

雷達

郭壽鐸編



商務印書館

LS

雷

達

郭 壽 鐸 編

商 務 印 書 館

雷達內容提要

這本小冊子，從蝙蝠黑夜飛行的祕密，和通常利用聲音測量距離、方向的方法談起，逐步講解“雷達是什麼”、“雷達所利用的特種無線電波”、“雷達怎樣執行偵測的任務”和“雷達是由哪些機件組成的”這幾個問題，最後談“雷達的廣大用途和它在生產建設及國防上的重要”，是一本中級科學讀物，適於青年學生及一般讀者閱讀。

雷

達

郭 壽 鐸 編

★ 版權所有 ★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

新華書店華東總分店 總經售

上海南京西路一號

商 務 印 書 館 上 海 廠 印 刷

(51308)

1953年8月初版 1954年4月再版

印數8,001—17,000 定價 ¥ 2,000

上海市書刊出版業營業許可證出〇二五號

目 次

一 雷達是什麼	1
1. 從蝙蝠的祕密說起	1
2. “雷達”是什麼?	2
3. 雷達所利用的無線電波	4
(一)超短波和微波	4
(二)為什麼要用脈衝波?	5
4. 脈衝波雷達測量的基本原理	6
(一)怎樣測定目標的距離	6
(二)怎樣測定目標的位置	8
(三)雷達的偵測能力	10
二 雷達有哪些重要的機件	13
1. 特殊的零件	13
(一)同心線和導波管	13
(二)穴式共振器	15
(三)雷達用的幾種電子管	17
2. 雷達天線	20
(一)定向天線	20
(二)收發開關裝置	22
3. 雷達發送機和調制器	24
4. 雷達接收機	25

5. 指示器	26
三 雷達有什麼用處	31
1. 雷達在預測氣候上的應用	31
2. 雷達能幫助我們研究天體	31
3. 雷達在測量地形上的應用	32
4. “測線雷達”	33
5. 近程助航法	34
6. 遠程助航法	34
7. 地面控制飛機降落法	36
8. 雷達電視配合導飛法	37
9. 雷達能夠糾察交通工具	38
10. 雷達在國防上的各種應用	38

雷 達

一 雷達是什麼

1. 從蝙蝠的祕密說起

誰都知道，蝙蝠白天躲在黑暗的地方，專在夜裏飛出來尋找食物。然而，它爲什麼能夠在黑夜裏飛行，而不至於撞到障礙物，例如樹林或房屋呢？幾千年來，人們都說這是因爲它的眼睛怕光，卻又能夠在黑夜裏看見東西的緣故。其實，這種揣測不很正確，一直到八、九年前，蝙蝠的這個祕密，才被科學家揭破了。原來，蝙蝠的嘴裏，能夠發出一種我們聽不見的聲音，這種聲音每秒鐘振動的次數，在 25,000 到 70,000 之間，已經超出人類兩耳所能感覺的範圍，所以叫做超聲波。蝙蝠的聽覺器官很特殊，它能感覺到這種超聲波。當它在黑夜裏飛行的時候，嘴裏常常發出超聲波。這聲波在某一個方向遇到了障礙物，就立刻從那裏反射回來，其中有一部分反射到蝙蝠的耳朵裏，它便知道在那個方向有一個障礙物，於是及時地躲開。它憑着經驗，還可以知道，回聲急，障礙物近；回聲慢，障礙物遠。換句話說，它根據回聲的快慢，來判斷障礙物的位置的遠近，根據回聲傳來的方向，來判斷障礙物所在的方向。

人類利用超聲波來測量海中的暗礁，或者測量敵人的潛艇，已經有幾十年的歷史了。不過人類產生超聲波和接收超聲波的方法，和蝙蝠

● 我們人類的耳朵所能感覺的聲音，每秒鐘振動數約爲 16~20,000。



圖 1

的不同，只有測量的原理是相似的。

利用聲波測量距離或深度，還有一個淺顯的例子。比方說，在旅行的途中，假如要測量一個巖洞或古井有多深，而沒有測量儀器，這時，有個簡易的方法，就是靠近洞口，向洞底發出一個響聲，利用回聲來測量這巖洞的深

度。測的時候，用手錶（假如有跑錶更好）記錄發出聲音的時刻，和聽到回聲的時刻。將這兩個時刻相減，便得出聲音從洞口傳到洞底，再由洞底回到洞口所經過的時間。洞愈深，聲波一去一回的時間就愈長。假定這一去一回的時間是 t 秒，那時聲波的速度是 v 公尺 / 秒^①，則巖洞的深度 D 可以這樣計算：

$$D = v \left(\frac{t}{2} \right) \text{公尺}$$

舉個實例來說：從發出聲音到聽見聲音，相隔的時間是 1.18 秒，普通氣溫 (15°C) 下的聲波速度是每秒 340 公尺，那麼，洞的深度就是

$$D = v \left(\frac{t}{2} \right) = 340 \times \frac{1.18}{2} = 200 \text{ 公尺 (約)}$$

2. “雷達”是什麼？

① “公尺/秒”是“每秒……公尺”的意思；例如“每秒 331 公尺”可以寫成“331 公尺/秒”。

上節所講的，利用聲波或超聲波測量的方法，有着許多缺點，主要的是不能測量很長的距離。而且聲波在空氣中傳播的情況，難以掌握，又容易被各方向傳來的雜聲所干擾，所以這個方法不很可靠。

利用無線電波來測量，就沒有以上的缺點。無線電的測量法，也有好幾種，但是效力最大而又可靠的，要算是“雷達”了。

“雷達”這個名字，是仿照西文(radar 或 радар)的發音而命名的；比較嚴正的名稱，應當叫做“無線電偵測法”，意思就是“利用無線電波，來測定物體的位置，和距離的方法”。雷達這個名字雖然不很好，但是一般人用慣了，這裏也不妨暫且援用它吧。

懂得了上節所講的蝙蝠的祕密，和利用聲波測巖洞的道理，就可以大致了解雷達的原理了。簡單講來，雷達的原理，就是由觀測的人運用特製的無線電發送機和天線，向着某一方向，發出一種波長很短的無線電波，這種無線電波遇到了遠處的物體，即刻被反射成爲反射波，好像聲

波遇到牆壁或洞底而被反射一樣。其中，有一部分反射波回到雷達的所在地(圖2)，用雷達接收機去接收。如果無線電波一去一回的時間比較短，我們就知道所測的目標距離比較近，如果一去一回的時

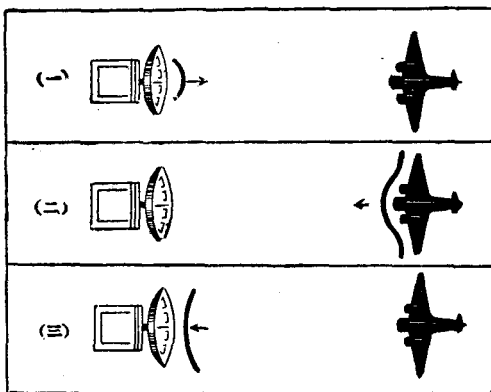


圖2 (一)雷達發出無線電波；(二)無線電波從目標反射回來；(三)反射波回到了雷達。

間比較長,就知道距離比較遠。根據反射波回來的方向,還可以知道所測目標是在哪一個方向。

3. 雷達所利用的無線電波

(一)超短波和微波

當我們收聽無線電廣播的時候,時常可以聽到播音員在說:“本台週率是……千週,波長是……公尺!”這裏所謂週率,用一句普通的話來講,就是所用的無線電波在每秒鐘內振動多少次;比方說,中央人民廣播電台的某一週率是 640 千週,意思是說所用的無線電波每秒鐘振動 640,000 次。無線電波每振動一次所進行的距離,叫做波長。波長 468.8 公尺,意思是說這無線電波每振動一次,前進了 468.8 公尺。

一般無線電波是根據它的波長長短來分類的。波長在 3,000 公尺以上的,叫做長波;從 3,000 公尺到 50 公尺之間的,叫做中波;從 50 公尺到 10 公尺之間的,叫做短波;從 10 公尺到 1 公尺之間的,叫做超短波;不滿 1 公尺的,叫做微波。雷達所利用的,只限於超短波和微波,尤其常用微波。

無線電波的波長和週率,彼此間有一定的數量關係,例如:

名 稱	波 長	週 率
長 波	3,000 公尺以上	100 千週以下
中 波	3,000~50 公尺	100~6,000 千週
短 波	50~10 公尺	6,000~30,000 千週(即 30 兆週)
超短波	10~1 公尺	30~300 兆週
微 波	1 公尺以下	300 兆週以上

由上表可以看出:無線電波的波長與週率成反比,也就是說,波長

長的，週率低，波長短的，週率高。但是，無論哪一種無線電波，傳播的速率都是一樣快的，一律等於每秒 3 億公尺，也就是 300,000,000 公尺/秒。無線電波的波長、週率、傳播速度的關係，可以用下式來表明：

$$\text{波長} \times \text{週率} = \text{傳播速度}$$

例如波長 $1/2$ 公尺的微波，它的週率是：

$$\begin{aligned} \text{週率} &= \frac{\text{速度}}{\text{波長}} = \frac{300,000,000}{\frac{1}{2}} = 600,000,000 \text{ 週} \\ &= 600,000 \text{ 千週} = 600 \text{ 兆週} \end{aligned}$$

雷達所用的超短波和微波，就傳播的特性來看，跟普通廣播用的中波和短波略有不同。它能夠透過高空中的游離層，碰到導體如金屬之類，會發生強烈的反射；遇着非導體如木石之類，也會引起相當的反射。波長較短的超短波，尤其是微波，容易集中向一定的方向發射，還可以採用像反光鏡一般的反射器（參看第 21 頁），來加強天線的方向性；這也是雷達採用波長最短的無線電波的原因之一。

（二）為什麼要用脈衝波？

前面講過，雷達要測量某方向遠處物體的距離，必須向着這個方向發出無線電波，又必須把從遠處物體反射回來的無線電波接收進來。假如所發的無線電波是連續不斷地發出，那麼，反射回來的無線電波也將是連續不斷的。這時，接收機除了接收連續的反射波之外，還要同時接收由發送機直接傳來的連續的直接信號，這兩個連續不斷的信號混雜在一起，其中很微弱的反射波信號就會被掩蓋掉。因此，通常雷達所發出的無線電波，都不用連續的，而是採用間斷的、很短促的。這就是說，雷達發送機在極短促的時間內，把一系列力的無線電波發出後，馬上停歇下來，停歇的時間也極短促，但是比發出的時間卻長一些，停歇

之後，又立刻繼續發出一列無線電波，這樣一發一停，循環不已，於是發出的和收回的無線電波都是斷斷續續的，好像我們的脈搏跳動一般，這樣的無線電波，叫做“脈衝波”。

採用脈衝波還有一個好處，就是功率可以集中在每一個短促的脈衝裏，脈衝愈短促，停歇的時間愈長，則每個脈衝的功率最大值愈大。比方說，每個脈衝的時間是 1 微秒[●]，停歇的時間是 1,000 微秒，即使平均功率只有 50 瓦特，每個脈衝的功率的最大值卻可以達到 50,000 瓦特，也就是 50 千瓦。這個數值，和一個普通的廣播電台的功率數值不相上下。

4. 脈衝波雷達測量的基本原理

(一) 怎樣測定目標的距離

現在用圖 3 來說明脈衝波怎樣測量距離。圖中的 OT 線代表時間，普通叫做“時間基線”。時間基線左端的 O 點代表開始發出脈衝的時刻， P_1 就是代表所發出的脈衝， p_1 代表從目標反射回來的脈衝， P_1 較長是表示發出的脈衝很強， p_1 較短是表示反射回來的脈衝較弱。假

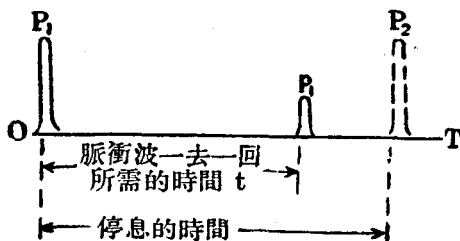


圖 3

● 參看下節。

定這反射回來的信號，是在發出脈衝後隔了相當時間，比如 t 秒後才收到的，這 t 秒鐘也就是脈衝波一去一回所需的時間。雷達和目標間的距離遠，這個時間就長，距離近，這個時間就短。再假定雷達和目標間的距離是 D 公尺，已知無線電波在空中進行的速度是 $v=300,000,000$ 公尺/秒，那麼，

$$\begin{aligned} D &= v \left(\frac{t}{2} \right) \\ &= 300,000,000 \times \frac{t}{2} = 150,000,000 t \text{ 公尺} \end{aligned}$$

舉個例說：如果脈衝波一去一回是經過一千分之一秒，即 $t=0.001$ 秒，那麼距離一定是 $D=150,000$ 公尺，即 150 公里。如果距離 $D=150$ 公尺，那麼脈衝波一去一回只需 $t=0.000001$ 秒，即一百萬分之一秒。由這裏可以看出無線電波是多麼的快！同時，“秒”這個單位雖然在我們日常生活中是個最小的時間單位，但是應用到雷達的工作上，卻嫌它太大了。因此，不得不改用一秒的一百萬分之一作為時間的單位，這種單位叫做“微秒”。

有了這樣的時間單位，無線電的速度可以說成 $v=300$ 公尺/微秒，而且，上面的公式也可以改寫成爲：

$$\begin{aligned} D &= v \left(\frac{t}{2} \right) \\ &= 150 t \text{ 公尺 [注意：這裏的 } t \text{ 用微秒做單位]} \end{aligned}$$

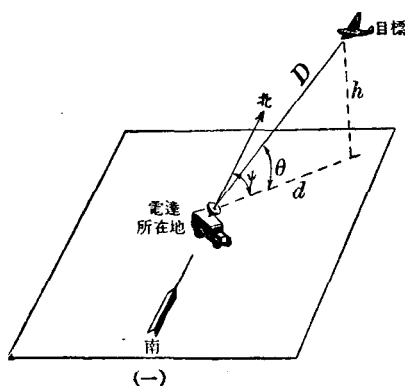
從這個公式可以看出，脈衝波一去一回的時間每增加 1 微秒，目標的距離必定增加了 150 公尺；反過來看，目標的距離每增加 1,000 公尺，脈衝波一去一回的時間就要增加 6.67 微秒。

實際上，雷達測量目標的距離，不用計算。例如有一種雷達接收機

指示器（參看第 28 頁圖 27）所指示的圖形，就是和圖 3 左部的樣子差不多。不過，它相當於時間基線的部分，不註時間，而照一定的比例，註着距離的標尺，比如若干公尺或若干公里。所以觀測的人員只要查看反射脈衝信號下面的標尺數，就可以知道目標的距離，不必計算。

（二）怎樣測定目標的位置

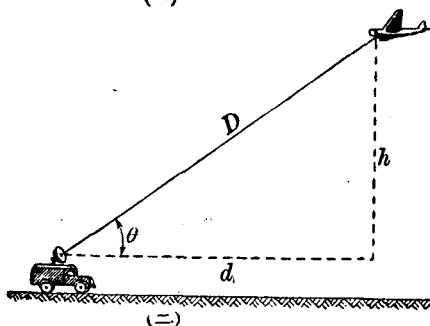
測量一個雷達目標的位置，比如飛機在空中的位置，有時需要知道



好幾個因素，例如飛機的水平距離 d 和它的高度 h （圖 4）。雷達所能直接測出的是斜距 D ，有了斜距 D 的數值，再找出仰角 θ 是幾度，就不難應用三角學的原理，算出水平距離和高度：

$$d = D \cos \theta$$

$$h = D \sin \theta$$



有了 d 、 h 和方位角 ψ 的數值，目標的位置就明確了。方位角 ψ 和仰角 θ ，都可以由放置雷達天線的角度方向直接找出。

上面所列的兩個公式，只是說明測算雷達目標高度和水平距離的原

圖 4

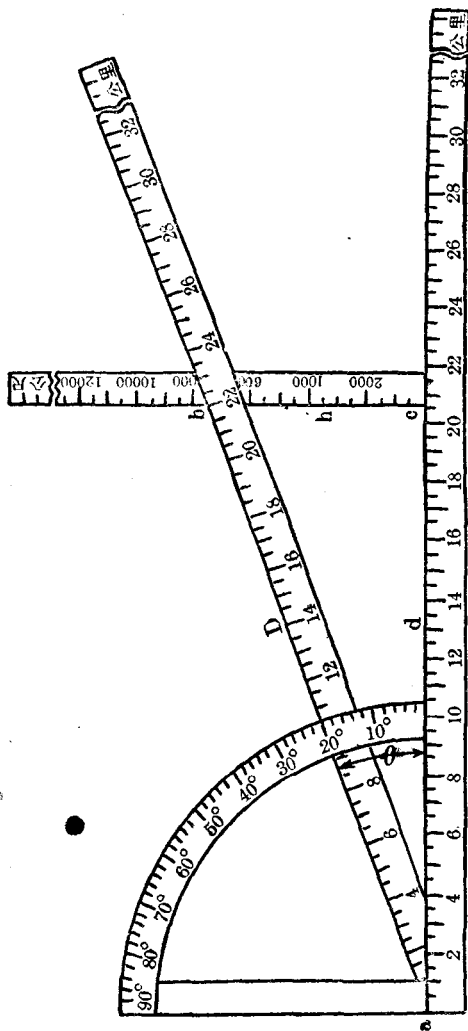


圖 5

理。實際上，只要由雷達測出了斜距 D 和仰角 θ 後，儘可應用相當的測算儀器，直接查出高度 h 和水平距離 d 的數值，不必經過麻煩的計算手續。圖 5 就是一種簡單的測算儀器，用法很簡單。例如已知仰角 θ 是 20° ，目標斜距 D 是 22 公里。先轉動斜尺，使它與橫尺間的夾角等於仰角（即 20° ），再移動縱尺，使它與斜尺的交點 b 的刻度等於斜距（即 22 公里）；然後，查看 b 處縱尺的刻度，便得目標高度 $h=7,500$ 公尺（約），再查 c 處橫尺的刻度，便得水平距離 $d=20,700$ 公尺（約）了。

（三）雷達的偵測能力

雷達發送機所發的脈衝功率、接收機的靈敏度、定向天線的性能和目標的特性等等，對於雷達所能偵測的距離，都很有關係。假定拿 P_t 代表發送機所發脈衝的功率， G 代表定向天線性能的一個因數， e 代表目標特性的一個因數（這因數隨目標的有效面積、反射無線電波的能力而定）， P_r 代表執行接收任務所需要的最小功率（這 P_r 的倒數，即 $\frac{1}{P_r}$ ，叫做接收機的功率靈敏度），那麼，雷達所能偵測的最大距離 d_m 可以用下列公式來表示：

$$d_m = \sqrt[4]{\frac{P_t G e}{P_r (4\pi)^2}} \text{ 公尺}$$

用一句數學的話來說，就是 d_m 與 P_t 、 G 、 e 和 $\frac{1}{P_r}$ 等的四次方根成正比。這就是說，即使脈衝功率大大增加，天線的方向性等大大改進，但是最大測距的增遠卻仍有限。比如說，即使把發送的脈衝功率增大到 16 倍，最大測距卻只能增遠到 2 倍，即 $\sqrt[4]{16}=2$ 。

實際上，能夠影響雷達的最大測距的，當然不止上述的那些因素。此外，例如地面的反射、天線的高度、大氣的情況等等，也都有着一一定的

影響。

雷達對目標的鑑別力，也很重要。這種鑑別力的大小，與脈衝的“寬度”和波柱的寬度，都有密切的關係。所謂脈衝的“寬度”，是指圖 3 裏代表脈衝的峯形突起部分來說的。嚴格地講，應該說是每一個脈衝的持久時間。脈衝應該用多麼寬，必須根據雷達的任務上的要求來決定。凡是用於長距離的偵測，或者所偵測的目標不大的，例如防空哨用的雷達，都可以採用較寬的脈衝（約 2 微秒到 20 微秒）。因為距離遠而目標小的時候，反射回來的能量也少，所以要用較寬的脈衝，使發出去的脈衝能量較多，以求及遠。凡是需要比較強的鑑別力的地方，例如控制高射砲用的雷達，就應該採用較窄的脈衝（約 0.1 微秒到 2 微秒）。圖 6 說明脈衝寬度對於雷達鑑別遠近能力的影響。圖中靠右邊的圓

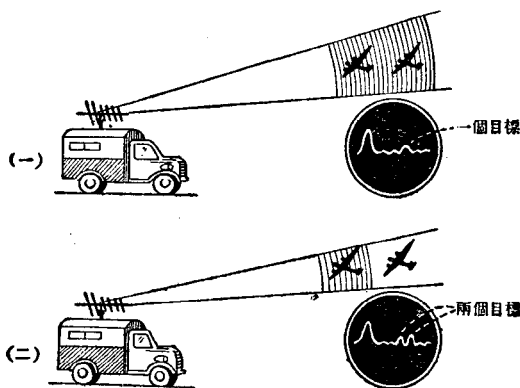


圖 6

形，表示指示器上指示目標距離的情況：在（一）圖裏，脈衝太寬，以致辨別不出有遠近不同的兩個目標；在（二）圖裏，脈衝寬度適宜，兩個目標不能同時把脈衝反射回來，因此能夠辨別出兩個遠近不同的目標來。

圖 7 說明波柱寬度對於雷達鑑別方向能力的影響。圖中靠右邊的圓

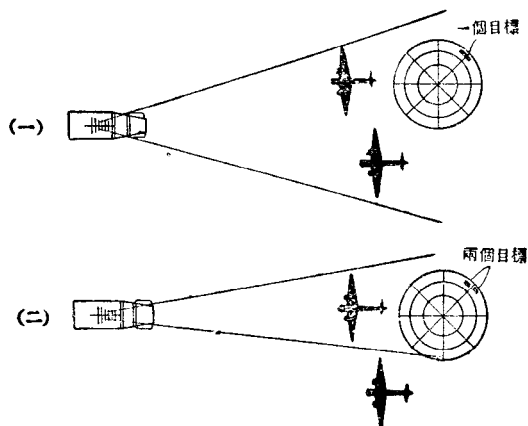


圖 7

形,表示另一種指示器指示目標方向的情況:在(一)圖裏,天線發出的波柱太寬,以致辨別不出有方向不同的兩個目標;在(二)圖裏,波柱寬度適宜,兩個目標不能同時把脈衝反射回來,因此能夠辨別出兩個方向不同的目標來。