六章 雷達與海上航路規則	262
一、雷達瞭望	263

二、目測目標與雷達探測之比較	263
三、適當使用雷達	264
四、雷達與安全速率	264
五、雷達與碰撞危機	267
六、避碰行動	268
七、怠忽職務之不當操作	268
八、船舶裝有雷達應有之責任	269
習題六	271
第七章 雷達航海	273
一、雷達螢光屏幕顯示器之判讀	273
二、雷達航海之輔助裝置	285
三、雷達定位方法	288
四、近岸航行與狹窄水道之導航	293
五、影響雷達最大探測距離之因素	298
六、影響雷達極小距離之因素	300
七、影響雷達量測距離準確度之因素	301
八、影響雷達距離鑑別力之因素	304
九、影響方位準確度之因素	308
十、影響方位鑑別力之因素	309
習題七	314
第八章 雷達測繪——船舶雷達之避碰操作應用	317
一、雷達與避碰	318
二、雷達測繪圖紙	327
三、雷達測繪技巧	329

四、雷達測繪類題	395
五、雷達測繪裝置	449
習題八	513
第九章 雷達模擬機	519
一、雷達模擬機系統	519
二、各類型雷達模擬機系統簡介	530
習題九	579

第一章 雷達原理與一般特性

(Radar principles and general characteristics)

一、回波測距原理(The echo principle)

(一)雷達概說

雷達 (Radar) 乃無線電探測與測距 (Radio detection and ranging) 之縮寫字，為二次世界大戰初 (1940 年)，由英美盟軍合作所發展，係用作探測及定出目標位置之一種電子機械裝置，最初僅用於軍中，二次世界大戰結束後，由於雷達之功效顯著，使民航飛機與船舶亦大量推廣使用，由此“Radar”一字，已成為世界公認之新創術語。

作為探測與決定目標位置方法之一套雷達裝備，其基本操作原理，乃係藉發射電磁波及接收由目標反射之回波 (Echo)，經顯示判讀而決定目標位置之方法，如圖 (1-1) 所示雷達操作原理之簡單示意圖，即可瞭解雷達係藉發射機、天線、接收機、顯示器等部份組合而成之系統而操作，對目標距離之量測，乃係量所發射雷達波訊號與返回回波訊號所經歷之時間延遲 (Time delay)，由於電磁波之傳播速率與光速同，通常以每秒 3×10^8 米表之，於是時間與速度之乘積，可以決定目標之距離。至於對目標方向之決定，則可使用高度方向性之天線 (Directional antenna) 操作而獲得。對於目標之徑向速度 (The radial velocity) 之測定，

2 實用船舶雷達(上)

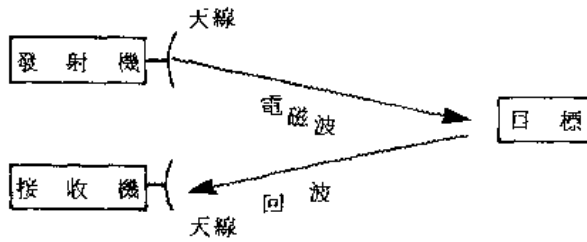


圖 1-1 雷達操作原理簡單示意圖

則可由比較所發射訊號與接受回波訊號頻率間之杜卜勒 (Doppler) 頻移效應而獲得，由此可知雷達乃高度科學化之一種應用電子技術科學，一般而言，一套雷達裝置對目標所獲得之訊息資料 (資訊)，係藉運用所發射訊號與接收回波訊號間相互關聯關係而操作，表 (1-1) 所列之五項關聯資訊，即為由某些基本技術操作所獲得之資訊。

表 (1-1) 雷達所發射訊號與接收訊號間相互關聯關係獲得之資訊

相關資訊 (correlated information)	轉換函數 (Transfer function)	誘導獲得之資訊 (Derived information)
1. 時間延遲 (Time delay)	電磁波傳播速度 ($C \approx 3 \times 10^8 \text{ M / sec}$)	距離 (Range)
2. 功率 (Power)	雷達目標之截面 (Radar Cross section)	雷達裝置“大小” (Size)
3. 搜捕高度 (Amplitude vs scan)	天線輻射場型圖 (Antenna pattern)	角座標 (Angular coordinates)
4. 頻率 (Frequency)	距離改變 (Range Variation)	徑向速度 (杜卜勒) (Radial Velocity) (Doppler)
5. 極化 (Polarization)	回散射矩陣 (Backscatter matrix)	目標分類 (Target Classification)

(二) 回波測距原理(The principle of echoranging)

回波測距原理 (The principle of echoranging)，並非新觀念，實際上乃極為自然之應用，像船舶靠近陸岸在霧中航行，對懸崖峭壁作聲波之測距即是，當汽雷或汽笛作間斷發聲開始起，待回波由懸崖返回止，由馬錶之計時乘以聲波在空氣中之傳播速率，即可估算出船與崖壁之間距離。例如某船舶由汽笛開始發聲至接收得懸崖之回波時間為 6 秒，聲波在靜止空氣中之傳播速率約為 1100 呎/秒，則該船離岸為 3300 呎。

此相同之原理，亦用於回聲測深儀 (The echo sounder)，由回聲測深儀轉換器所發射之聲波脈波 (通常係使用超音波頻率)，自發射轉換器向水面下發射脈波開始，至接收得海底之回波止之時間可測知，加之已知聲波在水中之傳播速率，因之即可測知當地之水深。

聲納裝置在水下之操作，與水面之雷達操作正可類比，由超音波束在水下搜索目標，當接收得回波時，若其波束之方向準確已知，則不僅目標之距離可獲得，連同目標之方向亦可獲知。

船舶於海上航行，為導航實際應用需要，雷達裝置必需能作長距離探測，且需準確度高，大船目標需在十至十五海浬距離外能探測知，陸岸則需兩倍於此之三十浬距離外能發現，為達成此等要求，聲波之有效傳播距離顯然是短而無用，加之受風之影響，亦甚難準確決定聲源方向。

因之在任何視界情況與天氣狀況下，能滿足船舶海上航行探測海面遠近目標，經科學家們之努力研究發現，當以電磁波代以聲波最為適宜，若以 C 表雷達波之傳播速率，T 為雷達開始發射脈波與接收得目標回波間之時間，則所探得之目標距離為；

$$R = \frac{CT}{2} \dots\dots\dots (1-1)$$

雷達波能量 (電磁波) 之傳波速率，在實際應用計算，約為 3×10^8 米/秒。

二、雷達發展簡史

(一)雷達發展之開始與演變

雷達究竟從何處開始？研究此一問題，必須從鼠類哺乳動物蝙蝠開始，蝙蝠日間睡眠，通常在日落後日出前活動，其在黑夜間所以能活動，即由於其有天賦之雷達功能，此即現代科學家們所稱之“回波定位系統（Echolocation system）”，亦即有雷達最初概念及真正最早之開始。人類當初雖不知，直待有歷史記載後方知，但今日所用之雷達系統，其操作原理，即基於蝙蝠（Bat）導向飛行功能之觀念。

蝙蝠乃捕食其他小動物之類或吸取動物血之小動物，有一種稱之為VAMPIRE之蝙蝠，生長於南美，專吸動物肉中之血而生存，但極大多數此類小動物並不靠吸血（Blood sucker），而係捕食昆蟲（Insects），在黑夜中飛行極快，即由於其有自然雷達（The natural radar）裝置，既使對極小昆蟲，亦能辨明其方向而捕食。

當蝙蝠離開其棲息位置，靠其長耳向前伸張（Pitched），形成一具有高度方向性接收端，以接收所發射聲波之回波，頻率約在40 KHZ，較人耳所能聽之頻率高甚多。在蝙蝠開始飛行，即發出時間極短之尖叫聲，此種刺耳聲經過空氣傳播，幾乎是碰到任何物體，均有回波產生。此回波在蝙蝠飛離前，即能由蝙蝠接收得，亦正相當是瞬間發射與接收操作之功能，此兩種發射與接收回波之自然現象，實即距離與方位之量測與探測，蝙蝠能決定附近物體存在所需時間（由發射聲波至反射聲波到達其耳中所需時間），連同由蝙蝠耳接收之方向性，於是可以正確決定對方（障礙物）之方向性位置，不僅是對障礙物位置，蝙蝠亦能判定障礙物為固定物體抑或是另一飛行運動物體（另一蝙蝠或其他昆蟲），甚至固定牆壁等之類，

此種能測另一運動體功能，亦正是目前連續波調頻雷達之操作原理。由蝙蝠所發射之調頻超音波（Frequency modulated supersonic voice），有如等頻（不變）之脈波，科學家們亦曾耗費多年時間研究，直至調頻雷達實現方知此理。

參閱圖（1-2）所示，由格瑞芬先生（Mr. Donald R. griffin）所主持之“人造之蝙蝠障礙方向實驗（A man-made obstacle course for bats）”圖，當逐漸將圖中金屬線之直徑減小時，蝙蝠仍然能飛行無礙，但當小於 $\frac{1}{4}$ 蝙蝠聲波長時，則蝙蝠不能藉其雷達導向飛行。有種小棕色蝙蝠，其所能發射之最短聲波波長以 3mm 計，可探測得金屬線之直徑僅為 2/10 mm。

蝙蝠對障礙物避碰能力，迄今仍為科學家們所探索之謎，在充滿混充

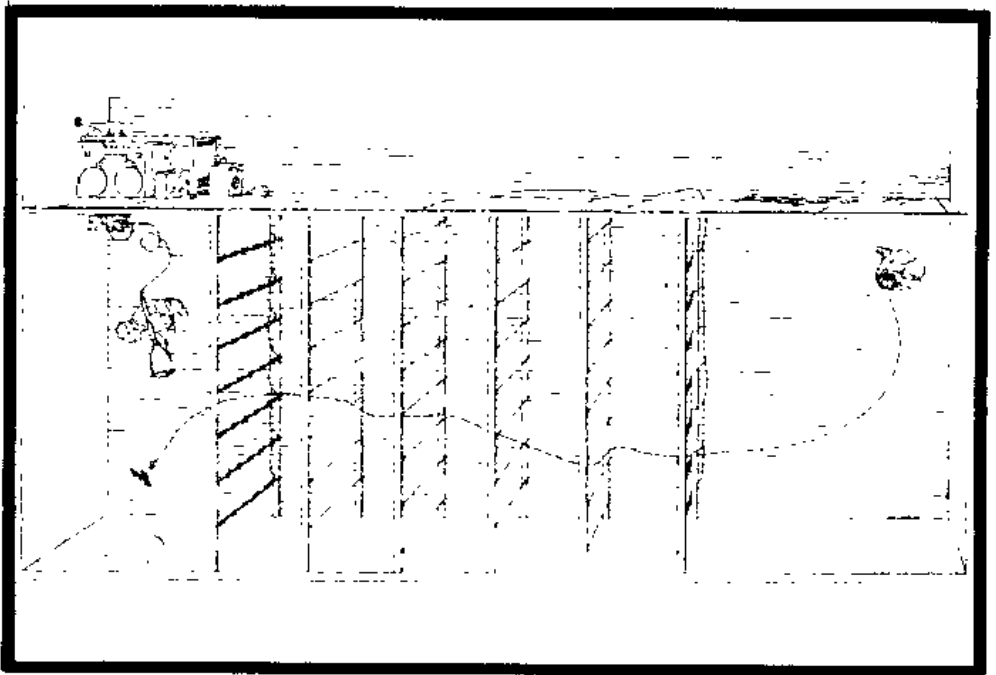


圖 1-2 人造之蝙蝠障礙方向實驗安排簡圖
格瑞芬先生（Mr. Donald R. Griffin）主持

6 實用船舶雷達（上）

雜訊之空中，蝙蝠能辨其本身所發射之聲波作導向，科學家們仍欲知其原因所在？為何人類所造之飛彈却仍不能免除受到其他之干擾（Jamming），而不能像蝙蝠一樣，有效運用其聲納導向？

由此可知儘管現代雷達有新技術之改進，但人造雷達仍總免不了受到若干限制，因之研習雷達，應瞭解雷達之性能特性與限制，如此方不致受到雷達之限制所困擾。

（二）雷達發展簡史

※ 1886 年赫芝（Hertz）實驗證實「金屬導體與非導體均對無線電波具有反射能力」。

※ 1903 年德工程師霍爾斯美亞（Hulsmeyer）測知船舶對無線電波之反射。

※ 1922 年馬可尼（Marconi）對美電機工程學會發表演說『促使用短波長之無線電波探測物體』。

※ 1922 年美海軍研究發展實驗室泰勒（Taylor）與楊（Young）兩先生合作使用 5 米波長之連續波雷達（C.W. Radar）探測木殼船體。

※ 1930 年美海軍研究發展實驗室黑蘭（Hyland）先生使用連續波雷達探測飛機。

※ 1934 年至 1936 年英瓦特生——懷特爵士與美海軍研究發展實驗室培基（Page）實驗展示脈波雷達（Pulse Radar）。

※ 1930 年代後期，由美海軍研究發展室與通訊部隊對雷達上研究更受到重視，英國軍中亦成立不同之實驗室從事研究。

※ 1940 年英國向美國展示磁控管（Magnetron），並建議美國發展對空使用之微波攔截機與對空砲火指揮雷達（Microwave aircraft intercept and anti-aircraft fire control Radar）。

※ 1940 年 11 月美國麻省理工學院成立輻射實驗室，研究員主要為英

國推薦之物理學家，最初研究員 40 人，至 1945 年擴展至 4000 人，該實驗室主要任務為研究與發展，將研究過程與成果，寫成文獻報告，二次世界大戰後，共出版輻射實驗叢刊 28 冊，供工程師與科學家們從事研究參考之用，此一巨大之科學知識泉源，不僅提供了從事研究之方向指引，更使人類邁向新之雷達技術及相關聯科技之發展。自二次世界大戰起，由於雷達應用推廣，在較低與較高頻率兩方面均從事研究發展。製造雷達技術與所生產之組件，亦隨之均有效地改善，二次世界大戰後，工業復甦，電子工業突飛猛進，雷達方面有成就之發展甚多，茲簡列如下：

- ※高功率調速管 (High-power klystrons) 。
- ※低雜訊行波管 (Low-noise TWT'S) 。
- ※參數放大器與邁射 (Parametric Amplifiers and Maser's) 。
- ※單脈波 (Monopulse) 。
- ※越水平 (Over-The-Horizon ，簡稱為 OTH) 雷達 。
- ※短脈波 (Short pulse) 。
- ※合成孔徑 (Synthetic Aperture) 。
- ※相位天線列 (Phased arrays antenna) 。
- ※電子計算機 (Computer) 。
- ※訊號處理方法 (Signal processing) 。
- ◎脈波壓縮 (Pulse compression) 。
- ◎運動目標指示 (MTI) 與脈波杜卜勒 (Pulse Doppler) 。
- ◎頻率迅變 (Frequency agility) 。
- ◎數位技術 (Digital techniques) 。
- ※真運動雷達 (True motion radar) 。
- ※自動測繪 (裝置) 雷達 (Automatic radar plotting aids) 。
- ※電視屏幕顯示器雷達 (Raster Scan Radar)

圖 (1-3) 所示之簡單示意圖，正說明雷達之發展演進過程，由 1920 年代起，科學家們對大氣電離層之無線電波反射能力開始研究，圖 (1-3