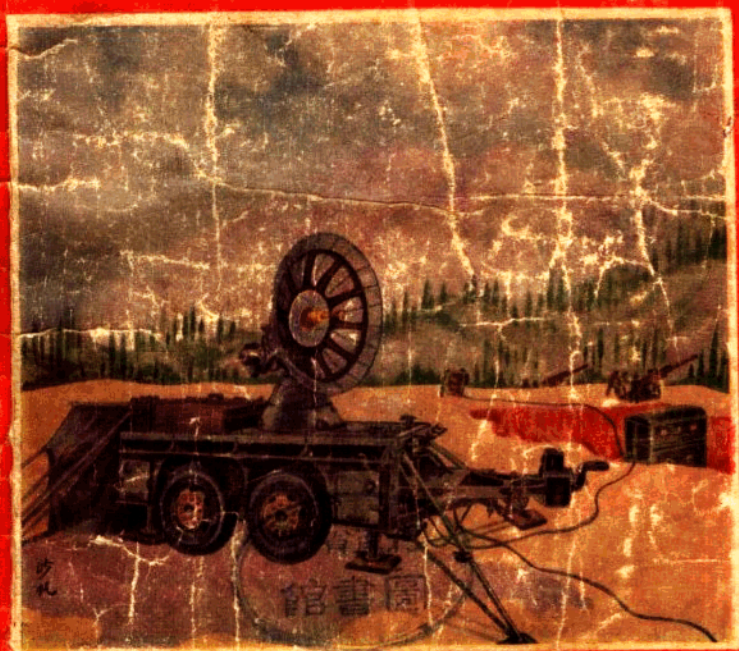


雷達是什麼？

陸鶴壽譯



上海無線電編譯社出版

前 言

在西曆 1943 年間，雷達一名詞初次見於報章雜誌，對於牠的應用及效能尚多在猜測之中。但不久，以事關軍事秘密，又停止作公開的宣傳。迨戰爭勝利結束後，有關雷達的敘述方始大量出現，或片斷見於雜誌，或系統編著成書，惟大多數均偏在理論上或工程上的討論，如對無線電學理無相當的認識，或不容易了解。本書作者在無線電方面已屢作淺近的述著，雖應用簡單的文字，但頗詳盡透澈。在戰爭期中，作者更担任雷達軍事管理人員的訓練及訓練資料的編輯，經驗豐富，本書即其歷年工作的心得，對於基本原理的介紹，淺顯易明，極適合中學程度的讀者。書中對於軍事上的運用尤富有興趣，可予讀者在閱讀情緒上一種調濟。本書介紹基本原理時，均有適當的譬喻，並不涉及專門學理，最是難得可貴，而不是其他書籍所能比擬的，特為讀者介紹。

最初雷達常被認作一種防守性的武器，惟經這次世界大戰中不斷表現牠的超異功效後，應用的範圍日益擴充，防守需要雷達，進攻亦需要雷達，所有海陸空軍幾乎將達無此配備不能作戰的地步。因為應用雷達後，大敵的射擊達到非常準確的程度，大敵的火力增強，本需十發敵彈可以摧毀的目標，現在二三發就可完成任務，於是彈藥的供應、儲藏、運輸、及製造均可得到便利及簡化，這一點的關係當然不是三言二語可以盡之。再說雷達的防空力量，對於敵機的來襲，不但能及時供給正確的情報，且可不受氣候、晝夜、及雲霧的影響。這實不是往昔軍事專家所能夢想得到的。由於偵察效能的優越，常可中途攔擊，粉碎敵人原定的空襲計劃，雖帶有威力不可一世如原子彈一類的武器，亦將無法發揮破壞作用。這不是雷達的理想力量，而可以事實證明的。今後戰爭的破壞性可以極大，但是受到雷達的阻礙後，並不一定有實現的可能。究竟將來的戰爭中，雷達的功效如何？唯有拭目以待了。

就戰爭的策略說，自古至今還未曾經過幾次革命性的改變。自刀箭時代而入槍礮時代固然是最明顯的一次，現在雷達所表現的一切，均是趨向戰術及戰略的改革。海陸空軍的聯絡，得益於雷達，已無須贅述。對於敵軍戰鬥力量的消滅，亦已非雷達不為功，這是因為氣候、雲霧、及黑夜已不能再用作軍事的掩護及蔽障，就是所有利用飛機等傳遞的武器，如原子彈，亦已失去必成的保障。雷達射線無孔不入，將來機件再經改良後，應用再加計劃擴充後，牠對整個戰爭的控制力量實不可思議。至於雷達對於軍事機構的組織及訓練，亦均有重大的影響。例如，今後敵手射擊技術的訓練，實在不如說是雷達運用的訓練。飛機的飛航及降陸以採用雷達比較更是安全，則飛行員的訓練還須着重雷達部份。照現在的情形看，雷達對於航空上的協助，業已超過以往單純無線電所能達到的任務。海陸空軍每一部隊的人員，本是適合需要而分配組織的，現在一切以雷達佔先，調整人員的分配實屬必然的趨勢。

本書對於雷達將來的發展、應用、及對軍事上的影響，均未加以敘述及討論。這不是對雷達將來價值的低估，而是因為本書主要目的在介紹雷達的基本原理，並利用第二次世界大戰中的種種應用，解釋雷達的工作及效能。至於在承平時雷達對於人類的貢獻，主要者將在航空及航海的安全，這已可從戰爭時的運用看出，不過究竟如何配合運用？還待通盤的計劃，以適合新的環境。

本書應用簡單的文字敘述雷達的基本原理，凡對物理及電學有認識者均能閱讀而無困難。訓練雷達管理人員應用本書作教本或參考書，深獲配合尤為適宜。惟須注意一點，書中所列舉的軍隊編制及名稱與國內的情形不同，事實如此，照譯以供參考。

陸勤壽識於南京。

一九四七年十月

目 次

前 言	1
-----	---

第一章 雷達基本原理的喻解	1
---------------	---

· 聲波的反射	1
· 利用聲波測量距離	3
· 為什麼喇叭發聲要短促	5
· 方向的問題	5
· 關於移動的目標	6
· 利用聲波測量高度	7
· 回聲是雷達的基本原理	9
· 無線電波就是答案	10
· 雷達的一般介紹	13
· 在百萬分之一秒鐘下工作	14

第二章 雷達基本機件組織	16
--------------	----

· 天線	16
· 發射機	18
· 發射真空管	19
· 發射機及天線間的導波部份	20
· 接收機	20
· 天線及接收機間的導波部份	21
· 定時器	21
· 來回路程的距離	22

電脈發射的久暫問題	23
指示器	23
結論	26
 第三章 天線及指示器	28
雷達射線	28
未保衛的區域	31
射線的輻射	33
天線的升角	35
指示器	36
陰極射線管	37
光點的移動	38
螢光面上的時間基線	40
目標怎樣在指示器上現出	42
移動的目標	44
目標距離的求法	45
亮點意義的解釋	46
J 標法	47
平面位置指示器	49
旋轉的時間基線	49
在平面位置指示器上求距離	54
距離標誌圈	55
指示器的總檢討	58
 第四章 地面部隊運用雷達的種種	90
雷達是防禦武器	91
雷達供給空襲情報	91

地面控制雷達及飛機用雷達	65
SCR-268-516式雷達	66
SCR-584 式雷達	69
自動螺旋搜尋	70
敵艦準器	72
海防敵隊的雷達	73
地面上的雷達射線	76
第五章 雷達在海洋上的應用	78
雷達與艦隊的戰術	80
護航艦隊的雷達應用	83
海軍的雷達開敵控制	83
雷達能搜尋及監察敵艦	84
用落彈法測距	86
第六章 空軍如何運用雷達	90
大西洋戰爭中雷達的應用	90
飛機用雷達	92
雷達導航的飛行	93
能產生機翼的亮點	95
垂直的時間基線	96
雷達製圖	100
雷達投彈瞄準器	102
地面控制的盲目降陸設備	104
雷達協助飛機飛航	109
雷孔	111
雷達高度表	111
遠程無線電助航	112

第七章 鑑別友敵法及對付雷達的方法.....116

對付雷達的方法.....116

錫箔干擾.....118

進攻前對雷達的詐略.....118

附 錄120

中英文名詞對照表.....120

第一章 雷達基本原理的喻解

雷達是英文 RADAR 的譯音名詞，如果仔細觀察 RADAR 一字，就可發覺牠所用字母的順併與倒併完全是一樣的。這字的特點遂亦可以代表一種驚人發明的基本原理，設若用簡單的名詞來說明，那就是「反射」。譬如，在一間黑暗的房間內有一面直立的鏡子，當你用手電筒斜向鏡子照射時，反射的光線就可能照在附近的牆上。圖 1 就代表光滑鏡面，經反射的作用，而能改變光波（光線）的方向。假使你面對鏡子而立，而使電筒提高到你的頭部，電筒光直照到鏡子時，牠的光線幾乎會直接射到你的眼睛。由此可知，反射作用是改變光波的照射方向。

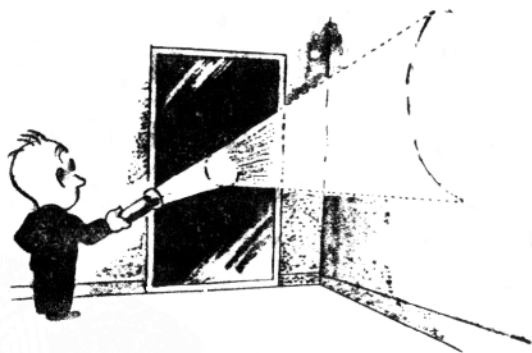


圖 1 光線斜角照到垂直的鏡子時，反射的光與鏡子面亦成同量的角度。

聲波的反射

上述的情形對於聲波（聲音）也是一樣的正確。當你站在山岩腳下高聲大叫、或開鎗、或發出其他的聲音時，你將能無疑地聽到他的回

聲，這回聲就是聲波的反射。這與鏡子照出人像同樣是反射作用，亦就是，光波能從你的面部照到鏡子，再反射到你的眼睛。現在一部份無線電波的性能完全與光波相同，這就是說，無線電波也是直線前進的，且能反射，這種作用遂成為雷達的發明。

現在讓我們再從光波另一種已知的特性討論，這是指牠運動的速度。雖然牠的速度已經精密地測出，但是在我們的討論中，假定光這是每秒鐘 186,000 英里就算很準確了。照這數字計算起來，光波從太陽射達地球面上共需五百秒鐘，或八分半鐘。在電磁的立場上，由於無線電波與光波具有同一種特性，故在空間的速度也是一樣，因此無線電波每秒鐘約能經赤道環繞地球面七周半之多。

聲波在空氣中的速度，大約是每秒鐘 1,100 英尺，或一英里需時 4.8 秒，所以光速比較聲速要快到 892,800 倍。這就是聽到砲聲比較看到砲火遲慢的原因，看到閃電與聽到雷聲遂又不免常有比較長久的時間差別（當然雷聲及閃電同時產生），這就是說明聲速（聽到雷聲）與光速（看到閃電）不同的結果。

我們已經知道光波及聲波的速度，但是僅從計算聲光的時間，似乎對於兩地間的距離仍不明顯。現在讓我們單獨應用聲波推算距離。假便在很遠地方的高山上開砲，你可以在看到砲火時按動跑表，等到聽到砲聲時再按跑表一下，這樣你已經將砲聲及砲火傳到的時間差別記錄下來。照圖 2，這可以假定是二十一秒鐘。在不計光波從砲口到達你眼睛



圖 2 如果砲聲需時 21 秒可傳達測量者，二者間的距離可將空氣中的聲速（等於每秒鐘 1,100 呎）乘時間求得。

的距離時，礮位與你的距離是 23,100 呎，這是 21 乘 1,100 後得到的距離，改用英哩計算亦很容易，可以將 4.8（這是聲波傳送一英哩所需的時間）除所記下來的時間（即 21 秒），就得 4.37 英哩。

嚴格地說起來，單獨知道一種動作，並不能計算兩地間的距離，這一動作可以就是礮聲到達的時刻。所以一定還需要知道礮聲開始傳來的時刻，這是指看到礮火的一瞬時。這種關係很重要，因為這樣才能指出時間作用的開始點。因這兩種作用（指聲波開始前進的時刻及牠到達目的地的時刻）均須明白而正確地知道後，方能根據時間的差別算出距離來。

進一步討論，假使你在一個全無月光而極黑的夜間，沿河岸的碼頭上行走。當你路過附近碼頭時，停泊的船上放出一聲極短的氣笛聲來，由於你站立的位置很近，氣笛聲發出後就能立刻聽到。幾秒鐘後，你又可聽到這氣笛聲從對岸上建築物反射過來的回聲。現在的問題是：能否求得河面的闊度，或未知的回聲發生地距離？當然可以，這是根據氣笛聲發出的瞬時（就是聲音開始過河的瞬時）及聽到牠回聲的瞬時（就是回聲從對岸傳達到你站立地點的瞬時），計算二者的時差就可得到。現在就可注意，這種情形已與光無關係，惟對於求距離所需要知道的二要點已經具備，就是已知聲波開始的瞬時及反射波（回聲）到達原始點的瞬時。

假使兩種時刻的差別是 12 秒鐘，則照前例用 4.8 除 12 得知聲波共行經二英哩半，不過這是代表來回路程的距離，就是聲波過河後再反射回來。我們現在僅在求河面的闊度（亦就是河對岸反射聲波建築物的距離），所以求得的距離還須折半，河面的闊度一定是 1.25 英哩（等於 2.5 英哩折半）。由此可知，祇要辦法適當，則對於遙遠不能眼見的東西，亦能求得牠的距離。

利用聲波測量距離

假使在一個平坦的空曠場地中間架設一個轉台，又在這轉台四週不

間的距離垂直豎起不少大平板，轉台上裝一個高音（例如比中C調高二個音程）的汽車喇叭，這喇叭管較長，使發出的聲音能集中在指定的一個方向推進。這時候如果要測量大平板與轉台的距離，在轉台上的測量者可以按喇叭一下，發出一次短音（例如半秒鐘），又同時按動跑表，當聽到回聲時，就按停跑表，跑表上配鐘的時間，本就代表原喇叭聲及牠回聲到達時所需的時間，乘1,100就得總距離（單位是英尺），惟單程距離是這樣算出數目的半數。

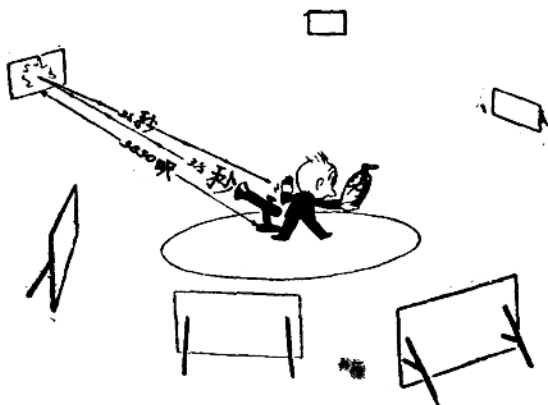


圖3 當喇叭聲反射回到測量者需時7秒鐘時，反射面的距離求法是將時間折半，再乘空氣中的聲速，即每秒1,100呎。

圖3中，轉台方向大約已旋動四十五度，喇叭聲發出後七秒鐘內聽到回聲，喇叭聲來回的路程是7,700英尺（ $1,100 \times 7$ ）的折半，就是第一塊大平板與轉台的距離是3,850英尺。如果轉台是在繼續的旋動，則可在十六秒鐘後第二次聽到回聲（時間仍自喇叭聲發出時開始計算），照樣推算，乘1,100得總程17,600呎，第二塊板的距離遂是8,800英

呎。聲音從第三塊板反射回來需十秒，那就代表牠的距離是5,500 呎。顯然可見，轉台繼續地旋動時，各平板的距離，亦不難照樣逐塊算出。

為什麼喇叭發聲要短促

照上述的轉台例中，測量平板距離主要條件之一是喇叭聲只達半秒鐘之久。為什麼喇叭發聲要短促？理由很簡單但很重要，目的就是在使測量者能明白地辨別出原聲及回聲。

假使喇叭管所指向的大平板祇與轉台相距1,100 呎，而喇叭聲又延長到三秒鐘之久。本來喇叭聲發出及回聲到達需時二秒鐘，這逾在喇叭聲停止時之前，所以在喇叭聲不斷的響時，聽到回聲的時刻是極端難於確定的。顯然可見，喇叭聲繼續的時間必須短於聲音來回所需的時間。換句話說，在這種測量距離的方法中，原始聲音繼續的時間，必須配合最短的距離。

方向的問題

上面已經提到，在轉台上裝置長喇叭管的目的是在使聲音能大量集中一個方向發出去。假使大平板僅約六呎闊，那麼當轉台在緩慢地轉旋時，在台上的測量者必須很仔細地收聽回聲。或者他還要在一定的時間按響喇叭，俾發射出去的聲音，可以一定射到平板上而不漏空。在這種情形下，除距離外，另有一種因素也有關係，那就是方向，所以每一塊大平板與轉台間的實際位置可以很正確的求得。

如果轉台順着時針方向慢慢的旋動，當喇叭管口正指向北方時，測量者可以手持一隻指南針，在聽到喇叭聲從某一個目標（平板）反射回來時，他就可以從指南針知道在那時轉台已旋過多少角度（從正北計算）。更容易的方法是在指南針的玻璃匣面上劃一條線，使之保持喇叭管中心線方向。於是轉台旋動時，指南針的指針一定保持正北的方向，角度的變動亦可以一看就知，就是根據指南針的指針方向及玻璃面上跡

線的角度推算。舉一個例說明，在圖4中，指南針指向東北時（就是45度），可以聽到一次回聲。第二次回聲是在正東方向（就是90度）。如果其他各次回聲分別是在西南方向及西北方向，則旋轉角度亦分別是225度及315度（正北是作0度或360度計）。

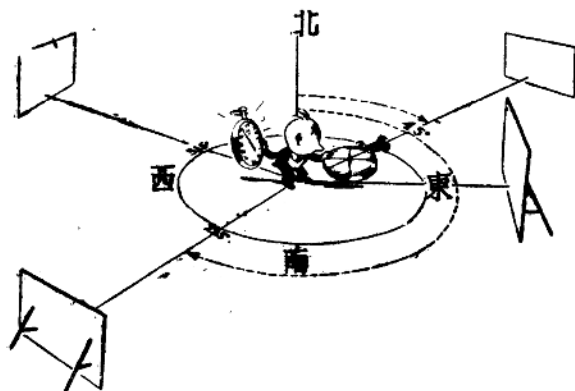


圖4 當喇叭管口旋轉而聽到回聲時，測量羅盤從正北移動的角度，就可算出反射面的方向。

採用這種方法時，雖然不能看到平板或其他反射物，但是他的位置可以備用汽車喇叭、跑表及指南針測量得出，亦就是說，祇要能看得清楚跑表及指南針，則這種測量工作還可以在夜間舉行。

關於移動的目標

假使在轉台不停地旋轉幾周後，已經測量到各平板的距離：這時忽有一大卡車直向轉台馳近（見圖5）。本來天色黑暗，卡車未曾發覺，惟轉台上的測量者已在一無目標的方向聽到回聲，假定說：這第一次回聲的距離是3,000英尺，而方向是135度。這時他可先將轉台停止旋轉，在片刻之後，再測算這目標距離一次，結果可以是2,500英尺，方

向則仍舊不變。接下去，在同一方向測得的距離是；第三次 2,100 英尺，第四次 1,700 英尺，第五次 1,300 英尺。根據這種連續測量的結果，得到唯一的結論；就是有一輛卡車自 315 度的方向（等於東南方向）直向轉台開過來。

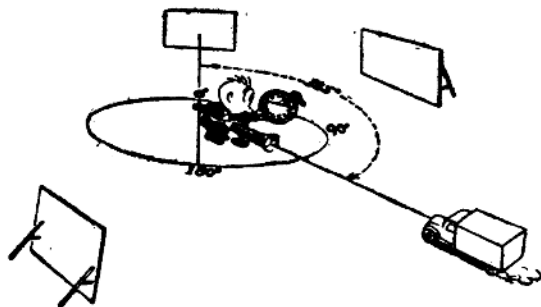


圖 5 移動目標的速度可以用連續測距的方法求得。

如果對於卡車目標的連續測量是間隔一定的時間，例如每十秒鐘測量一次，則測量者可以知道得更多一點，那就是卡車的速度。實在說起來，當卡車的方向確定後，如果需要知道卡車速度時，就能隨跡測得後應用。

利用聲波測量高度

我們已經討論過從大平板及卡車得到回聲，這是一短促的聲音，射到地面上目標再反射回來，根據計算就得牠的距離及方向。那麼這種方法，對於高於或低於轉台的目標是否適用？當然可以。下面就是解釋。

假使轉台移到一個山頂上，而這山頂的四週又全是高山及深谷。這時汽車喇叭改裝在轉架上，可以上下傾斜，使喇叭聲音亦能向上下發出。在汽車喇叭後部又裝上一個指針及直標，使喇叭實際傾斜的程度亦能明白標出。直標的零度位在中間，當指針在零度時，表示喇叭與水平

線平行（請看圖6）。假定測量者要知道某一個高山山頂的距離，當然先使喇叭指向這座高山，並使管口傾斜，直對山頂，指針在直標上指出向上傾斜十度，再按喇叭發聲半秒鐘，這時利用跑表就可記錄回聲到達所需要的時間，這時間可以是十秒鐘，意思是山頂的距離是5,500英尺。由轉台測量山頂的位置，已可得到正確的結果，這包括與轉台的距離、方向、及傾斜的角度。

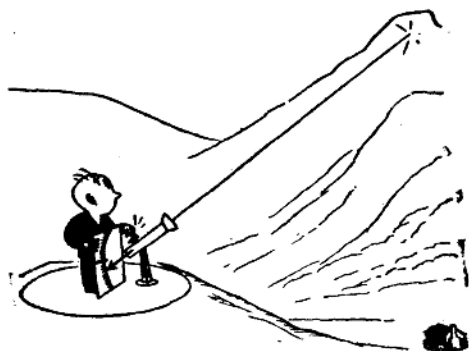


圖6 測量喇叭管向上傾斜角度後，從已知的目標距離，就能算出目標的高度。

在深谷中的房屋位置，亦可用同樣方法測得，僅須將轉台旋轉，使喇叭移到這房屋的方向，喇叭管口向下傾斜，指針則在直標上指在零點以上（見圖7）。當汽車喇叭發聲半秒鐘後，不久就可聽到牠的回聲，記錄各項後，就可從轉台推算深谷中的房屋位置了。

以前討論時，為簡便起見，我們已假定這位測量者的技術優良，所以能使喇叭一下就對準山頂或房屋，並且在喇叭發聲後，時間亦能一次記錄下來。如果在夜間，測量者已經不能看到山頂或房屋，但是這種測量工作仍能照常舉行。那時他須一方面旋轉轉台，一方面間隔規定的時間按響喇叭半秒鐘。在某一方向，等到聽到回聲時，還可能是高山所在

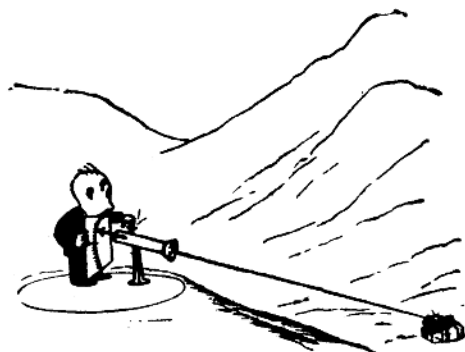


圖7 當測量者探測水平線以下的目標時，他
可將喇叭向下傾斜，同時測量傾斜的角度。

的方向。這時測量者可使轉合停止轉動，再使喇叭管口逐漸向上升高，並且仍不斷發出短促的喇叭聲。這樣的繼續向上偏斜，終於聽不到回聲，他知道喇叭管口已經太偏高，而使喇叭聲越過山嶺。於是喇叭管口又須微略向下移動，但不變動方向。當測量者再度恰能聽到回聲時，喇叭管已準確對着山頂了。由此可知，經過多次試驗後，在黑暗中亦能將山頂位置準確測出。

這樣說明後，就能很明顯的看出，某一目標與另外一地點的相對位置，可以利用聲波的反射，得到相當準確的結果。同樣，移動目標亦能隨跡偵察牠的所在地。這些都還是在測量者未見目標就測出的呢。這裏還可附帶說明：類似的聲音反射方法已經在多年前被用在偵察水底的潛水艇或其他目標。在這一次世界大戰中，應用的方法更是複雜了。

回聲是雷達的基本原理

利用聲波從未見目標的反射作用，一般說起來，是雷達的基本原理，但是雷達在運用上却相當的複雜。這自然引起一個問題：為什麼要

用複雜的器材？為什麼不用比較簡單的聲波反射方法？

根據上面的基本解釋，可以很顯然地看到，聲波反射方法是不能適合其他的應用。雖然在深水工作仍可適用，但是在其他雷達可能的應用中，例如對飛機戰爭的攻守及極多其他用途，立刻就顯露出聲波反射是過於遲慢。意思就是，聲波在空氣中的速度太慢，不能用以偵察高速度的戰鬥機及轟炸機。並且聲音發出後，亦可能被敵人收聽到，自然不能適合軍用。還有一同樣重要的理由，那就是聲音的響度在空氣中迅速地減低；應用的範圍遂受到限制。天氣變化，亦能使空氣中聲音的運動改變，對流的大風可以使聲音的方向完全更改。所以在許多的缺點下，聲音是絕對不能在軍路上利用。不過用在解釋雷達的基本原理時，那到是最恰當的。

如果一般的條件很適合的話，光波亦能用來測量目標的位置。準確的光速已經知道，而光又能集成極細的光線柱發射出去，照在目標上後就能反射回來。不過光的應用亦受到很多的困難及限制，以致不能實際採用，而歸淘汰。氣候是主要的原因，因為光波不能穿透雲霧等，而光的反射程度又因目標表面的性質而不同。最後須提出一點，就是軍事上需要特殊性及絕對的機密，這當然不是光線所具備的。

所以，現在所需要的是一種不能眼見的方法，且須在日光或黑夜中能很可靠地探測出隱蔽未見的目標。氣候的變化，雲霧的有無，都須不受影響。說回來，光波的一部份特性仍須保有。那就是，首須能從目標反射；第二是牠的速度須極高，更須能收集成柱，在任何指定的方向放射出去。

無線電波就是答案

無線電波備有上述各種基本條件。僅不過在完全適合需要時，無線電波的波長必須在三英尺左右，而以愈短愈好，這與廣播所用無線電波（波長均在百碼以上）的性能不同。極短無線電波通稱作微波或類光波，同樣遵守光波的各種定理。例如，任何無線電波的波速與光速完全