

无线电波传播概要 及频谱利用

修改

国防工业出版社

无线电波传播概要 及频谱利用

江 林 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书内容包括两部分。第一部分是无线电波传播概要。第二部分是无线电频谱的分配和利用。着重从物理概念上讲述无线电波的不同传播方式及其特点。简单介绍了频谱分配和划分原则,以及国际上频谱利用的现状。

本书可供具有电子学基础的技术工人和工程技术人员阅读参考。

无线电波传播概要 及频谱利用 (只限国内发行)

江 林 编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/32 印张 47/16 91 千字

1974年3月第一版 1974年3月第一次印刷 印数: 00,001—14,500 册

统一书号: 15034·1347 定价: 0.48元

无线电波传播概要 及频谱利用

江 林 编



内 容 简 介

本书内容包括两部分。第一部分是无线电波传播概要。第二部分是无线电频谱的分配和利用。着重从物理概念上讲述无线电波的不同传播方式及其特点。简单介绍了频谱分配和划分原则，以及国际上频谱利用的现状。

本书可供具有电子学基础的技术工人和工程技术人员阅读参考。

无线电波传播概要 及频谱利用 (只限国内发行)

江 林 编

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/32 印张 47/16 91 千字

1974年3月第一版 1974年3月第一次印刷 印数：00,001—14,500 册

统一书号：15034·1347 定价：0.48元

目 录

前言	5
----------	---

第一编 无线电波传播概要

第一章 概论	7
--------------	---

§ 1.1 概述	7
----------------	---

§ 1.2 无线电波在自由空间的传播	8
--------------------------	---

§ 1.3 多径时延和传播失真	12
-----------------------	----

第二章 地波的传播	17
-----------------	----

§ 2.1 地波传播的物理过程	17
-----------------------	----

§ 2.2 地波传播的特点	19
---------------------	----

§ 2.3 地波场强的计算	21
---------------------	----

第三章 天波的传播	29
-----------------	----

§ 3.1 电离层	29
-----------------	----

§ 3.2 电离层反射电波的物理过程	31
--------------------------	----

§ 3.3 电离层对无线电波的吸收, 最低可用频率	35
---------------------------------	----

§ 3.4 衰落和多径效应	37
---------------------	----

§ 3.5 电离层的变化	42
--------------------	----

§ 3.6 天波传播的特点	48
---------------------	----

第四章 电波的视距传播	51
-------------------	----

§ 4.1 电波视距传播的物理过程	51
-------------------------	----

§ 4.2 球面地和大气对视距传播的影响	55
----------------------------	----

§ 4.3 视距传播的特点	58
---------------------	----

第五章 散射传播	61
----------------	----

§ 5.1 对流层散射传播	61
---------------------	----

1974.6.5-
40 图书馆藏

§ 5.2 电离层散射	65
§ 5.3 散射传播的特点	66
第六章 电波传播的其它问题	68
§ 6.1 影响地面-空间通信的因素	68
§ 6.2 核爆炸对电波传播的影响	71
第二编 无线电频谱的分配和利用	
第七章 无线电频谱的划分	75
§ 7.1 概述	75
§ 7.2 各波段的频率分配	84
第八章 各种通信业务的频率分配和使用	95
§ 8.1 固定通信业务	95
§ 8.2 卫星通信的频率分配	97
§ 8.3 广播的频率分配	98
参考书籍及资料	100
附录 天波传播损耗的计算	101

前 言

在无线电通信的总体设计中，频率范围的决定是很重要的。频段的划分与分配主要是根据无线电波的传播方式和特点决定的。同时，不同的传播方式对设备采取的制度和工作方式又有很大的关系，甚至是决定性的关系。因此，对于无线电通信总体设计人员，甚至对于具体设备的设计人员来说，都必须对电波传播有一个明确的了解。

本书着重从物理概念上阐述无线电波的不同传播方式及其特点。至于信道场强的计算，除个别情况外，一般不作详细介绍。因为一些信道（如散射、卫星等）的计算另有专书讨论。

本书分为两部分。第一部分是无线电波传播概要。第二部分是无线电频谱的分配和利用，简述频谱分配和划分原则，以及国际上频谱利用的现状。

编 者

第一编 无线电波传播概要

第一章 概 论

§ 1.1 概 述

现代无线电所使用的频率从 10 千赫直至 300 千兆赫(波长相应从 30000 米到 1 毫米)。电波传播的方式和频率有很大关系。某一种传播方式往往对某一段频率的电波特别有利,因此,这种方式也就成为该频段传播的主要方式。

无线电波传播的主要方式有下列几种:

1 地波传播

无线电波沿地表面传播 (因此也称表面波), 如图 1-1 所示。

2 天波传播

无线电波向天空辐射, 由电离层反射到接收点, 称为天波传播 (图 1-2)。



图1-1 地波传播

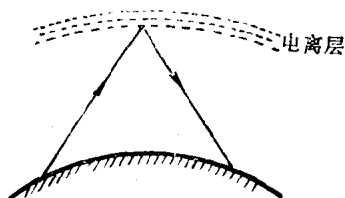


图1-2 天波传播

3 视距传播

发射天线和接收天线在视距以内, 无线电波的传播是直

射波与反射波的总和（图1-3）。

4 散射传播

无线电波由对流层或电离层的不均匀性而散射传播至接收点，前者称为对流层散射传播，后者称为电离层散射传播（图1-4）。

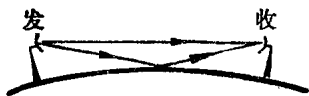


图1-3 视距传播

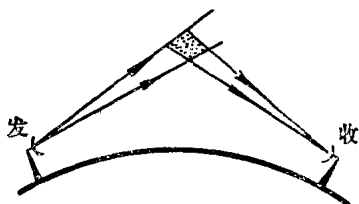


图1-4 散射传播

其他还有绕射等，但主要的传播方式就是上述几种。实际上一个天线辐射出的电波的传播往往不是单一形式，例如，既有地波，也有天波等等，但是总有一种方式是主要的。不同波段的电波的主要传播方式也不同，这就是各个波段适用于不同的通信业务的主要原因。

§ 1.2 无线电波在自由空间的传播

无线电波在空间传播时，一方面由于电波随着传播距离增大、能量分散而减弱，一方面还会因传播媒质的吸收和反射等等而损耗一部分能量。因此，电磁波的强度就受到进一步减弱。为了能够比较传播的情况，并提供一个讨论的基础，我们先研究无线电波在自由空间的传播。

所谓自由空间，即是一个没有任何能反射或吸收电磁波物体的无穷大的空间。这当然是理想的情况，实际上是不存在的。但是计算卫星天线所辐射的场强则很接近于这种条件。

设想一个各向同性（即无方向性）的天线放置于自由空

间中，若天线的辐射功率为 P ，则可以求出距离天线为 r 处的电场强度。

由于天线是各向同性的，所以它向各方向均匀地辐射电磁波。因此，功率（能流）是均匀地分布于以天线为球心的球面上。球面积为 $4\pi r^2$ ，所以在距天线为 r 处的能流密度为

$$S = \frac{P}{4\pi r^2} \text{瓦/米}^2 \quad (1)$$

根据电磁波的理论，自由空间中的磁场强度和电场强度有下述关系：

$$H = \frac{E}{120\pi} \quad (2)$$

式中 120π ——自由空间的波阻抗值，它等于 $\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ 。

因为自由空间的电磁波的能流密度等于

$$S = E \cdot H = \frac{E^2}{120\pi} \text{瓦/米}^2 \quad (3)$$

将式 (3) 与式 (1) 相等，即可求出自由空间的电场强度 E （有效值）的关系式，即

$$E = \frac{\sqrt{30P}}{r} \text{伏/米} \quad (4)$$

这表明电场强度和距离 r 成反比，和辐射功率的开方成正比。它和 r 成反比的关系反映电磁波能量的发散。

但是实际的发射天线是有方向性的。假如天线的方向系数为 D_r ，它的意义为有方向性的天线相当于把辐射的功率在该方向提高 D_r 倍。因此上式应该变为：

$$E = \frac{\sqrt{30PD_r}}{r} \text{伏/米} = \frac{173\sqrt{P_{\text{瓦}} \cdot D_r}}{r_{\text{公里}}} \text{毫伏/米} \quad (5)$$

上述的电场强度均用有效值，许多书上常用振幅值，则上式变为：

$$E_m = \frac{\sqrt{60PD_t}}{r} \text{ 伏/米} = \frac{245\sqrt{P_{\text{千瓦}} \cdot D_t}}{r_{\text{公里}}} \text{ 毫伏/米} \quad (6)$$

式(5)和(6)是在理想的自由空间中传播的电波场强。在实际的空间传播时，当然不能是这个数值，它要受到媒质的吸收而衰减。我们可以将它乘以一个衰减因子 F ，即

$$E = \frac{173\sqrt{P_{\text{千瓦}} \cdot D_t}}{r_{\text{公里}}} \cdot F \text{ 毫伏/米} \quad (7)$$

衰减因子 F 与传播媒质的性质、电波的频率和极化等有很大关系。

由以上讨论可知，场强除了和距离有关外，还和发射天线的方向系数 D_t 有关，也和辐射功率有关。因此，当我们要比较电波传播情况时，最好用相对值来表示，并能把天线的因子分开，以便于讨论。因此，在许多地方，特别是在超短波以上的波段中，常常不用接收点的场强来描述信道的传播情况，而是用传播损耗来表达。

为此，我们首先定义系统损耗 L_s ：

系统损耗就是输入发射天线的功率 P_t 和在接收点天线端产生的信号功率 P_r 之比。

$$L_s = \frac{P_t}{P_r} \quad (8)$$

由于超短波的接收天线的方向系数 D_r 和接收天线的有效面积 A_r 有如下关系：

$$D_r = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_r$$

也就是 $A_r = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D_r$

因为接收天线接收的电磁波功率为

$$P_r = S \cdot A_r = \frac{D_t \cdot P_t}{4\pi r^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D_r$$

所以

$$L_s = \frac{P_t}{P_r} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{1}{D_t \cdot D_r}$$

即系统损耗和距离、波长以及发射和接收天线的方向系数有关。通常我们将 L_s 用分贝表示, 即

$$\begin{aligned} L_{s(\text{分贝})} &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) - 10 \log_{10} D_t \\ &\quad - 10 \log_{10} D_r = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) - G_t - G_r \end{aligned} \quad (9)$$

式中 $G_t = 10 \log_{10} D_t$, $G_r = 10 \log_{10} D_r$, G_t 和 G_r 分别是发射天线和接收天线的增益系数, 用分贝表示。

上式表明系统的损耗由三项组成, 末两项都是负值, 表明 G_t 和 G_r 本身都是增益, 并且只分别与接收、发射天线的性能有关。显然, 损耗只由第一项 $20 \log_{10} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)$ 构成。我们称它为自由空间的传播损耗。要注意, 这里损耗二字并非指能量遭受传播媒质的吸收 (因在自由空间中), 而是由于在传播过程中能量的发散。所以, 对于接受点来说, 这些能量是一种损失。

我们将自由空间的传播损耗用符号 L_{p0} 表示, 则

$$L_{p0(\text{分贝})} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 20 \log_{10} \left(\frac{40 \pi}{3} \cdot f_{\text{兆赫}} \cdot r_{\text{公里}} \right) \\
 &= 32.45 + 20 \log_{10} f_{\text{兆赫}} + 20 \log_{10} r_{\text{公里}} \quad (10)
 \end{aligned}$$

式中 $f_{\text{兆赫}}$ 是用兆赫为单位的频率数, $r_{\text{公里}}$ 是用公里为单位的距离数。这样计算比较方便。也可将它制成曲线, 如图 1-5 所示, 查读起来更为方便。

从式 (10) 可知, 自由空间的传播损耗只与距离和频率有关。但是实际的传播并不是在理想的自由空间中, 所以按照式 (7) 的概念, 还要增加一项损耗, 用 L_F 表示。 L_F 称为传播的媒质损耗, 它和具体的传播方式、媒质以及频率等许多因素有关。这些关系在今后会讨论到。

因此, 在实际的传播过程中, 传播损耗为

$$L_p = L_{p0} + L_F \quad (11)$$

式中的单位均为分贝。

上式中 L_F 就是式 (7) 中 F 因子用分贝表示的结果。

引入传播损耗的方便之处是, 它和辐射功率及天线增益无关, 因而直接反映了信道的特性。

§ 1.3 多径时延和传播失真

无线电波通过不同方式传播, 就构成了不同的信道。例如, 短波电离层反射信道或对流层散射信道或视距信道等等。无线电波通过这些信道传播时也会产生失真。

无线电波通过传播媒质时所造成的失真有两方面, 即振幅失真和相位失真, 它和集中参数的滤波器很相象。滤波器具有振幅和相位特性。传播媒质也是这样, 不过它和集中参数电路不同, 它是不稳定的, 常常随时间变化得很快, 想要

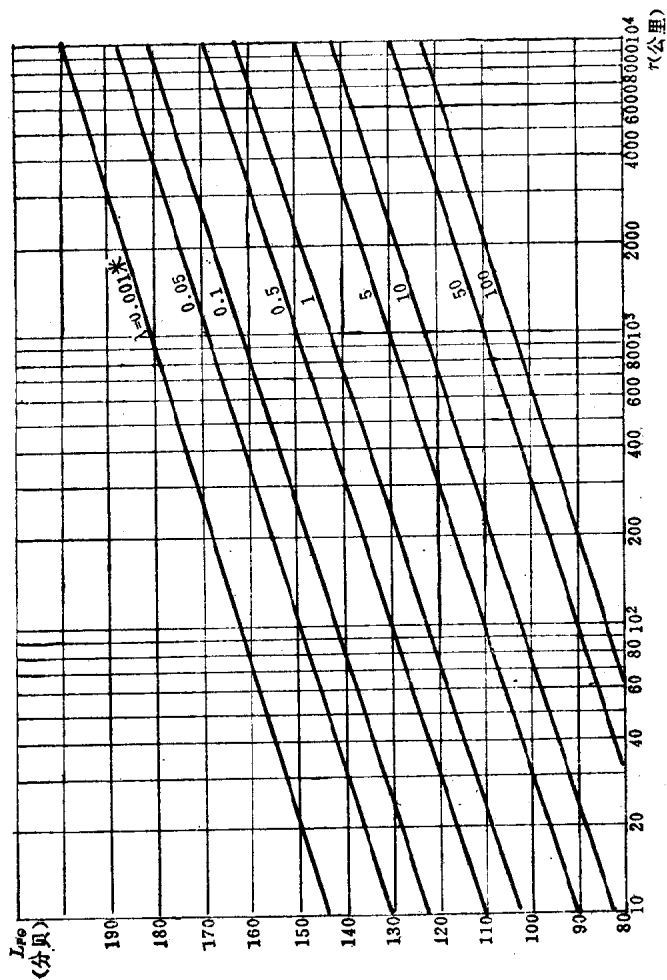


图 1-5 自由空间的传播损耗与波长和距离的关系曲线

直接测量其振幅和相位特性是困难的。只有通过影响失真的因素来分析或测量。

无线电波通过媒质而产生失真有两个原因：一是媒质的色散效应，一是多径效应。

所谓色散效应，就是不同频率的无线电波在媒质中传播的速度有差别。因为无线电信号是包含着若干不同频率成分的，所以传播到接收地点时，各不同频率成分不能保持原来信号的相对关系，就造成失真。色散这个名词是从光学中借用过来的，光学透镜对不同频率的光有不同的速度，也就是有不同的折射率。因此，当太阳光穿过透镜时，不同频率成分的光折射角不同，因而分成不同颜色的光（不同频率的光颜色不同），这种效应称为色散。具有色散效应的媒质称为色散媒质，反之称为非色散媒质。电离层就是色散媒质。

所谓多径效应，就是无线电波在传播时通过两个以上不同长度的路径到达接收点。因此，接收天线检拾的信号是这几个不同途径传来电波场强的和。由于路径长短有差别，所以在发射点是同相的电波，但到达接收点就存在相位差。这个相位差是由路程差决定的，也就是电波经过不同长度路径传播，它到达接收点的时间延迟（简称时延）不同。我们把两条路径的时延数值之差称为差分时延，或叫多径时延。到达接收点的相位差就由差分时延决定。

设两条路径的差分时延为 Δt ，则二者的相位差为 $\varphi = \omega \cdot \Delta t$ ，所以这两个电波是相差 $\omega \cdot \Delta t$ 相角的两个矢量和。假如改变辐射电波的频率，则由于它们的相位差和频率成正比，因此，它们之间的相位差也将随着频率的改变而改变。结果它们的合成矢量振幅也要改变，其情况如图 1-6 所示。在频