



雷 达 技 术 小 丛 書

超 高 頻 天 綫

В. И. 別 凱 托 夫 著



國防工業出版社

超 高 頻 天 綫

B. И. 別 凱 托 夫 著

王 年 可 譯

國防工業出版社

內 容 簡 介

本書系苏联軍事出版社出版的“雷達技術小叢書”之一。

本書通俗地講解超高频天綫的作用原理、結構和使用。

書中着重介紹超高频天綫中的物理過程。

本書的讀者對象是與無線電技術設備的使用有關的軍官。對於願意詳細了解雷達各部件和元件的工作的廣大讀者來說，本書也有參考價值。

苏联B. И. Бекетов著‘Антенны сверхвысоких частот’ (Военное издательство министерства обороны союза 1957年第一版)

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第074号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $1/32$ 印張 $34/16$ 68千字

1959年6月第一版

1959年6月第一次印刷

印數：0,001—6,100册 定價：(10) 0.44元

NO. 2974 統一書號 15034·366

前 言

超高频技术在偉大衛國战争时期，特别是在战后年代里的飞跃發展，以及它在国民經济和軍事上的广泛使用，都說明了为什么目前对于超高频技术的各个分支，其中也包括对于超高频天綫，都給以極大的注意。

本書着重討論各种类型天綫設備所有的物理过程 和某些規律性。

为了使讀者了解天綫設備理論和技术中的術語和某些基本概念，本書第一章“天綫的基本参数”給予适当的介紹。

其它各章节則討論在雷达中常用的和某些通信用的天綫結構和作用原理。

对于波瓣的摆动（扫描）問題和天綫开关的結構和作用原理，本書未做任何介紹。假定讀者根据本丛書其它各本已經很熟悉这些問題，就好像了解傳輸綫（饋电綫）和阻抗变换器一样。

超高频天綫的基本作用原理，或者是利用在短波中早已用慣了的天綫特性（振子天綫），或者是利用光学系統的特性（拋物面反射体、透鏡），或者是利用无綫电波在金屬或介質中的傳播特点（波导管、喇叭等）。

在分析超高频天綫的作用原理时，划一条明显的界限是很困难的，因为許多天綫都是同时利用上述几种特性。

如果以担当發射或接收的元件为准来分类超高频天綫，那么所有的天綫基本上可分成如下五大組：振子天綫、喇叭天綫、拋物面天綫、介質和透鏡天綫以及开縫天綫。

屬第一組天綫的主要是流动在綫导体（振子）上的电流起主要作用的天綫。

屬第三組天綫是那些在發射孔徑內用一定形状的反射体产生平面波或者近于平面波的天綫。第二組天綫可归并到第三組去，因为喇叭天綫在它的孔徑內也产生近于平面的波前。

第四組天綫綜合了所有方向性能由棒状、套管和透鏡形状的介質（真介質和代介質）体所决定的数种天綫。

最后，第五組天綫包括由开縫所組成的天綫。天綫各縫开切在金屬面上，而且以一定規律饋电，以获得所要求的空間方向性能。

这种分类法不够完全和严格，但是在學習天綫时却給予一定的方便。

这种分类法沒有考虑一系列同極化有方向性的天綫應該算它的缺点，因为同極化天綫的發射元件不同于上述任何一种。

在以后章节中均按此分类叙述各种天綫。同極化天綫于第六章講解，这一章同时还簡要地解釋若干种其它特殊天綫的工作原理。

目 录

前言	3
I 天綫的基本参数	5
1 波瓣圖(5)——2 波瓣圖类型(8)——3 天綫增益(10)——	
4 用光学法計算平面天綫的波瓣圖(14)——5 波瓣圖与天綫尺寸	
的关系(17)——6 天綫与饋电綫的匹配(20)	
II 振子天綫	22
1 單振子(22)——2 平面同相天綫(26)——3 “波道”型天綫	
(31)	
III 喇叭天綫	35
1 喇叭天綫的作用原理(35)——2 扇形喇叭(35)——3 金字塔	
形与錐形喇叭(41)——4 喇叭天綫用做輻射器(44)——5 复錐	
喇叭天綫(48)	
IV 反射体天綫	49
1 拋物面反射体天綫的基本特性(49)——2 拋物面反射体类型	
(52)——3 拋物面反射体及其輻射器的結構实例(54)——4 輻	
射器安装精度对拋物面天綫方向性能的影响(61)	
V 透鏡天綫与介質天綫	65
1 減速透鏡天綫(65)——2 导波管透鏡天綫或者加速透鏡天綫	
(69)——3 分域式透鏡及其通頻性能(71)——4 透鏡天綫的饋	
电(74)——5 介質天綫(77)	
VI 开縫天綫及特种天綫	82
1 开縫天綫(82)——2 圓極化天綫(87)——3 特殊波瓣形状天	
綫(93)	
VII 使用同軸电綫时天綫饋电的方法	97
1 U形綫(97)——2 扼流筒(98)——3 寬頻带对称裝置(98)	
——4 同軸电綫-波导管变换(101)	

超 高 頻 天 綫

B. И. 別 凱 托 夫 著

王 年 可 譯



國 際 工 業 出 版 社

目 录

前言	3
I 天綫的基本参数	5
1 波瓣圖(5)——2 波瓣圖类型(8)——3 天綫增益(10)——	
4 用光学法計算平面天綫的波瓣圖(14)——5 波瓣圖与天綫尺寸	
的关系(17)——6 天綫与饋电綫的匹配(20)	
II 振子天綫	22
1 單振子(22)——2 平面同相天綫(26)——3 “波道”型天綫	
(31)	
III 喇叭天綫	35
1 喇叭天綫的作用原理(35)——2 扇形喇叭(35)——3 金字塔	
形与錐形喇叭(41)——4 喇叭天綫用做輻射器(44)——5 复錐	
喇叭天綫(48)	
IV 反射体天綫	49
1 拋物面反射体天綫的基本特性(49)——2 拋物面反射体类型	
(52)——3 拋物面反射体及其輻射器的結構实例(54)——4 輻	
射器安装精度对拋物面天綫方向性能的影响(61)	
V 透鏡天綫与介質天綫	65
1 減速透鏡天綫(65)——2 导波管透鏡天綫或者加速透鏡天綫	
(69)——3 分域式透鏡及其通頻性能(71)——4 透鏡天綫的饋	
电(74)——5 介質天綫(77)	
VI 开縫天綫及特种天綫	82
1 开縫天綫(82)——2 圓極化天綫(87)——3 特殊波瓣形状天	
綫(93)	
VII 使用同軸电綫时天綫饋电的方法	97
1 U形綫(97)——2 扼流筒(98)——3 寬頻帶对称裝置(98)	
——4 同軸电綫-波导管变换(101)	

前 言

超高频技术在偉大衛國战争时期，特别是在战后年代里的飞跃發展，以及它在国民經济和軍事上的广泛使用，都說明了为什么目前对于超高频技术的各个分支，其中也包括对于超高频天綫，都給以極大的注意。

本書着重討論各种类型天綫設備所有的物理过程 和某些規律性。

为了使讀者了解天綫設備理論和技术中的術語和某些基本概念，本書第一章“天綫的基本参数”給予适当的介紹。

其它各章节則討論在雷达中常用的和某些通信用的天綫結構和作用原理。

对于波瓣的摆动（扫描）問題和天綫开关的結構和作用原理，本書未做任何介紹。假定讀者根据本丛書其它各本已經很熟悉这些問題，就好像了解傳輸綫（饋电綫）和阻抗变换器一样。

超高频天綫的基本作用原理，或者是利用在短波中早已用慣了的天綫特性（振子天綫），或者是利用光学系統的特性（拋物面反射体、透鏡），或者是利用无綫电波在金屬或介質中的傳播特点（波导管、喇叭等）。

在分析超高频天綫的作用原理时，划一条明显的界限是很困难的，因为許多天綫都是同时利用上述几种特性。

如果以担当發射或接收的元件为准来分类超高频天綫，那么所有的天綫基本上可分成如下五大組：振子天綫、喇叭天綫、拋物面天綫、介質和透鏡天綫以及开縫天綫。

屬第一組天綫的主要是流动在綫导体（振子）上的电流起主要作用的天綫。

屬第三組天綫是那些在發射孔徑內用一定形状的反射体产生平面波或者近于平面波的天綫。第二組天綫可归并到第三組去，因为喇叭天綫在它的孔徑內也产生近于平面的波前。

第四組天綫綜合了所有方向性能由棒状、套管和透鏡形状的介質（真介質和代介質）体所决定的数种天綫。

最后，第五組天綫包括由开縫所組成的天綫。天綫各縫开切在金屬面上，而且以一定規律饋电，以获得所要求的空間方向性能。

这种分类法不够完全和严格，但是在學習天綫时却給予一定的方便。

这种分类法沒有考虑一系列同極化有方向性的天綫應該算它的缺点，因为同極化天綫的發射元件不同于上述任何一种。

在以后章节中均按此分类叙述各种天綫。同極化天綫于第六章講解，这一章同时还簡要地解釋若干种其它特殊天綫的工作原理。

I 天綫的基本参数

1 波瓣圖

天綫設備不管波段和收發信机的具体特点如何，均用来向空間發射电磁能（發射天綫）或者由空間接收电磁能（接收天綫）。

在雷达机上，同一个天綫交替地担当或發射天綫（發射主脉冲）和接收天綫（接收目标回波）的工作。

用于超高频的大部分天綫都是有方向性的，也就是說，天綫只在一定的扇角範圍內接收与發射信号。

天綫将电磁能集中發射的本領用一些特別的曲綫說明，这些曲綫則称之为波瓣圖（又名方向性圖）。通常波瓣圖只繪制水平与垂直面两种。

一部天綫的波瓣圖，是該天綫在發射或者接收的工作情況下，在相应的平面內，接收机輸入信号电压与天綫轉动角之間的关系曲綫。

应当注意，天綫的波瓣圖与該天綫是做發射天綫还是做接收天綫无关，即任意一部天綫都是可逆的。

圖 1 为以極坐标表示的波瓣圖一例。該圖的最大信号方向与天綫轉动角的起讀方向一致（ $\theta = 0$ ），而最大信号本身看做 1，即在每个向量半徑方向繪制的不是信号强度 E ，而是与其成比例的 $E/E_{\max}$ 。

由圖 1 可以看出，波瓣圖有典型的花瓣形状。与最大信号相当的波瓣（此处 $\theta = 0$ ）称为波瓣圖的主波瓣，而所有其余各瓣称

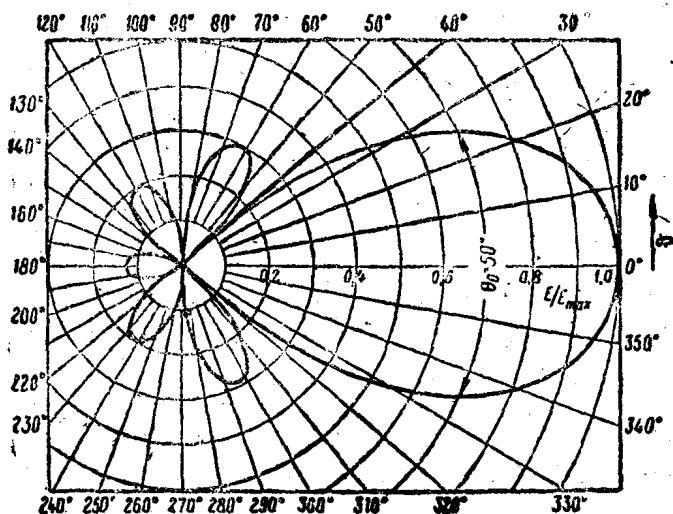


圖 1 用極坐标繪制的天綫波瓣圖。

为旁波瓣。旁波瓣常常以离开主波瓣的順序予以编号。譬如說，圖 1 在 $\theta_1 = 60$ 与 300° 时两波瓣称为第一旁瓣，次之称为第二旁瓣（ $\theta_2 = 120$ 与 240° ），如此类推。

通常，旁波瓣值随着其序号增長而减小。

天綫不接收也不發射的方向称为波瓣零点。旁波瓣最大值与波瓣零点永远交替出現。

超高频天綫的波瓣常常会狭窄得很难用極坐标系繪出其曲綫形状来。在这些情况下，波瓣圖用直角坐标系繪制，縱軸表示 E/E_{max} 比值，而橫軸表示天綫的轉动角。圖 2 的曲綫 1 可以做为这种波瓣圖的一个例子，該曲綫所繪制的天綫与圖 1 相同。

在各种设备的說明中，常常不用波瓣圖，而用数值表示其特性，写明主波瓣在垂直面与水平面的張角，旁瓣的位置及强度。

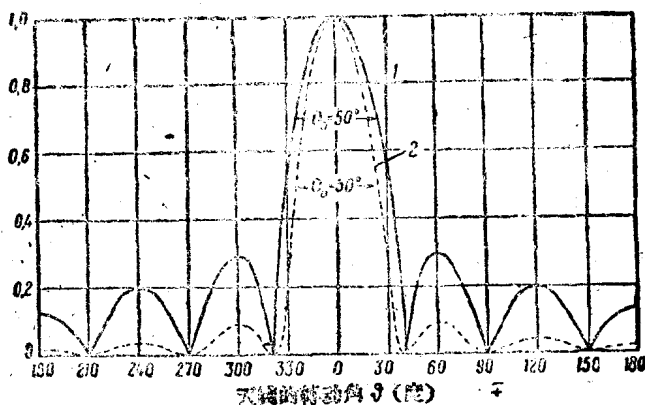


圖 2 用直角坐標繪制的天綫波瓣圖。實綫 (1) 以相對電壓為單位；虛綫 (2) 以相對功率為單位。

在給定平面上的波瓣張角習慣了解為主波瓣在信號電壓由最大值 $E_{\max}$ 降低到 $E_{\text{счлн}} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.707$ 時兩個方向之間的夾角。據上所述，圖 1 及圖 2 波瓣圖的主波瓣張角 $\theta_0 = 50^\circ$ 。

在某些情況下，波瓣圖不以 $E/E_{\max}$ 電壓相對值，而以功率相對值繪制。由於功率與電壓平方成比例，那麼把相應的 $E/E_{\max}$ 值平方起來就得到功率波瓣圖。圖 2 的曲線 2 特地用此法繪成，它代表與曲線 1 同一個天綫的功率波瓣圖。

在這種波瓣圖上，主波瓣的張角，必須以 $(E/E_{\max})^2 = (\sqrt{2}/2)^2 = 0.5$ 的電平量取。所以經常提到，波瓣圖的主波瓣張角由半功率點決定。

以後我們將用 θ_0 與 Φ_0 分別表示在垂直面與水平面內的波瓣張角。

2 波瓣圖类型

相对于最大發射方向，各向概略对称的，即空間發射特性有雪茄体形状的天綫波瓣圖，命名为“針狀波瓣”。具有这种波瓣的天綫，广泛地应用在通信接綫中。在雷达設備中，却用来测定目标的所在位置。但是，由于針狀波瓣天綫，不論在高低角和方位角上搜索目标都有困难，所以不能到处采用。

在許多雷达站中，为了便于搜索目标，将其波瓣圖在一个平面內或多或少地展寬一些角度，并把测目标高低角与方位角的任务，分配予两部相互有关的天綫去担当。这种一面寬一面窄的波瓣圖，因为形状很像扇子，故取名为“扇形波瓣”。

圖3 为一部扇形波瓣天綫，用来测定目标方位角 φ 。

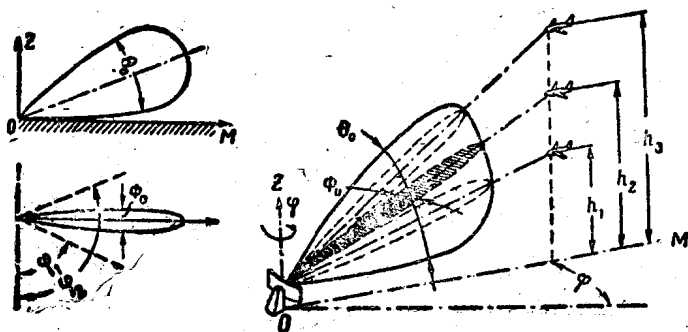


圖3 扇形波瓣圖，用来测目标方位角。

該波瓣于水平面窄、垂直面寬。采用这种波瓣圖，在沿方位角方向搜索目标时，不管目标对地面的高度 h 如何均能被發現。

圖4 为在水平面內有扇形波瓣的天綫。这种天綫不管方位角如何，可以在足够大的高低角变化範圍內，由所测高低角决定目标高度。

用两部这样的天綫發現目标之后,就有可能准确地測定目标在空間对雷达站的所在位置。

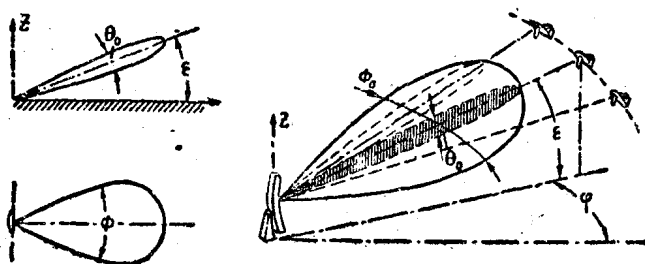


圖4 扇形波瓣圖, 用来測高低角。

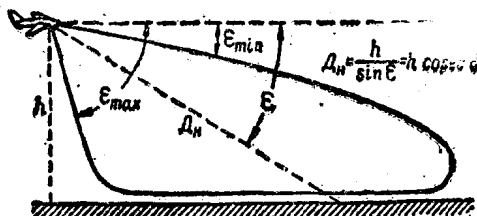


圖5 余割形波瓣。

許多雷达站的使用, 特点不一, 不仅对水平面与垂直面波瓣張角提出要求, 而且对波瓣圖本身形状提出要求。譬如說, 在用于發現地面目标的飞机雷达上(圖5), 希望有一种波瓣圖, 能在使用狹窄的水平波瓣的条件下, 从同样物体处, 只要它位于雷达作用半徑內, 均得到同样的反射强度。

为了使在最小高低角 $\varepsilon_{\min}$ 到最大高低角 $\varepsilon_{\max}$ 範圍內的任何地面物体均能得到同样的照射, 必須使波瓣形状如此, 即雷达發射的电磁場强度与飞机到地面的距离 Δ_n 成比例。因为电磁場强度, 在由雷达向着被發現物体傳播的过程中, 与距离成反比, 那么电

磁场波瓣向徑应当与高低角 ε 的正弦值成反比例变化，或者与該角的余割—— $\operatorname{cosec} \varepsilon$ 成正比。这种波瓣如圖 5 所示，称为余割形天綫。

在对空警戒的地面雷达中，波瓣圖应当与此类似。

在对海面警戒的艦用雷达中，有时使用有連續平頂的垂直面扇形波瓣天綫（圖 6）。使用与甲板固定在一起的这种天綫，能减小軍艦搖摆对于由發現目标反射的信号强度。連續平頂波瓣圖取名为平扇形波瓣。



圖 6. 平扇形波瓣。

1—裝于軍艦上的天綫；2—海面；3—理想平扇形波瓣；4—实际平扇形波瓣的大致形状。

天綫波瓣还有其它形状。

应当指出，所有特种形状的实际波瓣圖，与理想波瓣圖均略有出入，但是，对于雷达的工作影响很小。

3 天綫增益

我們現在就来討論，天綫的方向性能如何影响在接收点的信号强度。

假定在某点 A 放置一部无方向性發射天綫，它在遙远的点 B 产生信号 E_1 （圖 7）。天綫在紙面上的波瓣圖将是圓形的。如果天綫 A 所發射出来的信号，仅仅在 B 点接收，那么在所有其它方向

所發射出来的能量，除了点 B 方向之外，因为它沒有發射到 B 点去，将白白地浪費掉。

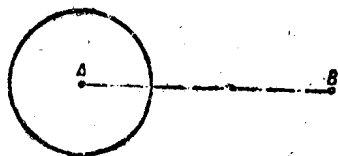


圖 7 无方向性波瓣圖。

將 A 点放置一部有方向性天綫，并把最大發射方向朝向点 B ，我們就可以不改变發射机功率，

而依靠剛剛向着其它方向白白發射出去的那部分能量增加点 B 的信号。

这样，对于位于 B 点的接收天綫來說，有方向性天綫較之无方向性天綫是有增益的。

因此，天綫的方向性能，除了用波瓣圖之外，还用下面两个数值之一加以說明，即：方向系数（簡写 $K. H. D.$ ）或者增益（簡写 $K. Y.$ ）。

天綫的增益等于天綫的方向系数乘以效率（ $K. P. D.$ ）：

$$K. Y. = K. H. D. \times K. P. D.$$

在理想天綫中，沒有損失（ $K. P. D. = 1$ ），增益（ $K. Y.$ ）与方向系数（ $K. H. D.$ ）一致^⑤。

因为增益比較全面地从能量方面說明天綫特征，所以在实际上使用更为經常。

天綫增益是一个相对数值。它等于該天綫在接收点的电場强度与另外一个标准天綫在其它完全相同条件下的电場强度的比值的平方。換句話說，天綫增益說明，在保持接收信号强度不变的条件下，如果用該天綫代替标准天綫，則饋送功率應該减小若干倍。

在超高频范围，为方便起见，常常用各方向均均匀發射的，即所

⑤ 在大多数超高频天綫中，效率几乎等于 1，因此除去特殊情形之外，可以認為增益等于方向系数，其精度对实用來說相差无几。