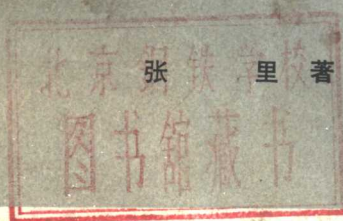


无线电电子学知识丛书

雷达



人民邮电出版社

无线电电子学知识丛书

1

雷 达

张 里 著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书是“无线电电子学知识丛书”中的一本。通俗介绍雷达的工作原理，各种雷达工作方式，雷达的应用，雷达的目前水平、新技术和发展趋向等。可供雷达有关部门的管理人员和初级技术人员、非雷达部门的工程技术人员和无线电爱好者阅读。

雷 达

著 者： 张 里

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者： 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1964年 12 月北京第一版

印张 3 16/32 页数 56

1964年 12 月北京第一次印刷

印刷字数 78,000 字

印数 1-11,150 册

统一书号：15045·总1442—无411

定价：(科 4) 0.38 元

編者的話

无綫电电子学是一門发展极为迅速的科学技术，在我国社会主义建設的很多方面都有广泛的应用。在今天，从事无綫电电子学的专业队伍正在不断扩大，各种工、农业生产和科学实验中要求学习和运用这一門技术的人也日益增多。为了使无綫电电子学更好地为我国社会主义建設服务，加强普及无綫电电子学知識已經是一件十分迫切的事情。为此，中国电子学会决定成立“无綫电电子学知識丛书”編輯委员会，組織編写这套丛书，分册介紹本学科的各项基本知識、实际应用和发展趋向。我們希望努力做到概念正确清楚，理論联系实际，讲述深入浅出。主要讀者对象是无綫电电子学方面的管理干部和初級技术人員，其他专业的电子技术人員，以及有一定基础的无綫电爱好者。

我們热烈希望广大讀者共同推动这一項工作，提出需要編写哪些书籍，并对已出版各书的内容和写法批評指正。来信請寄北京东四6条13号人民邮电出版社图书編輯室。

“无綫电电子学知識丛书”編輯委员会

前 言

雷达诞生在第二次世界大战前夕，在大战中得到了实际应用。近几年来，雷达的发展极为迅速，应用日益广泛。我们经常可以在国防上、科学研究上、航空航海上以及日常生活中，遇到雷达这个名词。究竟雷达是怎么回事，它有哪些用途，雷达技术中的主要问题和发展趋向怎样，大家都很关心。因此对这些問題作个简要介绍，是很有必要的。

“雷达”这个名词，是从外文翻译过来的。原意为“无线电探测与测距”，又叫“无线电定位”。意思指的是：利用无线电技术来探测目标，并对目标的位置进行测量。

在雷达没有发明以前，人们要探测敌人侵袭的飞机，只好在国境线上，或远离城市要塞的地方，拿着听音器，用人的耳朵来静听。如果发现有飞机的声音，立即向防空机关报告，以便发出警报和采取防卫措施。这种探测敌机的方法，往往在发现敌机后，没有充分的时间进行准备和采取措施。如果飞机的速度快了，将造成措手不及。有了雷达以后，人们便可以及时发现远在国境线以外数百公里的敌机，从而取得更多的准备时间，采取必要的保卫措施。

在黑夜或大雾的气候环境中，船舶的领航驾驶人员，看不见海洋中的礁石，无法保证安全航行；也无法了解港湾里的情况，不能入港；飞机驾驶员看不到机场的跑道，无法安全着陆。有了雷达以后，借助雷达指示器，可以看到海洋中礁石的位置、了解港湾里船舶停置情况、看到机场跑道的位置，从而可以在恶劣的气候条件下保证船舶安全航行和飞机安全着陆。

雷达能用来探测敌机、礁石等等物体并测量其位置，因而

受到了人們极大的重視。有人把雷达比作人的眼睛，雷达的重要作用，也就可想而知了。

最近十年来，由于航空技术、火箭技术的发展及宇宙航行的需要，雷达也随着有了惊人的成就。現代雷达，不但可以发现空中的飞机及測量它的座标（包括距离、方位角与高低角），还可以用来控制炮火向敌机瞄准射击，跟踪人造卫星及宇宙飞船。雷达在国防、国民經济以及科学研究各个方面，用途极为广泛。发展和掌握雷达技术，对保卫我国社会主义建設事业，使我国国防現代化、科学技术現代化，有着重要的意义。

雷达是現代无綫电电子学領域中一个重要的分支。它的发展，和其他尖端科学技术一样，并不是孤立的，而是与許多科学技术部門的成就分不开的。

为了研究雷达技术，必須掌握現代无綫电电子学。特別是，无綫电电子学領域中的脉冲技术和微波技术，是雷达技术的基础。为了制造出現代化的雷达設備，必須依靠冶金、化工、机械制造、电子器件制造等輕、重工业的发展。为了更好地設計和充分發揮雷达的作用，必須研究現代軍事技术与雷达的使用环境条件等特征。雷达技术还在不断地应用自动控制、数学及近代物理学中的許多理論与成就，向更高的水平发展。

在本书里，将首先介紹雷达的工作原理及其組成部分，列举几种雷达工作方式的例子。接着簡要地介紹雷达在国防、国民經济及科学研究中的应用。由于雷达在軍事上的重大作用，敌人千方百計地想破坏我們的雷达，使雷达在战役中失去作用。这种破坏雷达与防止雷达被破坏的无綫电斗争，形成一个极为复杂而尖銳的斗争局面。破坏对方雷达正常工作性能的措施叫反雷达。反雷达的主要手段是对雷达进行偵察与干扰，在反雷达的一章中，对此作了重点介紹。

在本书的末一章中，作者就雷达发展现状与将来的趋向，提出了几个方面的问题来讨论。这些问题是：提高雷达作用距离、提高雷达测角精度和提高雷达抗干扰能力，使雷达测量距离更远、角座标测量更准、雷达性能更好；现代雷达与电子计算机相结合，将发挥更大的作用，使雷达更加富有生命力；发展雷达天线是雷达技术中的主要问题之一，其中“相控阵”雷达天线，是极为引人注意的问题之一；应用现代技术理论，使雷达的设计具有更高的水平；光波雷达是将来宇宙航行中的重要工具，它的出现将成为雷达技术发展中的重大事件。

作者谨向支持和帮助本书编写的许多同志致以衷心的感谢。书中借用了许多国内外文献和书籍上的材料，也在此声明。本书错误和不妥之处一定很多，希望读者提出批评指正。

作 者

目 录

編者的話

前言

一、雷达的基本原理	1
利用无綫电波的反射現象发现目标	2
利用天綫的方向性測量目标的方位角及高低角	7
利用电波传播的已知速度測量目标的距离	12
利用目标发出的无綫电波測量位置	18
二、雷达的組成部分	20
天綫	22
天綫轉換开关	28
高频振盪器	29
調制器与同步器	29
接收机	30
雷达指示器	32
天綫传动装置	36
三、雷达的几种工作方式	37
脉冲雷达	39
連續波調頻雷达	42
脉冲多普勒雷达	43
V-形波束雷达	46
圓錐扫描雷达	49
单脉冲雷达	53
脉冲压缩雷达	56
复合雷达	58
四、雷达的应用	60
发现侵入領空的敌机	60

控制高射炮火	62
控制防空导弹	64
探测敌人炮兵阵地位置	66
雷达用作炮弹引信	67
敌我识别	68
测量飞机航行高度	68
引导飞机着陆	69
机场调度	70
船舶导航	71
气象测量	72
测绘地图	73
天文观测	73
为工农业生产服务	74
在人造卫星跟踪与宇宙航行方面的应用	74
五、反雷达	75
对雷达的侦察	76
对雷达的干扰	79
消极干扰与积极干扰	80
无止境的雷达斗争	82
六、雷达发展中的几个问题	83
提高作用距离	84
提高测角精度	87
提高抗干扰能力	90
雷达与电子计算机结合	91
发展雷达天线	94
应用现代技术理论	98
研制光波雷达	101
結束語	103

一、雷达的基本原理

雷达技术非常复杂，但是雷达的基本原理，也和其他科学技术一样，是不难理解的。首先让我们举一个回声测距的例子来说明。

我们走进山谷中，面向高山响亮地呼喊，声音从我们呼喊的地方出发，向着高山的方向传播去，过了不久，声音又从高山那边反射回来，传到我们的耳朵里，于是我们听到了回声。倘使我们记录了声音从“出发”到“返回”所经过的时间，又知道声音传播的速度，那么人与山的距离，就可以很快地算出来了。

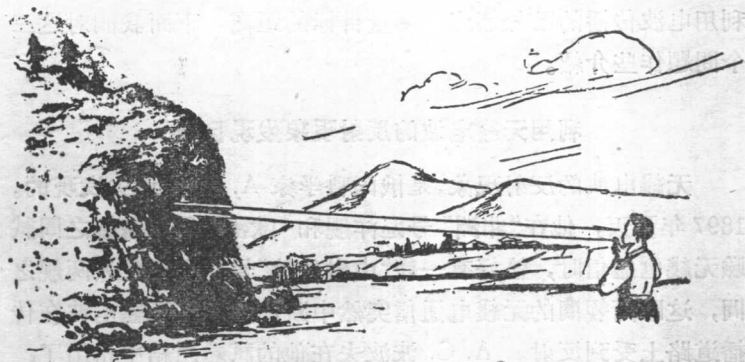


图 1 用回声来测量距离

在正常的条件下，声音在空气中传播的速度约为 330 米/秒。也就是说，一秒钟内声音约走 $\frac{1}{3}$ 公里。声音从出发点传播到高山那里，又从高山那里反射回来，共走了两趟的路程。倘使我们记录的时间是 4 秒钟，那么声音在两趟路程里共走了 $330 \text{ 米} \times 4 = 1,320 \text{ 米}$ ，所以一趟的路程为 660 米，这就是人与高

山相隔的距离。

雷达测量距离，也是类似道理。所不同的是雷达用无线电发射机和天线发出无线电波，利用无线电波的反射现象。而不是由人来呼喊和利用声音的反射现象。

用声音来测量人与山之间的距离，必须是面向着我们所测量的目标呼喊。如果用双手在嘴旁合成一个圆筒形喇叭，就可以使声音集中地朝向高山那边传播过去，不致使声音扩散，这样可以使距离测得远些。

雷达的基本原理，和上面所讲的回声测距一样。总括起来有三个特征：（一）利用目标对无线电波的反射现象发现目标；（二）利用天线的方向性，测量目标的方位角及高低角；（三）利用电波传播的已知速度，测量目标的距离。下面我们对这三个问题作些介绍。

利用无线电波的反射现象发现目标

无线电波的反射现象，是俄国科学家 A. C. 波波夫发现的。1897 年夏天，他在“非洲”号巡洋舰和“欧洲”号运输舰之间试验无线电通信时，恰好有一艘“中尉依林”号巡洋舰驶入两舰之间，这时两舰间的无线电通信突然中断，证明了无线电波在传播道路上受到反射。A. C. 波波夫在他的试验总结中指出了：目标对无线电波的反射现象，将为无线电波的应用开创新的有可能。这一重要发现，为雷达及无线电导航奠定了理论基础。

无线电波在传播的途中，遇到障碍物时，就要反射回来。这种反射现象的物理过程是相当复杂的。我们可以这样来理解：高频率的无线电波传播时，遇到了导体后，在导体上产生相同频率的高频电流，这种电流又产生无线电波，电波再向空中辐射。再辐射的电波根据导体的性质不同，辐射的方向和

强弱也不一样。有的电波又传播回到了原来的位置，有的电波朝另外的方向传播去。这种现象叫无线电波的反射现象。

无线电波有长波、中波、短波、超短波等类别。它们是根据波长的不同来划分的。从表 1 可以看出各种不同波长的尺寸。雷达所用的波长，大都是超短波。

表 1

名 称		波 长
长	波	1,000 米 以 上
中	波	1,000—100 米
短	波	100—10 米
超 短	波	
1. 米	波	10—1 米
2. 分 米	波	1 米—10 厘米
3. 厘 米	波	10 厘米—1 厘米

无线电波从大地、海洋、湖泊、山林、金属、有机体等物体表面反射回来的强度，将因物体的表面特性、大小、形状及波长的不同而有很大差别。金属及良好的导体，反射电波的性能好。长条形状的金属反射体，它的长度等于半个波长，或半个波长的倍数时，反射性能最佳。

电波的反射现象与光的反射现象极为相似。对于光波的情况，当光线射到镜面时，遇到镜面反射体，光线将朝另外一个方向反射出

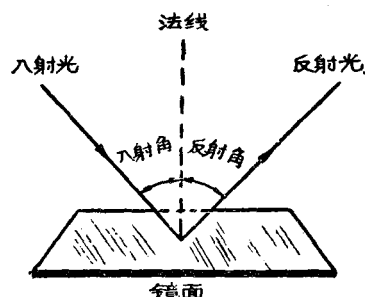


图 2 光的反射现象

去。光綫的入射角等于反射角（图2）。在反射点垂直于鏡面的直綫，叫做法綫。入射光、反射光及法綫都在同一个平面上。如果入射角很小，那么反射角也很小。当入射角等于零时，入射光与法綫重合，那么反射光就朝原来入射光的方向反射回去。

当反射面不是鏡面，而是一个粗糙的表面时，那么就不会产生鏡面反射現象。反射光将无規則的向四面八方反射出去，这种反射現象，叫做散射。产生散射現象时，只有一小部分光反射回原来的方向去。

无綫电波的反射現象，与上述光波的反射現象相似。图3表示电波射向地面所产生的反射現象。当地面平滑时，反射現象近于鏡面反射。地面不平滑时，将产生散射現象。雷达无綫电波所遇到的物体可能是飞机、汽車、坦克、軍艦、树林、建筑物等，它們的表面不是很平滑的，这些目标所产生的反射現象是很复杂的，几乎都是散射現象。一架飞机，它由許多不同几何形状的表面所組成，对各种波长，在各个方向上，反射波的强弱也不一样。当飞机在空中飞行时，发生左右搖摆，上下顛簸，情况就更加复杂了。要計算飞机表面向各个方向反射电能的大小，是非常重要的。这只能依靠試驗的方法来測量。图

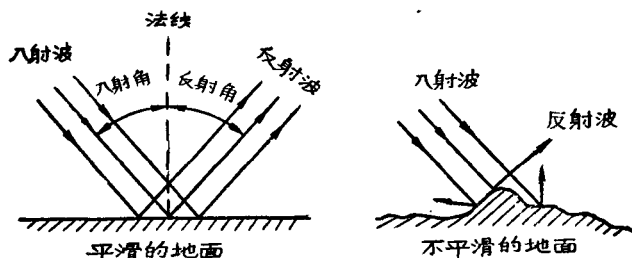


图3 电波射向地面的反射現象

4 表示一架飞机向四周反射无线电波的大小。从各个方向入射到飞机上的电能，向原来方向反射的大小相差是很大的。这种反射强度的剧烈变化，对雷达的接收指示设备及自动跟踪系统，都有着极为不利的影响。

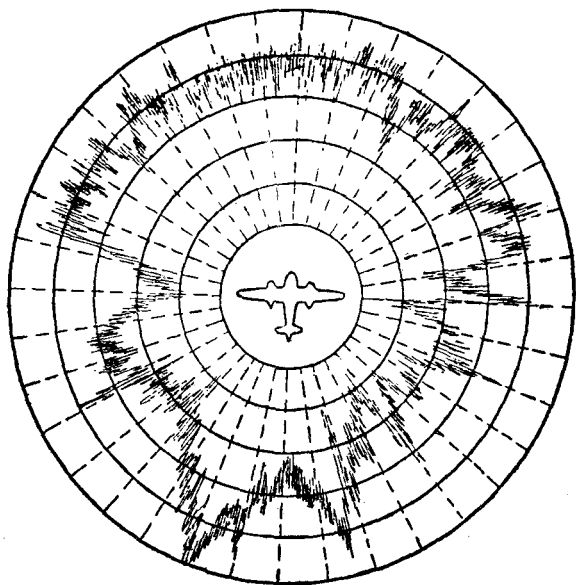


图 4 飞机对无线电波的反射特性

一般地说，物体面积愈大，反射电能愈强。反射电能的强弱，在雷达技术中，用有效反射面积的平方米数值来表示。所谓有效反射面积，可以理解为一个垂直于电波传播方向的面积，这个面积所反射的电能与原物体所反射的电能相等。通常，我们称被探测的物体，叫做雷达目标，或简称目标。目标的有效反射面积，较实际的几何面积要小。目标的有效反射面积数值愈大，雷达就能在更远的距离上发现它。一架歼击机的

有效反射面积比轰炸机小，因此同一架雷达能发现歼击机的距离，要小于能发现轰炸机的距离。

几种目标对雷达的有效反射面积，根据许多科学家测量的结果，大致是表 2 的数值。

表 2

目 标 名 称	有效反射面积 (平方米)
洲际导弹的弹头	1
潜水艇及潜望塔	5
汽车、坦克	7
歼击机	10
中型轰炸机	25
重型轰炸机	50
超重型轰炸机	150
战斗舰	1,000

无线电波在传播中遇到目标产生反射的现象，是雷达工作的基础。利用无线电波的反射现象，可以发现在电波传播路程上，有无目标出现，并且还可以对目标反射现象作进一步的研究，以得到有关目标的其他特性。如飞机的架数，机型的类别，以及飞行的姿态与速度等。

仅知道有没有目标，对我们的要求来说是很不够的，还必须知道目标相对于雷达站来说是在哪个方向上，高度是多少。也就是它的方位角和高低角是多少，同时也必须知道目标和雷达之间的距离有多远。下面我们来谈雷达测量目标的方位角与高低角的问题。再下一节，我们再谈雷达测量目标距离的问题。

利用天綫的方向性測量目标的方位角及高低角

夜間，我們手拿着電筒走路，如果照見前面有電綫杆，我們就繞過它，如果照見有一個小土堆，我們就抬高腳步走。為着弄清道路旁還有些什麼景物，我們可以四面八方地照一照。電筒中裝設了聚光鏡，可以把光綫聚成一個光束，朝一個方向射去，這樣光綫集中，照得就遠些。

電筒將光綫聚成一個光束照射出去，所照到景物的方向，也就是電筒光束所指的方向。雷達天綫將電波聚成一個無線電波束，向着目標方向照射去，可以使電波走得遠。如果哪一個方向上有目標，無線電波就被目標反射一部分回來，我們收到反射回來的無線電波後，就知道那裏有目標存在。目標的方向，就是無線電波束所指的方向。雷達測量目標的方向，和電筒照射景物的道理是一樣的。

目標的座標，我們常用它距雷達的距離和雷達所指的方位角及高低角來表示。目標到雷達的距離稱為傾斜距離，或簡稱斜距（圖5），這很好理解。但是，什麼叫方位角和高低角呢？在指南針上我們可以讀出北方來，從北方起，順時針轉，到達目標方向時所轉過的角度的叫做方位角（圖5）。正東的方位角為 90° ，正南方的方位角為 180° ，其餘類推。在水平計上，我們可以讀出水平方向，目標方向和水平方向的夾角，叫做高低角（圖5）。在水平方向以上稱為仰角，在水平方向以下稱為俯角。很明顯，知道了斜距、方位角和高低角，目標的位置就完全確定了。

對空中的目標來說，知道飛行的高度是很重要的。如果我們測得雷達至目標的距離 D ，又測得目標的高低角 ε ，利用簡單的三角公式，就可以算出飛機的飛行高度（與地面垂直的高

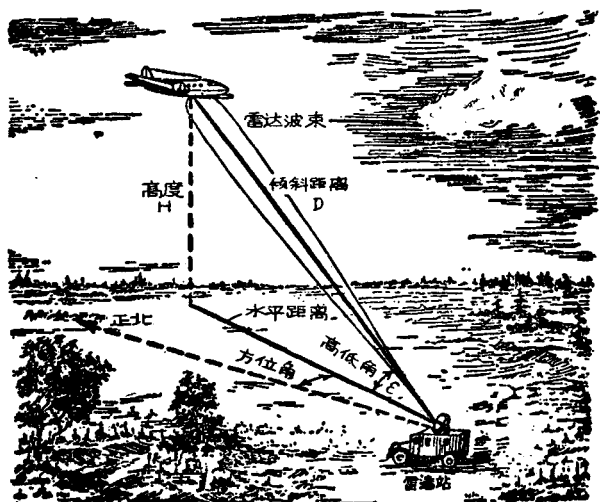


图 5 目标位置的确定

度) H 为

$$H = D \sin \varepsilon.$$

另外, 从地面上正处在飞机下面的那一点起到雷达站的距离, 叫做水平距离。

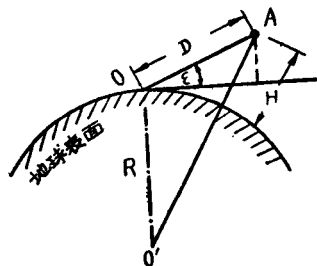


图 6 雷达测量目标的高度

地面的真实高度时, 应该为:

$$H = D \sin \varepsilon + \frac{D^2}{2R}$$

在实际情况下, 由于地球是弯曲的球面, 雷达、飞机及飞机垂直向地面上看的位置, 连接起来并不是一个直角三角形(图 6) 按上述公式来计算高度, 并不太确切。算出的高度还不是飞机离地面的真实高度。在计算飞机离