



雷达是怎样工作的

苏联 Я. 3. 彼尔勒雅 著

朱 邦 俊 译

人民邮电出版社

苏联
业余无线电
丛书

Я. З. ПЕРЛЯ
КАК РАБОТАЕТ РАДИОЛОКАТОР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
МОСКВА 1955

內 容 提 要

本書通俗淺近地闡明了雷達的原理。對雷達的工作原理、電磁波的特性和傳播規律、以及定向發射方法等都給出了明確的概念。此外，還講到搜索目標物的距離和精確度；介紹了雷達工作中必不可少的各種電子儀器的構造，以及雷達的各種用途。

本書適於中學學生、雷達部隊里的機務人員，以及無線電愛好者閱讀。

雷 達 是 怎 樣 工 作 的

著 者：蘇 聯 Я. З. 彼 爾 勒 雅
譯 者：朱 邦 俊
出 版 者：人 民 郵 電 出 版 社
北京東四區6條胡同13號
印 刷 者：人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 廠
南京太平路戶部街15號
發 行 者：新 華 書 店

書 號：無117 1956年9月南京第一版第一次印刷1—7,800冊
787×1092 1/27.75頁 印張 $5\frac{3}{7}$ 插頁1 字數 106,000 字 定價 0.65 元

★北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號★

統一書號：15045

序

第二次世界大战中的一个漆黑的夜晚，某联合艦隊奉命开入敌人盤据着的錯綜复雜的島嶼区，去轟击沿岸的防禦工事。領航員手下有一張詳細的海区地圖。艦隊以極高的速度——25 浬/时——沿着完全陌生的、狹窄的，而且又“充滿”了暗礁的海峽，向前挺進。在这海峽里，还有敌人的海軍。但是，艦艇还是安然无恙地通过了海上这条曲折复雜的道路，偷偷地打敌人身边經過，找到了轟击目标，砲击了防禦工事，并以同一速度返回基地。

怎么能在伸手不見五指的夜晚完成所有这些呢？或許是地圖帮了忙吧？不，帮不了。甚至是相反的：艦艇归来后，領航員报告說，地圖上画的暗礁有一个画得不对，这块暗礁的真正位置应当是在离开地圖所画位置六浬以外的地方。除此之外，地圖上也沒有指出当时敌人的艦隊在哪兒。就是說，帮助領航員的并不是地圖，而是其它另外的东西。这一“另外”的东西甚至帮助矯正了地圖，它在黑暗中目光是如此的“銳敏”，在狹窄的海峽中能毫無錯誤地“分辨”海岸、暗礁和敌人的巡邏艦艇，“找到”轟击的目标，并能把大砲準確地瞄准着它，其后满怀信心地引導艦艇返回自己的基地。

在第二次世界大战的年代里，有許多雜誌曾經描寫过好几十件类似的事件。大家都逐漸知道了，在軍事装备上採用了某种新式工具。無論是漆黑的夜晚，或是海上的迷霧，無論是战斗的煙霧，或是排砲的火花——無論什么东西現在都不能使装备着新式仪器——雷达的艦艇和飛機变成瞎子。

請想像一下安置着雷達的房間是怎樣的吧。在圓圓的發光的螢光屏上，有着周圍地形的特殊“地圖”。瞧，在几十公里以內，“目標物”的圖像都顯示出來了。一當敵人的飛機或機羣飛入了雷達的作用地區，觀察者就可以報出這些飛機的架數、飛行方向和飛行速度。在每一瞬間都能準確地知道飛機有多遠，多高和在那個方向上。同時高射砲已經在默默地等待着；驅逐機騰空而起。雖然是多雲的黑夜，敵人也無法偷襲。

雷達站不但成了防禦的工具，而且也成了進攻的工具。飛行員、海員、砲手都用起雷達來了。靠了雷達，夜航驅逐機很快就找到了敵人，追上它，并向它開火；射擊的準確度並不比白天差。

在無邊無際的汪洋大海上的海戰，現在完全不同了。主力大砲朝着看不見的目標開砲，而在艦艇的甲板下的某處，調度員們正在雷達的螢光屏上監視着敵人的行動，觀察着自己砲彈的飛行和着彈。“看得見”達不到目標的砲彈爆炸所濺起的水花。根據這些材料可以校準大砲的瞄準。又是一次排砲——於是敵艦的影像逐漸地從螢光屏上消失了。

甚至大家都熟悉的探照燈也裝上了雷達。先是靠它來搜索目標，然後再用探照燈把目標照亮。

但是，雷達不僅能用作戰爭武器，用在航海和航空中的導航上也是頗有成效的。1912年4月14日巨型客輪“季塔金”號悲慘的罹難，是大家都知道的。這艘船在大霧中撞在冰山上，死亡1489人。在當時，黑夜、迷霧、惡劣的天氣都是海上和空中失事的經常原因。現在人們已經忘掉了這些。雷達可以預報即將相碰的輪船和冰山；預報淺水的暗礁；在佈滿船隻的港灣中指出航路。雷達能使空中即將相碰的飛機免于碰撞；及時地報導雷雨的來臨；最後它還能幫助飛

机在漆黑的晚上降落在飛机場上。

雷达在科学研究中具有巨大的意义。例如，1946年曾經用雷达量測出到达月球的距离。这就是說，地球上所發出的无綫电信号到达了月球，同时又从月球上反射回來了。

雷达是怎样工作的呢？这个问题將在本書下面的各章里回答。現在暫且讓我們來总结一下前面講过的东西。

雷达能够測量出到达目标物的距离，并能指出目标物所在的方向。雷达送出的无綫电波，能够从所有導电的物体表面反射回來。土地、水、桥樑、屋頂、船艦和飛机都是導电的物体。根据回來的无綫电波，可以測定到所發現的物体的距离，确定它們所处的方向。同时要記得，雷达并不能看清楚这些物体；它只能發現它們，并以或多或少的準確度來判断它們。譬如說，雷达發現了敌人的艦艇后，就会指出它們的位置，但是它只能大概地“說明”这些艦艇是什么等級。由此可見，雷达是一种技术設備和技术方法的总合，这种設備使我們能用无綫电波來确定某一物体在許多物体中的位置。

目 錄

序

第一章 雷达的原理

- 用回声來“測量”距離..... (1)
- 什么是波..... (4)
- 最快的送信者..... (8)
- 無線電射束..... (9)

第二章 無線電波

- 電荷的周圍..... (12)
- 指南針說明些什麼?..... (14)
- 電磁能..... (15)
- 無線電波的“尺寸”..... (17)
- 無線電波的散射與吸收..... (19)
- 無線電波的折射和反射..... (22)
- 無線電波能夠繞過障礙..... (26)
- 無線電波的透置..... (27)
- 無線電波的歷史..... (29)

第三章 定向輻射

- 空間的“地址”(座標)..... (32)
- 無線電射束是怎樣形成的..... (34)
- 波長愈短,無線電射束就愈集中..... (40)
- 方向圖..... (42)
- 怎樣測定方位角..... (46)

怎樣測定仰角..... (50)

第四章 最远距离的秘密

爲达到“远視銳敏性”而鬥爭..... (54)

脈冲應該是怎樣的..... (57)

兩種功率..... (61)

談談某些矛盾..... (63)

第五章 电振盪

无线电波到底是在哪兒產生的..... (67)

鐘擺和鐘錘..... (69)

电 鐘擺”..... (71)

再談天綫..... (76)

电子管..... (77)

电子的介紹..... (78)

什么時候电子擠緊在一起..... (80)

电子管閥門..... (81)

放大管..... (84)

从三極管到五極管..... (86)

振盪管..... (87)

第六章 超高频

超短波波段的介紹..... (89)

調速管..... (92)

磁控管..... (96)

行波管..... (99)

第七章 測量微秒的鐘表

最輕的指針..... (101)

雷达螢光屏后面的祕密..... (103)

73.463
224T
8

“鋸齒”形波..... (107)

搜索中的精確度..... (112)

雷達圖..... (115)

距離刻度盤..... (118)

第八章 雷達站

從發射機和接收機到天綫..... (119)

天綫轉換開關..... (122)

雷達方框圖..... (123)

第九章 雷達的應用

當敵人還在遠處的時候..... (126)

在砲隊裏..... (129)

飛機上的雷達..... (133)

看不見的道路的敷設者..... (136)

調度站..... (138)

雷達在測地學中的應用..... (139)

為科學服務..... (140)

雷達小傳（代結束語）..... (142)

第一章 雷达的原理

用回声來“測量”距離

請你設想自己站在河面寬闊的一條河的岸上，對面多岩的河岸陡峻地高出水面，你想知道這條河有多寬。倘使你有表的話，那麼這個問題可以算是解決了。只要你大叫一聲，過了幾秒鐘後，所聽到的回聲就給你“送”來了解答。



圖 1. 依靠回聲的幫助，可以測定距離。

讓我們來看看，你這個响亮的呼喊聲走過了什麼樣的道路。口中發出的聲波開始是向四面八方傳播開去。其中有一部分沿着河的方向傳開去，在對方“消失”了。有一部分向對面的河岸傳去，碰到陡峭的河岸這個障礙之後，就從那里反射回來。過了若干時間，這

部分声波回到了它原来出发的地点，这样，你将听到了回声。现在只需要知道，声波在河面上传播的速度就行了。倘使你记录了声波“出发”和“到达”的时间，那么计算是很简单的。在正常的条件下，声音在空气中传播的速度约为330公尺/秒，也就是声音在一秒内约走 $\frac{1}{3}$ 公里。举例来说，倘使你所记录的时间是4秒，那么很明显的，声波走了1 $\frac{1}{3}$ 公里。因为声波来回共走了二趟，所以河宽应该是上述途程的一半，即等于 $\frac{2}{3}$ 公里。应该指出回声的另一重要特点。你的喊声虽然很响，但回声却很弱，几乎是刚能听见。这是可以理解的。你的声音的能量是包含在向四面八方扩散开去的全部声波中，这些声波中只有一部分是向河对岸传去的，而由对岸反射回来的声波也只有一部分能传到你的耳朵里。这就是为什么回声是这么弱，不得不注意听，才能听到它的原因。

利用声波的反射来测定距离的例子，是不胜枚举的。1804年俄國院士H·Д·扎哈罗夫坐在气球的吊篮中，利用这个方法，确定了

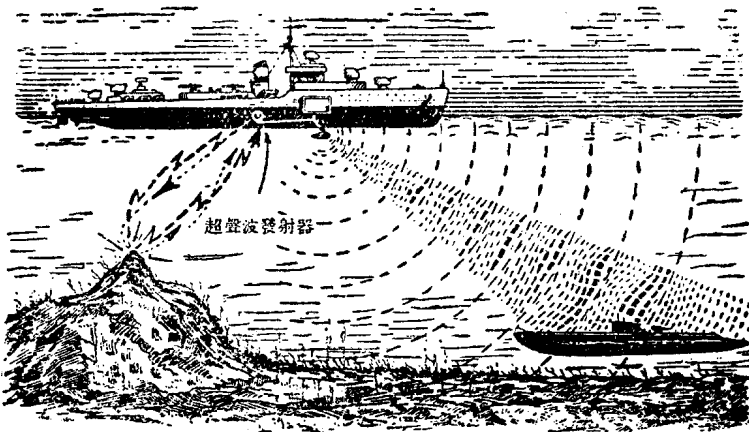


圖 2. 超声波能测量海水深度，能搜索潜水艇。

气球的高度。这个方法也用在现代测量海水深度的声音定位器中（回声测探器）。这个仪器的工作情形如下。

超声波的音调（即频率——译者注）非常之高，人们的耳朵也不能听到它。如果我们把“一股”短促而强力的超声波从舰艇的底部向下面发射出去，它在水中的速度大约为在空气中速度的五倍；那末它会从海底反射回来，回到舰艇上。我们用一种特殊设备把它收下来，根据超音波从出发回到舰艇所需的一段时间，就能不断地检查海洋的深度。这种仪器也可以用来搜索潜水艇和其它类似的东西。雷达应用的也是这个原理——反射原理；只是在雷达里所采用的不是声波，而是无线电波了。

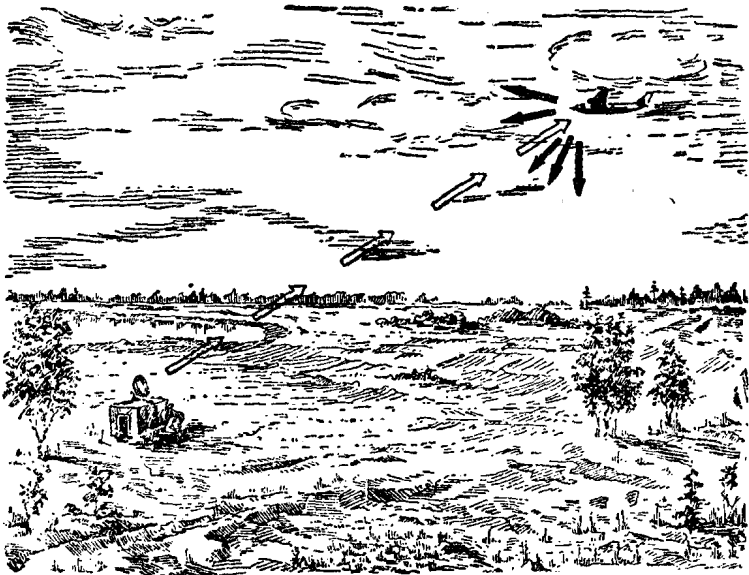


圖 3. 雷达脉冲撞在飛機上，反射信号中有一部送回來，並被接收机“听到”。

雷达发射机发射出脉冲(短促而强烈的冲动)方式的无线电波。

• 4 •

每次發射時間总共只延續百萬分之一秒，在兩次脈沖的間隔中，接收機像是在傾听着。發射機發射的脈沖式無線電波，在它的途徑上遇到物體（不同程度的導電體）時，就被反射回來。水面、大地、鐵路、城市建築、飛機和艦艇——所有這些對無線電波的反射都不相同。反射回來的脈沖（回聲信號），其中有一部分回到了雷達站所在地。這些回聲信號中，最先到達的是從最近的物體上反射回來的，其次則是從較遠的物體上反射回來的。所有這些信號都被接收機“收听到”，并用特殊儀器把它們顯現在雷達機的螢光屏上。

用來測定飛機高度的儀器——無線電測高計是雷達的一種變

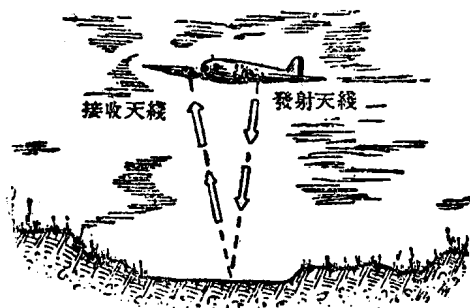


圖 4. 從地面上反射回來的無線脈沖給飛行員指出了飛行的實際高度

形。無線電測高計的工作情況類似回聲測探器，它和回聲測探器的區別僅在於不用超聲波，而用無線電波。

讀者已經很清楚，反射現象是雷達測定距離的基礎。假如沒有這個現象，那麼也就不會有雷達。雷達的第一個原理是導電的物體能夠反射無線電波。

什麼是波

在闡明無線電波的第一個原理之前，我們曾經談過聲音和無線電信號的反射。這兩個性質完全不同的現象之間有些什麼共同的东西呢？究竟什麼使得我們能用聲波、水波、光波做例子，來研究無線電波的某些特性呢？這個問題自然有它的答案。答案就是：由於

“波”的傳播特徵使我們能靠了許多簡單而常見的實際例子，來表明波運動的一般規律。

波到底是什麼呢？

請你觀察一下音叉。你將發覺到音叉在急速地振動着。音叉的振動迫使和它相接觸的空氣層也隨着振動起來。漸漸地這一振動傳入了一層接着一層的空氣層中。所謂聲波——交替地變化着空氣的壓縮和鬆弛——就形成了。振動以一定的速度（約等於330公尺/秒）傳進一層層新的空氣層。這就是為什麼我們說，聲波以330公尺/秒的速度傳播開去。顯然，在我們所研究的這個情形中，聲波是向空氣中傳開去的。讓我們來做一下下面的一個試驗：用玻璃罩把音叉罩起來，並把玻璃罩里的空氣抽去。聲音就聽不見了，這是因為“傳遞”聲波的這個媒介沒有了。

我們再看看另外一個例子。請你把石子擲進水平如鏡的湖水中。一圈一圈的水波，離開投入石子的地方越來越遠了。沒有科學知識的人可能說：一圈一圈的水波真的在從投入石子的地方，逐漸向外傳開去，同時把組成水波的水滴隨着帶開去。可是請你仔細地看一看。偶而在湖面上漂浮着的东西，將會幫助你了解實在情形並不是這樣的。你會發覺，這個浮着的东西一上一下仍舊停留在老地方。就是說，水滴只是振動着，一會兒升上來形成波“峯”，一會兒沉下去成為波“谷”。將石子擲進水里，只是產生了這個波動的最初發源地——“騷動”。形成的波以一定的速度朝各個方向傳開去。兩相鄰的“峯”或“谷”間的距离，稱為所形成的波的波長。完全很明顯的，“波長”這個概念是適用於任何波動的。

上述的實驗使我們發現波的另一個可貴的特性。譬如說，把兩顆石子擲入水中，將形成兩個環狀水波的波源。這兩波相遇時，無

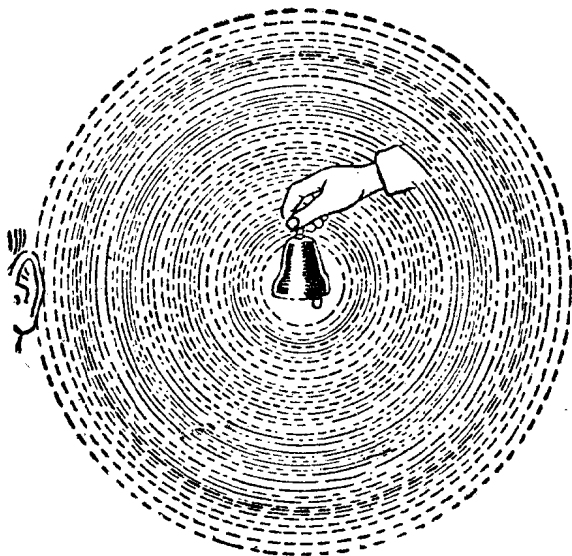


圖 5. 在發音體的周圍傳播着声波——空氣的壓縮和放鬆。

論相互怎樣交叉，這時波却依然保持不變。正是這個任何波都具有的特性，才使千百個無線電台有可能完全可靠地同時進行廣播，也就是能保證每個電台的信號在傳向無線電收聽者的“途中”，不致和其他的信號混淆和搞亂。

凡是和水波（每個人從小就很熟悉它）相類似的，在時間上和空間上重復的一切現象，都稱為波。譬如說聲波的特徵為：每隔一個和它的波長相等的距離，就重復一次空氣的壓縮（或鬆弛）——這是空間上的重復。而在每一特定点上可以看到：一會兒是壓縮，一會兒是鬆弛，一會兒又是壓縮——這是時間上的重復。

無線電波也是在時間上和空間上的重復，不過它是電場和磁場在時間上和空間上的重復。無線電波只是電磁波這類波中的相當小的一部分。將發射電磁波的波源罩在上述放音叉的同一個玻璃罩里，

波能毫無阻礙地從里面“跑出來”。

近幾十年來無線電技術的發展，使得“無線電波”的概念成為通俗可理解的東西。真的，讀者每天可以從無線電廣播或從“廣播節目”報的第一版上知道，某一個節目將用那一個波長播送。大家都知道，要收到這一節目的無線電波，就必須調整收音機，從周圍的空間中把我們所需要的無線電波“選出來”。

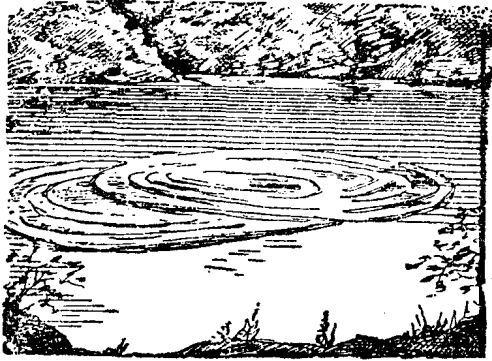


圖 6. 二組不同的波在傳播時，並不相互混淆。

遠非每個人都知道，太陽也是一種電磁能的發射機。光線——這也是電磁波。它們的區別僅在於：光波在時間上一個波挨着一個波的間隔，比無線電波的間隔要短得多。當然，由於波長有顯著差別，將使得它們之間存在某些區別，但是這兩種現象的本質是一樣的。

必須注意波動現象的另一個重要的特性。

設由於某種原因，例如地震，海洋上突然產生了巨大的浪潮。這些巨大的浪潮從幾十公里外向海岸沖來，常能招致巨大的破壞。這些能量到底是從哪兒來的呢？是由於掀起來的浪潮把地震的能量從浪潮的產生處（地震處）傳過來了。參與上下振動的水，同時把能量順着浪潮運動的方向傳了出來。

電磁波的傳播——這也是一種能量（電磁能）的傳遞。無線電發射機的天線把能量向空間發射出去。幾乎全部能量都消失在圍繞

着地球的一望无际的空間中。然而其中有一部分被接收机捕獲了。这部分电波給无綫电收听者送來了最近的新聞、音乐和歌曲。

光波中含有很多很多的能量，这是每一个人都知道的。太阳光是地球上生命的源泉。在太阳光的照耀下，水庫里的水会發热而蒸發，冰块会融化而形成山洪或瀑布。最后，我們能用特殊的能量設備來直接利用太阳光。这样一來，就变得很清楚了，无论那一种波总含有某种能量。

为了今后能很好地設想无綫电波是如何应用在雷达上的，讀者就必须通曉波动現象的所有一般知識。本書的第二章中，將更詳細地探討无綫电波的特性。

最快的送信者

利用声波的反射現象，可以測定距离。雷达的原理就是以这个反射原理为基础的，僅不过用的是无綫电波的反射原理。要測定距离，我們就必须事先正确地知道波的傳播速度。

雷达的第二个原理就在于事先能正确地知道无綫电波的傳播速度。

回声在空气中的速度約为330公尺/秒。这个速度随着空气的压力、溫度、湿度的改变而稍有改变。

电磁波的速度（无綫电波也好，光也好）比声音的速度要大好多倍。它的速度为300,000公里/秒。想知道这速度究竟有多大，你計算一下就会相信，无綫电波在一秒鐘內差不多能“繞”地球八次。人們时常援引極有趣的例子，來比較声波和无綫电波的傳播速度。

請你把自己想像成坐在音乐大廳里的听众。在你听到歌手的聲音之前，声波已經傳到一个相当远的距离以外去了。誠然，聲音傳

过这段距离所化費的时间是很短的，人的耳朵是觉察不出來的，然而我們所听到的声音还是有延迟的。倘使不知道这种情况，那么下列的事实將會使你驚訝不止。离莫斯科一千公里远的听众，倒比我們先听到同一歌手的聲音。其实，放在舞台上的麥克風所吸收的声音，早已以电流的形式沿着導綫在“旅行”了，或者以无綫电波的形式在空間中旅行了，那时声音还正在大廳中傳播着呢。

这样一來，我們就把雷达脈冲的傳播速度搞清楚了。知道了这个速度，以及發射机發射脈冲能量的瞬时跟回声信号到达的那一瞬間之間的时差，就可以測定到达目标的距离了。正确地記錄上述的二个瞬間，并測定它們間的差数的这个任务，是由雷达中的一項仪器——顯示器來担任的。为了便于想像这个仪器該应具有何种精确度，只需說明下列一点就够了。这就是說，要想把距离測定得精确到5公尺，那么測定相应的時間間隔的精确度必須达到三千万分之一秒；以后將講到这些精确度高得无以复加的雷达“鐘表”的構造是怎样的，它是怎样工作的。

无綫电射束

依靠反射回來的信号來尋覓目标物，并測定距目标物的距离——这还不足以知道它究竟在什么地方。擲進水里的石头所造成的波，均等地向四面八方傳播开去。水波碰在池塘的岸上，碰在偶然駛过的船隻上，或其它东西上，就会反射。这些“目标物”中，这一反射波究竟是由于碰到了哪一个而反射回來的呢？这个问题很难加以回答。

倘使雷达天綫向各方面所發射的波是均等的話，那么也將碰到同样的問題。从相距同样远的飛機（無論在雷达站的前面或后面，