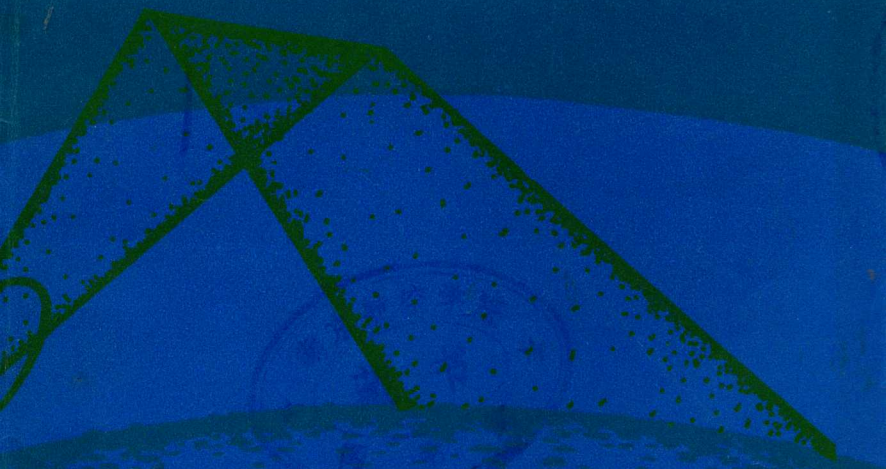
沈育廉 编译

超视距雷达



電子工業出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

TN95-49
1003

超视距雷达

沈育廉 编译


30321632



電子工業出版社

513688

内 容 提 要

本书是参考国外书刊资料编写的科普性读物，反映了超视距雷达的发生、发展、目前的技术水平及其对国家防御的重要意义。书中叙述对超视距雷达有重要影响的电离层特性、短波传播特点以及超视距雷达目标的性质；与微波雷达比较说明超视距雷达原理特点，如测距、测角、有效距离的预测、测量精度；具体介绍国外从五十年代到八十年代初研制成功的各种超视距雷达设备。

本书可供从事雷达专业的军队干部、有关的科研工作者、工程技术人员及有关院校师生参考。

超 视 距 雷 达

沈育康 编译

责任编辑：王昌喜

*

电子工业出版社出版（北京市万寿路）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
山东电子工业印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：2 1/2 字数：56千字
1984年3月第1版 1984年4月第1次印刷
统一书号：15290·26
印数：1—3200册 定价：0.34元

前　言

超视距雷达的作用距离超过了视距，在军事应用上有重要意义。科学技术发达的国家，早在五十年代就开始研究超视距雷达。有些研制成的样机已经投入实际使用。为了使广大的雷达专业人员了解国外雷达动态和雷达技术发展情况，特将近年来收集的有关超视距雷达的材料汇编成册，以便于阅读参考。本书共分三章。第一章，介绍关系到超视距雷达性能参数的电离层特性、短波传播特点、目标性质等。第二章，与微波雷达比较说明超视距雷达的原理、特点。第三章，收集了美国从五十年代到八十年代初研制的各种超视距雷达实例。由于编者的水平有限，本书可能还有许多缺点和错误，希望批评指正。

本书曾请郦能敬同志审阅，在此深表感谢。

编　者

1983.12.

目　录

第一章　概论……（1）
§1-1　电离层和短波传播特点……（7）
§1-2　电波轨迹曲率……（11）
§1-3　双折射……（14）
§1-4　电离层散射特性……（14）
§1-5　地面对短波的散射特性……（15）
§1-6　超视距雷达目标……（17）
第二章　超视距雷达原理……（22）
§2-1　超视距雷达的目标坐标……（24）
§2-2　超视距雷达的有效距离……（27）
§2-3　超视距雷达作用范围的预测……（29）
§2-4　超视距雷达角坐标的测量……（34）
§2-5　超视距雷达的设计特点……（36）
第三章　超视距雷达和电离层探测仪……（45）
§3-1　超视距雷达……（46）
§3-2　电离层探测仪……（59）
结束语……（72）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一章　概　论

目前，世界上许多国家的防空体系防中空、高空目标的能力比较强，但是对付低空目标的能力却相当薄弱。因为地面的微波预警雷达有其固有的弱点。(1) 从地面或海面反射回来的杂波干扰极强，可能将有用信号完全淹没；(2) 由于地球曲率关系，雷达视距受到很大限制；(3) 地(海)面反射波的干涉作用会造成低仰角盲区。另一方面，低空目标即使被雷达发现，它从被发现点到攻击点的飞行时间只需数十秒钟，防空指挥机关往往已经来不及指挥防空武器实施反击。为了加强低空防御，争取有充裕的战斗准备时间，各国正在采取各种措施，其中主要的有：(1) 采用动目标显示、动目标检测等先进技术，发展高性能的微波低空雷达；(2) 将预警雷达改装到大型飞机上，组成预警机，以增大发现低空和超低空目标的距离；(3) 研制超视距雷达，克服雷达视距的限制。超视距雷达的作用距离远达千里，可以看到无线电视距以外的低空目标，在战术使用上有很大潜力。某些科学技术发达的国家，早在五十年代就已开始研究超视距雷达。

据外刊报道，苏联现在已拥有三部后向散射超视距雷达。一部设在明斯克附近的戈梅尔，一部设在高加索的尼古拉耶夫附近，一部设在远东。

美国从五十年代开始研究以来，已经制成6～7种超视距雷达。最近几年又在缅因州积极试验鉴定新的后向散射超视距雷达。

本书将对超视距雷达的工作原理、与其有关的电离层特

性、国外超视距雷达实例以及配合超视距雷达工作的电离层探测仪等作一介绍。

超视距雷达，又叫超地平线雷达，工作在短波波段，能探测无线电视距以外的目标，如超远程低空飞机、刚刚发射的弹道导弹、舰船等。

微波雷达工作在微波波段。它将波束直接射向目标，以此探测目标坐标。超视距雷达则工作在短波波段，或者说高频段（3～30兆赫）。短波不能穿透电离层。超视距雷达是把短波波束射向电离层的某一反射区，利用电离层对短波的反射来探测目标（图1-1）。若波束的仰角和工作波长选择得

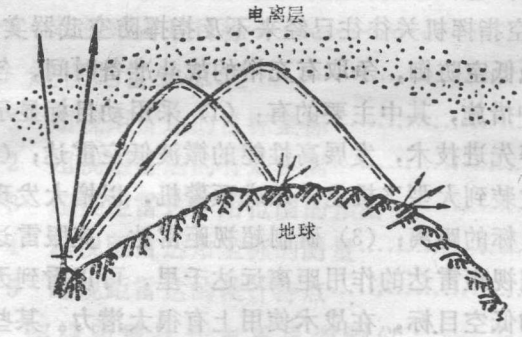


图 1-1　利用电离层的反射探测目标
——主波路径
- - -回波路径

当，可使电波经电离层反射后传播到无线电视距以远的目标上。电波遇到目标便发生散射，部分后向散射波又经过电离层返回雷达天线。对于超视距雷达来说，电离层极其重要，所以短波超视距雷达有时又称为电离层雷达。

超视距雷达的探测范围以地面和电离层为界（图1-2）。

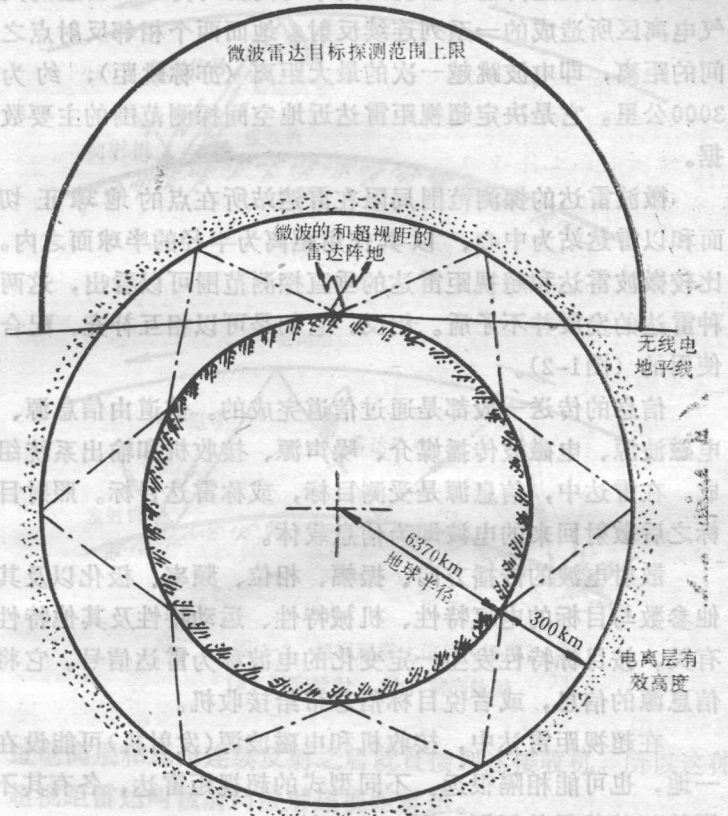


图 1-2 微波雷达和超视距雷达的探测范围

超视距雷达发射的电波是经电离层折向地面而到达目标的。电波经电离层反射，折向地面，在地面因地形起伏和电气特性不均匀而发生散射。部分散射波散射到更远的电离层，重新被折回地面，又为地面再次散射，从而形成跳越传播。

所以，对于利用短波工作的超视距雷达来说，地球不是障碍。短波的跳越传播可以说是由平均高度约为300公里的大气电离区所造成的一系列连续反射。地面两个相邻反射点之间的距离，即电波跳越一次的最大距离（亦称跳距），约为3000公里。它是决定超视距雷达近地空间探测范围的主要数据。

微波雷达的探测范围局限在雷达站所在点的地球正切面和以雷达站为中心、以其作用距离为半径的半球面之内。比较微波雷达和超视距雷达的垂直探测范围可以看出，这两种雷达的发展并不矛盾。相反，它们是可以相互补充，配合使用的（图1-2）。

信息的传送一般都是通过信道完成的。信道由信息源、电磁波源、电磁波传播媒介、噪声源、接收机和输出系统组成。在雷达中，信息源是受测目标，或称雷达目标。照射目标之后散射回来的电波即为信息载体。

散射电波的传播方向、振幅、相位、频率、极化以及其他参数与目标的电气特性、机械特性、运动特性及其他特性有关。按目标特性发生一定变化的电波称为雷达信号。它将信息源的信息，或者说目标信息带给接收机。

在超视距雷达中，接收机和电磁波源（发射机）可能设在一地，也可能相隔很远。不同型式的超视距雷达，各有其不同特征的信号传播图（图1-3）。

在现代的超视距雷达中，雷达信号是按探测信号的回归路径到达接收机的，即按相反的方向通过电离层传播回来的〔图1-3(a)〕。这种雷达叫做后向散射超视距雷达。

在收、发设备彼此相距很远的超视距雷达中，雷达信号的传播路径比较简单，它只向前方传播〔图1-3(b)〕，信号经

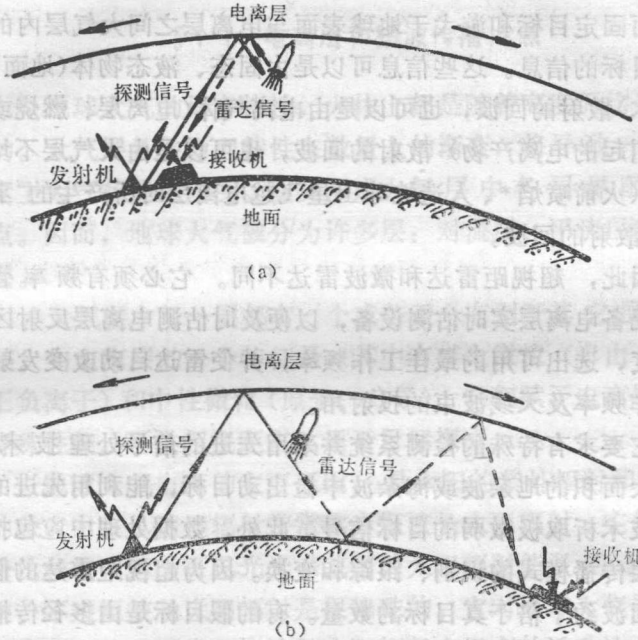


图 1-3 超视距雷达信号传播图

(a) 后向散射 (b) 前向散射

过电离层和地面连续反射之后就直接到达接收机。所以这种超视距雷达叫做前向散射超视距雷达。

不过，依靠电离层和地球表面传播信号存在着一些不利因素。超视距雷达的接收机除了能收到从目标反射回来的有用信号外，还可能收到地面散射波的信号。后者将产生外来噪声，从而降低目标信息的可靠性。又因为电离层在空间上和时间上是起伏多变的媒介，所以，还可能有来自电离层的干扰。

超视距雷达有可能获得相距几千公里目标的信息，如各种地面固定目标和游弋于地球表面与电离层之间大气层内的各种目标的信息。这些信息可以是由固态、液态物体(地面、山、水)散射的回波，也可以是由电离气体(电离层、燃烧或爆炸引起的电离产物）散射的回波，也可以是由大气层不均匀体（火箭喷焰*、人造地球卫星飞越电离层时所产生的"羽烟"）散射的回波。

因此，超视距雷达和微波雷达不同。它必须有频率管理，配备电离层实时估测设备，以便及时估测电离层反射区的高度，选出可用的最佳工作频率，并使雷达自动改变发射机工作频率及天线波束的投射角。

它要求有特殊的检测系统并采用先进的信号处理技术，能从大面积的地杂波或海杂波中检出动目标，能利用先进的处理技术析取极微弱的目标信号。此外，数据处理中应包括电离层传播模式的识别、跟踪和变换。因为超视距雷达的假目标回波约十倍于真目标的数量。有的假目标是由多径传播造成的，有的是由流星余迹和别的电离物引起的，需通过跟踪处理，判别真伪。据说，从发现回波到判定某一架飞机，直到报出它的航迹，一般要用10～15分钟进行多次观测。没有一定数量的跟踪数据，就不能删除假的和多余的目标回波而判定目标性质及其航迹。

本章先讨论决定超视距雷达信号传播条件的媒介——电离层的基本特性；无线电波在地球表面的散射特点；超视距雷达可以探测的空中目标性质。

* 火箭发动机的排气称为火箭喷焰，或称火箭羽流、火箭羽烟、火箭尾流等。火箭喷焰是一种气体分子浓度极大、电子浓度和电子碰撞频率很高、湍流起伏非常剧烈的高温弱等离子体。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

§1-1 电离层和短波传播特点

地球大气的许多特性，大体上都是随着高度而均匀变化的。大气层各种物理特性在数量上的渐变，将导致一定高度上大气状况的质变。质变形成大气层中各层界限的特点。因而，地球大气被分为许多层：对流层、平流层和电离层。

大气层中每一层都有一个或若干个有别于其它层的特征。如电离层的一个特征是，其中有带电微粒（自由电子、正负离子）和中性微粒（原子、分子）。它们赋予电离层许多特殊性能，可供超视距雷达用于目标探测。

地球大气电离的主要原因，是太阳的紫外辐射和日冕*的软X射线。这些辐射常常称为短波长太阳辐射。它的总能量比较低，约为可见光光谱范围的太阳辐射能量的十分之一。不过短波长太阳辐射是很特殊的。它对地球大气层的影响最大。其原因是：短波长太阳幅射有极高的活动性，能使空气分子电离，造成离子、电子饱和的电离层。

太阳微粒辐射对大气状态也有很大影响。热太阳体的巨大爆发所产生的太阳微粒，在侵入大气层时会发生不均匀的电离，致使电离层的结构畸变。

宇宙射线和流星也是使大气层发生电离的原因。宇宙射线是高能原子核流，基本上是从外层空间轰击地球的质子流。某些宇宙射线则来自太阳。宇宙射线的总电离能量极

---

* 日冕是太阳大气的最外层，延伸几个太阳半径，甚至更远。主要由高度电离的原子和自由电子组成，密度极其稀薄，内层称为“内冕”，温度高达100万度。太阳的射电辐射大部分产生在日冕内。

低。它约为紫外辐射电离能量的10^{-8}。

流星会在大气层中产生电离的"尾流"，形状细长，是迅速伸长的直径为几个厘米的圆柱体。流星对大气层电离的作用是微不足道的。但是，在流星出现期间，100公里左右高度上电子的数量有增加。

电离层发生电离时，将随着发生电子和正离子重新组合的逆变过程，并形成中性分子。不过电离层中的大气压很低，即使在电离层较低部分，电子和离子之间的碰撞也还是比较少的，重新组合也很慢。值得注意的是，昼间紫外辐射所造成的电离可能维持到夜间。

电离层中有相当数量的自由带电微粒，对电波的传播有很大影响。当电磁波投射到电离气体(等离子区)的时候，电波就对离子和电子产生作用力。离子由于质量大，产生不了多大的加速度，所以在整个无线电频率范围内（极低频除外），其运动保持不变。电子的质量比离子小，将被电动势带动。运动中的大量自由电子又将建立其自身的场，使一部分受电磁波照射的电离层的特性发生变化。因此，决定电离层无线电物理特性的参数之一，是自由电子的数量，一般用单位体积 cm^3 内的电子数表示，称为电子浓度。

因为大气层的化学成分是随高度不同而变的，而且各气体成分对太阳辐射的吸收能力不同，所以电离层的电离度是不均匀的。大气层低层的电子浓度非常小。到60～90公里高度上，电子浓度才足以传播电波。这些高度被认为是电离层的下限。电子浓度与星际空间电子浓度相当的区域，则可认为是电离层的上限。上下限的间距约为十个地球半径。

可是，如果电离层的上限不是根据地球物理定义的，而是以其中的电子浓度对短波传播是否有明显作用的范围为

界，那末上限就在1000～1500公里的高度上。超视距雷达所用的电离层部分的高度不超过几百公里。对这一部分电离层的测试研究证明，它有四个基本的最大电离值：按高度顺序排列为D、E、F_1、F_2（见图1-4）。有一个相对最大电离值的区

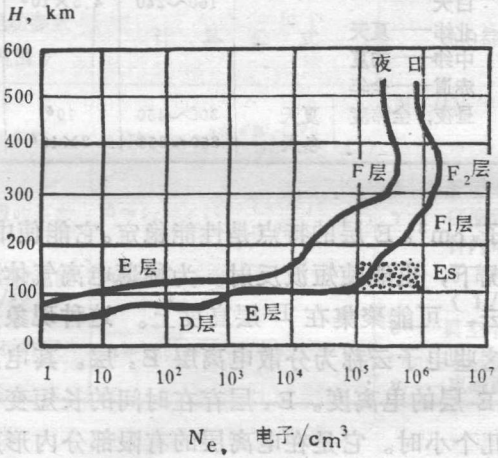


图 1-4 电子浓度与不同时间大气层高度的关系

被认为是一个电离分层。每一分层往往没有明显的上限和下限。最大电离值（电子浓度）及其随高度的变化情况决定于：早晚时间、季节、纬度（见表1-1）。同时这些最大值又是逐年变化的，以太阳活动周期11年为一个变化周期。

从60～70公里高度开始的最低电离区叫做D层。D层的主要特点是存在于白天。天黑时，D层因带电微粒重新组合而迅速消失。这一层是中波和长波能量的主要吸收区。

最大电离值稳定的E层，处在100～130公里的高度上。这一层的平均电子浓度从白天到晚上的变化为10^5电子/cm^3

有规律电离层的特性 表1-1

电离层名称	存在时间		每日高度范围（公里）	最大电子浓度 N_{emax}（电子/cm³）	临界频率 f_{cr}（兆赫）
D	白天，全纬度		60～90	10^3～10^4	
E	昼夜，全纬度		100～130	2.5×10^5	4.5
F_1	白天 北纬——夏天 中纬——初夏 赤道——全年		160～240	4.5×10^5	6
F_2	昼夜，全纬度	夏天	300～450	10^6	9
		冬天	250～350	2×10^6	12

到 10^4 电子/cm³。E 层的特点是性能稳定。它能使中波反射，在一定情况下，也能使短波反射。为稀薄电离气体所隔离的单块电子云，可能聚集在 E 层高度上。这种现象是不规则的，因而这些电子云称为分散电离层 E_s 层。其电离度大大超过正常 E 层的电离度。E_s 层存在时间的长短变化范围很大，可达几个小时。它是在电离层的有限部分内形成的。但它可能扩大到几十公里，有时到几百公里。

F_1 和 F_2 层在超视距雷达中很重要。这是处在 160～450 公里高度上，电子浓度最大的电离层（表1-1）。F_1 层只存在于白天，其高度为 160～240 公里。

F_2 层的高度从250公里变到450公里。这一层在远距通信和超视距雷达中极其重要。它可使电波折射到视距以远的通信接收机或雷达目标上。夜间，F_2 层下降，F_1 层逐渐消失，结果两层合并，形成夜间的F区。F_2层对电波的折射高度，是随着不同季节的早晚时间而剧烈变化的。冬季，白天可以达到 350 公里；夏季，白天则可达到 450 公里。

电离层等离子区中发生的物理过程表征为气体动力参

数、电动参数和其他参数（表1-2）。这些参数可用来从性质上和数量上评定超视距雷达信号传播期间电离层中发生的现象。下面讨论这些现象中最重要的几个问题。

电离层参数计算公式 表1-2

电离层电动参数（短波范围）	计 算 公 式		式中符号定义
相对介电常数	$\varepsilon(H)=1-\frac{80.8Ne(H)}{f^2}$	(1)	$Ne(H)$——H 高度上的电子浓度（电子/cm³） f——射频（千赫） γ——碰撞频率，即每秒钟内电子与中性分子的碰撞次数（1/秒） c——真空中的光速（公里/秒） n——电磁波折射率
电波能量吸收系数	$\delta\approx1.35\times10^{-7}\frac{Ne(H)\gamma}{f^2}$	(2)	
电磁波的相位速度（公里/秒）	$V=\frac{c}{n}$	(3)	
电磁波折射率	$n=\sqrt{\varepsilon(H)}$	(4)	

§1-2 电波轨迹曲率

电波传播路径上介电常数的变化，常常使电波的轨迹发生变化。假设电波以投射角i_0投射到电离层A点（见图1-5），由于介电常数不同，电波将产生折射，并改变传播方向。其方向变化的大小（即电波轨迹曲率）可以用折射角i_n表示：

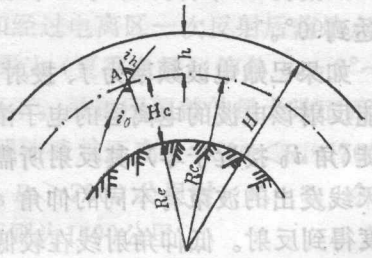


图 1-5 电离层中电波轨迹的弯曲

$$i_h = \arcsin\left[\frac{R_c \sin i_0}{(R_c+h)\sqrt{\varepsilon(H)}}\right]$$

$$= \arcsin\left(\frac{R_c}{H\sqrt{\varepsilon(H)}}\sin i_0\right) \qquad (1\text{-}1)$$

式中 i_0 ——波束对电离层的投射角(度)；

$R_c = R_e + H_c$——从地球中心到电离层下限的距离(公里)；

R_e ——地球半径，等于6370公里；

H_c ——电离层下限高出地球表面的高度(公里)；

h ——从电离层下限起算的高度(公里)；

$H = R_c + h$——测试点与地球中心之间的距离(公里)；

$\varepsilon(H)$——H 高度上电离层的相对介电常数。

从表1-2中计算公式(1)和公式(1-1)可以看出，$\varepsilon(H)$ 越小，波束轨迹的曲率越大。假定电离层条件相同，那末频率下降时，曲率也将增大。如果目标位于地球表面，只有当波束经过折射回到地球才能被探测到。在反射区，折射角 i_h 可接近90°。如果

$$N_e(H) = \frac{f^2}{80.8}\left[1 - \frac{R_c^2}{H^2}\sin^2 i_0\right] \qquad (1-2)$$

根据表1-2中计算公式(1)和公式(1-1)，折射角 i_h 就可以达到90°。

如果已知电波频率为 f、投射角为 i_0，利用式(1-2)可求出能反射该电波的电离层的电子浓度。频率越高，波束轨迹越陡(角 i_0 接近于零)，其反射所需的电子浓度越大。不过，发射天线发出的波束有不同的仰角 ε_b，因而，各射线将在不同高度得到反射。低仰角射线在较低的高度上反射，高仰角射线透入电离层较深。这样，同一频率的电波也将因为波束仰

需要全本请访问 www.ertongbook.com