



世界科学技术新成就

无线电电子学方面的新发展

孟昭英



科学普及出版社

现代科学成就与展望

无线电电子学方面的发展

高 维 烈



科学出版社出版

本書提要

無線電电子学是比較年輕的三門科學，最近十九年來，它的發展是異常迅速的，尤其是它在其他科學技術部門中所起的作用更特別重大，例如大家都很感到興趣的原子能的应用，和無線電电子学就有着非常密切的關係。

这本小冊子是叙述無線電电子学基本知識的讀物。

首先，它通俗，概括地介紹了這門科學的發展过程，它的本質和优点；其次，重点地講述了它的各种应用以及今后發展的主要方向；最后，还附帶說明了它的重要性。

本書是世界科學技術新成就的一套小冊子中的一種。

总号：445

無線電电子学方面的新發展

著 者： 孟 昭 英

出版者： 科學普及出版社

(北京市西直門外都家灣)

北京市書刊出版業營業登記證出字第001号

發行者： 新 華 書 店

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

(北京市西便門南大街乙1号)

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$

1957年1月第1版

1957年1月第1次印刷

印張： 8

字數： 11,000

印數： 12,570

統一書号： 15051·25

定 价： (9)1角1分

我們現在是处在原子能時代的開端。這個時代的一個突出的標誌是無線電技術和電子學的廣泛應用和迅速發展。沒有它們，原子能的應用是不可能的。它們也是許多現代化科學技術的基礎。無線電技術和電子學最初是用在通信上，現在就廣泛地應用在工業生產里的加工和自動控制，用作傳播文化最好的工具之一——廣播和電視里，用在一切科學的量測和控制里。顯然它們也是現代化國防技術里很重要的工具。它們滲入我們生活的各个方面，因此我們也可以把這個時代稱為“電子時代”。

無線電技術和電子學是19世紀末葉新開辟的兩個科學園地。最初它們獨立地和比較慢地發展着，在1904年才第一次結合在一起，那就是把二極管應用到無線電接收機里。1907年三極管發明以後，使這兩門學科的結合更加緊密，並促使二者更快地發展。現在可以把它看作一個學科。由於它的廣泛應用，同時也促進了文化、教育、國防和整個國民經濟各方面的技術革新。

我們不可能列舉完無線電電子學的一切應用，因為它是無窮無盡的。只舉以下幾個例就可以看出它的應用範圍的廣泛。無線電報、電話、廣播、電視和雷達等是人所共知的。無線電已成了研究天文現象的新工具，星辰不但發出光，使我們在夜間看見它們，同時也發出無線電波；有一些星則完全不發光，只發無線電波。這樣，我們在任何時候，白天和黑夜都可以利用無線電觀測天象。這就是新興的射電天文學*。利用無線電波進行大地測量可以在瞬息間測得距離，準確度達到十萬分之

* 又叫做無線電天文學。——編者

一。物理探矿，特别是探测石油的很有效的方法，也依靠無線电电子学。在工业加工里，可以举出利用無線电波快速干燥木材和对金属構件进行加热和表面淬火的例子。無線电波使木材在湿的部分發热，因此可以保证从里面干得很透。用無線电波淬火，能使零件的表面硬得像玻璃，而内部仍保持原来的韌度。生理学家量我們的神經系統或是医生“看”我們心臟跳动的波形来进行诊断，也都要用無線电电子学。此外还可以举出許許多多的应用無線电电子学的例子，以上只不过是我們常見的一些。我們可以进一步說：任何一个自然科学或技术科学的研究室或实验室里，若是不用無線电电子学，它必定是落后的。

無線电电子学到底是怎样的一門学科？为什么它能做这么多的事呢？

很难来給一个学科下一个定义，我們也不想在这里这样作，不过大致指出它的范围，好使大家比較清楚地了解这本小册子将要講些什么。在無線电电子学里，研究电子的运动，特别是研究脱离原子的电子在真空中、气体里和金属里的运动形态，也研究失掉了电子或多得了电子的气体原子或分子(也就是离子)的运动形态。我們研究这些是为了能够了解关于它們的規律，好控制和应用它們。人工控制电子运动的主要方式是使它們变化和振盪。变化或振盪的速度可以从很慢到非常快，快到每秒鐘几千亿次。电子一动就是电流，变化就产生变化的电流，变化很快的交流就一定伴随着發生电磁波。因此在無線电电子学里也研究这些电磁波和电磁波沿着金属导綫、导管或絕緣体或在大气里或真空里的傳輸和傳播。利用这些来为人类謀福利，那就是無線电电子学的各种应用。

从根本上看，無線电电子学之所以能够作一般机械所不能作到的事情有以下几个主要原因：

第一是它能超越空間。电磁波可以穿过真空、大气和其他絕緣体傳播。由于大气里电离層的反射和散射，电磁波可以从某一点傳播到地球面上任何一点。对于快速运动和距离远的物体間，只有通过無線电才能进行联系。

第二是它特別快。普通真空管里的电子在十亿分之一秒就可以加速到每秒 10,000 公里。

和超声速的飞机相

比，后者要用几分鐘才加速到每秒鐘几百公尺。由此可見，沒法使机械的东西和电子来比快。再以电磁波来說，沒有任何东

西能达到电磁波的速度（每秒30万公里，也就是每秒可繞地球赤道轉七圈半）。

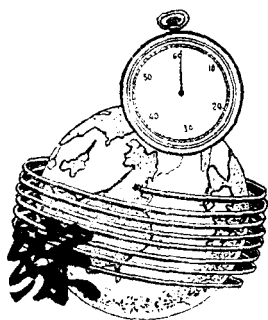


圖 2 电磁波的速度。



圖 1 电磁波的超越空間性。

第三是它特別灵敏。利用無線电电子学可以把極微小的信号放大許多倍，并把这信号从許多杂声里分开。能收到的最小信号相当于在月亮上点一根火柴照射在地球表面上一平方米上的功率*。显然这是任 何其他方法

* 引用弗·阿·利捷里尼可夫院士所举的例。

所不能比拟的。

第四是現在也可以得到很大的功率。以前有人把無線电电子学叫作“弱电”，这是因为最初只用几千分之一瓦，多也不过几瓦。但是現在就可以得到平均功率几百万瓦，在短时间里还可以得到几万瓦。

第五是处处可以用它。上面已經举出了一些应用的例子。它之所以能用得这样广泛，是因为只要把一个物理量变为电的信号后，就可以用無線电电子学的方法来放大、测量、记录或控制。扩音机用的傳声器是把声音变成电的信号的工具，光电管可以把光变成电，温差电偶可以把温度差变成电，在机器上貼上細的金屬絲就可以测量这个零件所受的拉力或压力……。实际上可以說没有一个物理量不能变成电的信号，經過放大，調制等，然后再变为同一或其他的物理量进行观测或控制。

第六是能得到非常高的精确度。用無線电电子学的方法能够得到極高精确度的時間标准——原子鐘。一座时鐘要是在一年的时间里差一秒鐘，它的精确度大約是三千万分之一。原子鐘的精确度可以达到一千亿分之一，也就是說这鐘在三千多年才不过差一秒鐘。高精确度还能在極短的时间里得到，例如測量相距30公里的距离时，無線电波往返只不过用万分之二秒。但是在这样短的时间里，却可以准确到十亿分之一秒。

把以上几个特点綜合在一起，我們就可以推知無線电电子学能应用到多广泛的范围，它又是怎样有力的工具了。

以下談談無線电电子学方面的新發展。

和其他的学科一样，無線电电子学一方面是在巩固和改进已有的园地，在另一方面开拓着新的园地。

60年来，無線电电子学的发展就是从掌握和运用較長波長的电磁波逐漸向短的波長进展。最初是利用波長为几千米的电磁波进行远距离通信。曾有一度人們認為波長愈長，傳播得愈远，比100米更短的波長就沒有什么用处了。但是在20年代就發現用100米以下的波長，只需要很小的功率就可以跨过大西洋。于是在20年代里就大力發展和应用了短波。研究証明，短波所以能傳播很远，是因为天空的电离層能“反射”短波。但是当波長縮短到10米以下时，就發現它們又不能反射回来了。因此認為比10米还短的米波段只能进行“視距”通信。虽然如此，米波在30年代还是得到了很大的發展，因为只有利用这样短的波長才能得到高質量的調頻广播和电视。

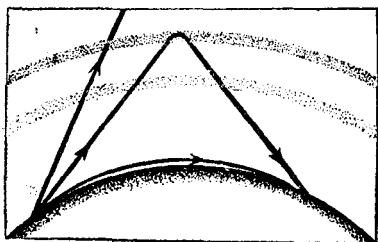


圖 3 無線电波的反射。

到了40年代，特別是在二次大战的时候，就把电磁波推到了研究分米波和厘米波。突出的应用是雷达。用它可以偵測几百公里以外的飞机。二次大战以后，在50年代里，更把电磁波推到了毫米波。

把电磁波展览是有非常大的意义的。我們知道光波也是电磁波。“可見光”的波長是从万分之三到万分之七毫米。光波里波長較長的是紅色的光。比紅色光的波長还長，但是人眼已看不見的电磁波叫紅外線。从可見光向波長較長的方面推展已經达到了几百分之一毫米的波長。这和無線电波方面的毫米波就相差不太远了。無線电波和光波的“会师”是很重要的，因为到那时人类就將掌握从很長波長的無線电波到可見光、紫外綫、

X 射綫……的全部电磁波。这不仅是对科学的好奇，我們要知道，对于大自然的了解必定会給人类帶來幸福。每一波段的电磁波都有它的特性，因此就一定可以找到它的用处。在寻找已开辟的波段的充分应用的同时，必須进一步开辟新的波段。

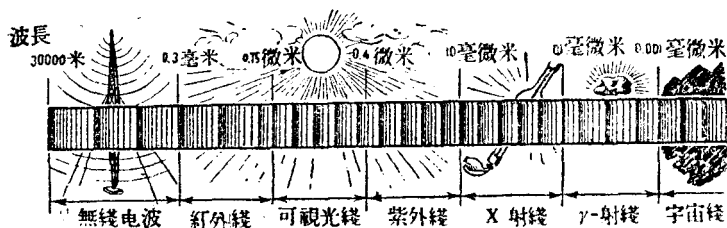


圖 4 电磁波的分类。

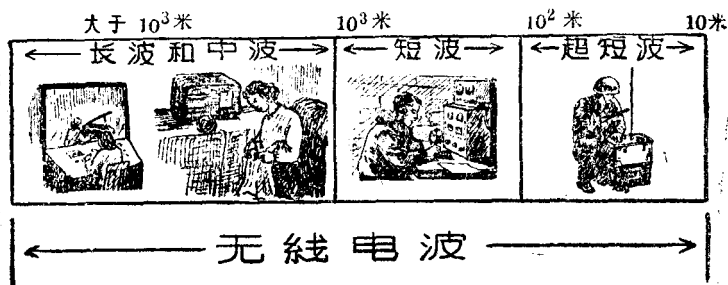


圖 5 各波段無線电波的用途。

我們看一看开辟毫米波段將引起什么效果吧！在一条大路上同时并行許多車輛，必須有很寬的路才不致彼此妨碍。通信也是如此。通一路電話要用一定寬度的頻帶，正如同通过一輛車要一定寬度的路面一样。电视佔的頻帶要比電話所需要的頻帶寬 2,000 倍。要是把电视比作一个兩公尺寬的車，一路電話就仅仅相当于一个厚紙片那样寬，如果我們只利用相当于 50 米

波長以上的波段，這相當於一條僅有 6 尺寬的路，那麼，就只能通過一個電視節目或 2,000 路電話。一米以上的全部波段就有 50 個通電視的信路。但是一毫米以上的全部波段就可以同時通 50,000 個電視，按電話的信路計算就有一億路了。這就是為什麼只有用米波或更短的波才能廣播電視。我們現在的電話綫最多還不過通 12 路。不久我們就需要同時通幾萬路電話，這就非

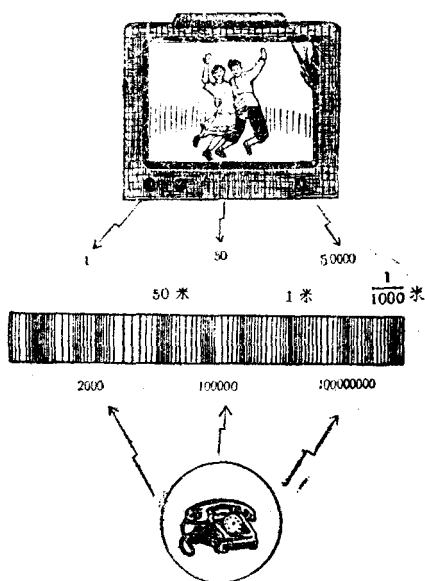


圖 6 甲 應用不同頻帶的電視和電話數目。

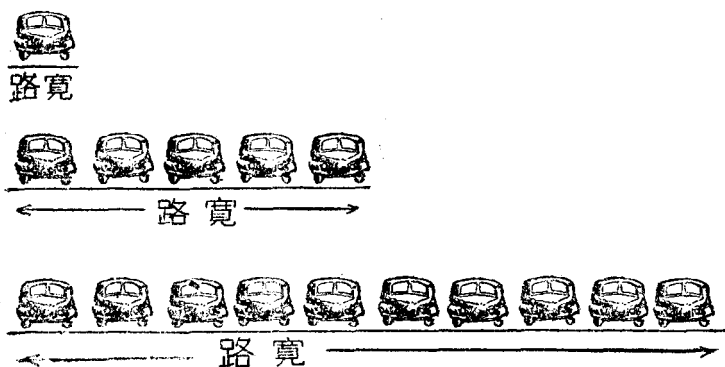


圖 6 乙 用車輛和路寬說明頻帶的示意圖。

用厘米波或更短的波不可了。向毫米波进展就相当于把路修到100公里宽。将来还要修1,000—10,000公里宽的路面。

为了载运更多信息的另一个方法是把車輛作得更窄，同时要求它载运同样多的貨物。完全有可能把电视所用的頻帶压缩到原来的百分之一，同样也可压缩电话的頻帶。关于压缩頻帶和一般的通信理論是在“信息論”里研究，但是具体地解决这些問題就是無線电电子学的事。近年来在这些方面已經得到了很大的成績。

为了發展毫米波首先要能够發生这样短的电磁波。二次大战时已制作了瞬时功率达到100千瓦，平均功率达到1,000瓦的厘米波真空管。近些年来把功率又向前推进了几百倍，即瞬时功率达到了几亿瓦。用同类工作原理的真空管已能在毫米波段工作了。

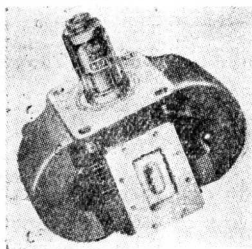
事实上很明显，要想發展毫米波，必須研究利用不同工作原理的电子管或方法。用旧有的方式，如磁控管、速調管等，就需要把真空管作得非常小。这不仅要求極高的精密度，同时也限制了能得到的功率。近年来發展了几种不同的新方法，但是还没有很滿意的結果。沒有疑問，不久將会有大的进步。

發生厘米波的真空管，不仅用在雷达和微波通信里，核子物理的研究也利用它得到非常高速度的粒子。最大功率的速調管就是为这个目的制作的。

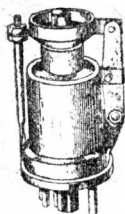
旧有的为了發生和放大分米波、厘米波的真空管也得到了很大的改善。已往不能用一个真空管發生波長很不同的电磁波——波長的改变只不过十分之几。現在就有一种行波管，它



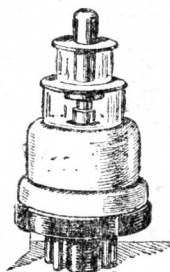
陶瓷管



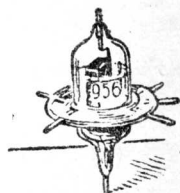
磁控管



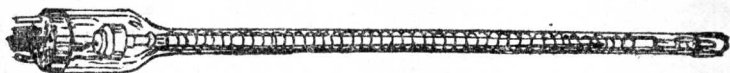
速調管



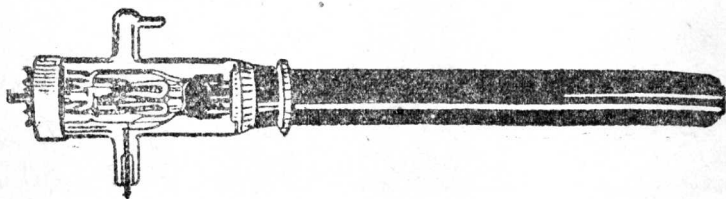
灯塔管



象突管



行波管



發射管

圖 7 各样的真空管。

的波長改变范围达到了1:5。

用新的制造工艺，普通类型的真空管可以作得非常小，因此使它能够在厘米波段工作。这就是超小型的陶瓷管。

在發展微波管的同时，科学家也研究微波在大气里傳播和沿着不同波导傳輸的性質。人們最初認為大約比10米还短的波長不能从电离層反射回来，因此利用超短波进行通信，最远的距离也不能超过所謂視距，也就是說一般在几十公里以內。但是当發射的功率和接收的灵敏度都提高了，就發現米波也能远在視距以外接收到。最远的可靠通信距离已經可以达到几千公里。这并不是說已往認為米波不能从电离層反射回来是錯誤的，現在所以能實現超視距米波通信，是依靠从电离層的散射。当米波射到电离層时，絕大部分的能量都射透过去；可是电离層对于米波來說并不是很均匀的，米波能从这許多不均匀的地方向各方面散射，正如同空气里的塵土可以使光綫散射一样。散射的能量是很小的。但是現在的無線电电子学技术完全可以發現并且可靠地接收这样微弱的能量，因此米波通信就不再局限于視距了。

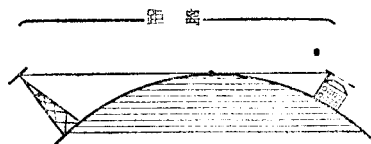


圖 8 視距。

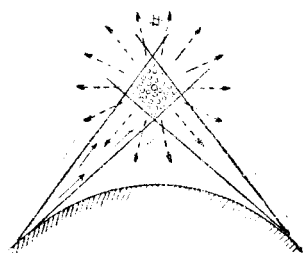


圖 9 电波的散射。

不但米波可以超出視距，分米波、厘米波也可以超出視距进行通信。这样就能把通信距离增長到几百公里。因为在大气对流層里也有許多不均匀的“点”，这些点形成散射电波的中心。但是因为对流層比电离層低，所以經過散射后回到陆地的地点距离發射台也近。

米波与分米波和厘米波的超視距傳播，为利用它們作远距离通信打下了基础，实际这样的多路通信已經实验成功，通信距离在 300 公里以上。为了更好地了解电离層和大气的結構，理論和实验的研究是必要的。

在 30 年代就有人研究把分米波通过金屬管或絕緣体 进行傳輸。这样的傳輸比用普通的平衡綫或同軸電纜的耗損小得多。到了 40 年代，金屬波导管已大量用在雷达系統里，把高频送到天綫。但是用作長距离的傳輸，还嫌耗損太大。现在，發現利用表面波，經過特殊的波导，耗損很小，并且能通过非常寬的頻帶——可以同时傳送几百个电视节目。鋪設長距离的金屬管当然是相当貴，但是經過它可以同时傳送几万路电话和許多路电视，因此还是值得的。为实现这个目的，仍然需要作許多研究、实验、解决制造工艺和防止导管腐蝕等問題。

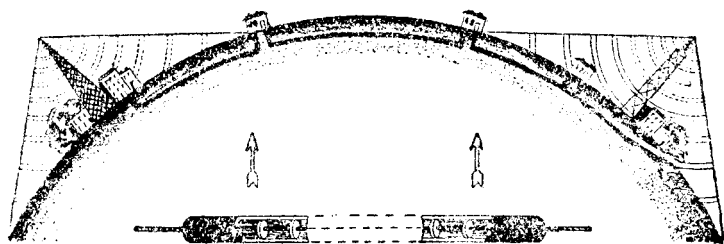


圖 10 同軸電纜。

現在已經大量採用的遠距離超短波通信的方式是無線電接



圖 11 波導。

力站。當發送站和接收站間的距離遠大於視距時，在它們中間每隔50公里左右就安置一個接力站，它從一方面接收到信號，經過放大，立刻向另一方面的接力站發出去，這就像接力賽跑一樣把信號順序傳遞過去。這樣的接力超短波通信可以同時傳送幾百路或更多的電話，也可以傳遞電視。採用這樣的微波接力網，可以使電視節目同時在全國播送，也可以用它組成全國性的通信網。接力

站一般都是安設在高的山崗上，因此多是做成自動的和無需人照管的。

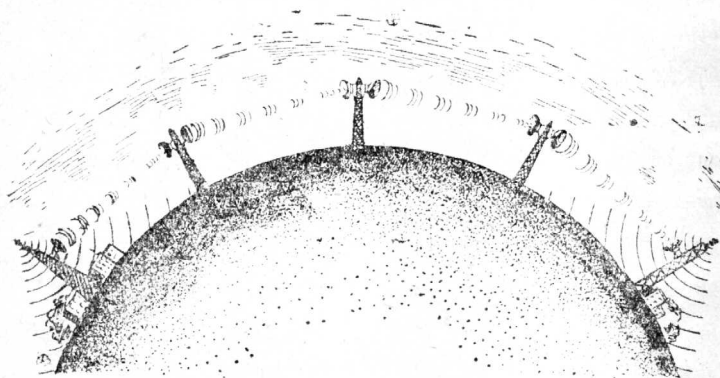


圖 12 微波接力。

從上面的事實可以看出，原來認為是限於視距的微波，現

在可以用三种不同的方法使它达到很远的距离——那就是無綫电接力站、經過波导傳輸和利用散射的傳播。这三种方法有的已經用了十几年，有的剛开始試用，有的尚在試驗阶段。它們之間还在进行競賽，很可能將來三者并存。

应当指出，由于微波的波長非常短，不用很大的天綫就可以得到很高的方向性，这和一般的長波或短波無綫电不同，保密的問題就比較簡單了，彼此間的干扰也小了很多，甚至沒有了。利用波导傳輸，从保密来看比平衡電纜还好得多，傳送能力也比接力站大几百倍。在这三种方法里，它的前途最大。利用散射效应，可以实现超視距的电视广播。

雷达是在二次大战期間發展起来的。它的运用原理是这样的：雷达站設有發生強力超短波或微波的設備。这种無綫电波并不是連續不断地發射，而是經很短促的瞬时(約百万分之一秒)發射，在兩次發射中間有較長的停息時間(約千分之一秒)。这样，無綫电波的發射有些像人的脉搏一冲一冲地跳动，所以叫作脉冲。这种無綫电波也不是向各方面發射，而是用方向性很强的天綫使無綫电波成为很窄的波束，向某个一定的方向發射出去。这种电波以每秒30万公里的速度前进，如果电波在傳播的途中遇到能够反射这种电波的物体，例如飞机或船舶，它就被散射，其中一部分就回到天綫。發射出去既是脉冲，返回天綫的也是脉冲，不过很微弱就是了。显然，从脉冲發射出去到反射回来所用的時間乘以30万公里，就等于物体与雷达站距离的二倍。例如15公里以外的地方有一架飞机，脉冲来回需要的時間就是万分之一秒。用一种电子管和有关的綫路能够很准确地測量出这样短的時間(实际可以測到一亿分

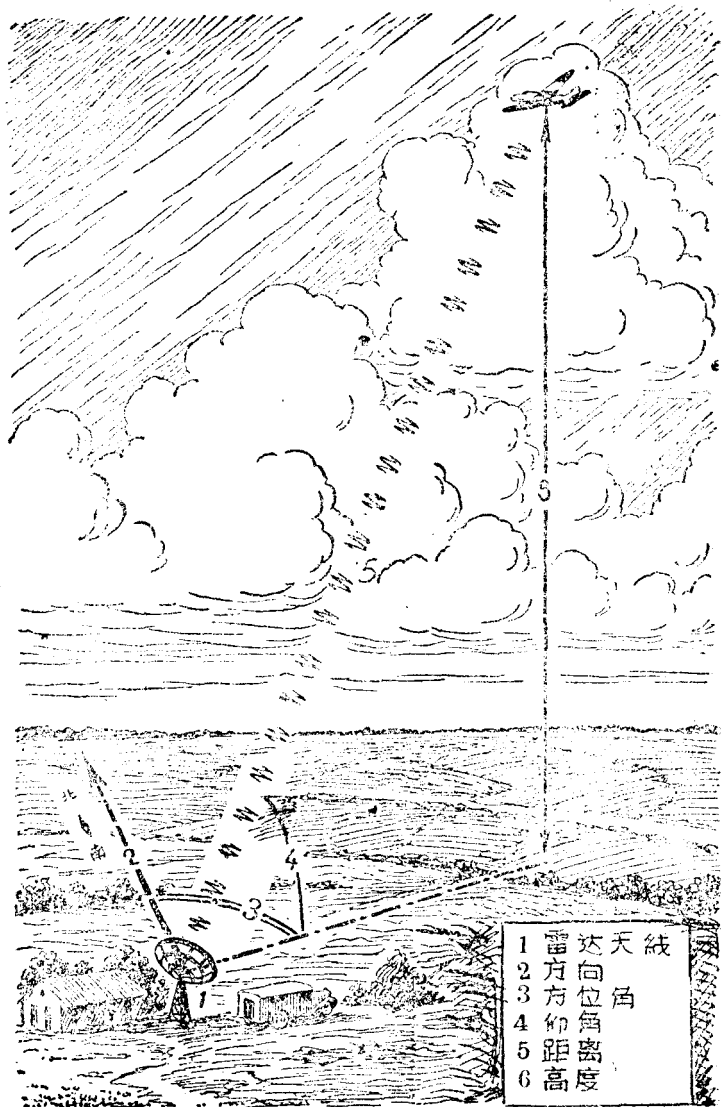


圖 13 雷达。