

微波通信抛物面天线

张浩然 编著 吴葆搴 审校



微波接力通信技术丛书

人民邮电出版社

微波接力通信技术丛书

微波通信抛物面天线

张浩然 编著

吴葆楨 审校

人民邮电出版社

7089/3402

内 容 提 要

本书重点叙述用于微波接力通信的抛物面天线的性能分析、比较和设计。提出了设计天线的要领和方法,维护天馈线的方法。对天线的设计、制造、性能测试、安装和维护作了说明。本书可供从事微波接力通信设备维护人员以及从事微波天线设计制造技术人员和高等学校有关专业师生参考。

微波接力通信技术丛书

微波通信抛物面天线

张浩然 编著

吴葆揖 审校

责任编辑:俞天林

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 1984年2月第 一 版

印张: 7 28/32 页数: 126 1984年2月河北第一次印刷

字数: 179 千字 印数: 1—5,000 册

统一书号: 15045·总2829—无6268

定价: 1.05 元

前 言

本书是供微波接力通信设备维护人员及天线设计人员使用的专题书籍。重点对接力通信抛物面天线的性能和特点、基本原理作了分析。还综合介绍了标准抛物面天线、卡塞格兰天线和复用天线的设计和应用。对高效率、低副瓣天线和馈源的性能作了详细分析和比较。并介绍了抛物面天线的加工、测试、安装和维护。在附录中还给出了抛物面风荷估算和天线方向图包络线的有关资料。

本书在编写过程中得到邮电五〇三厂，邮电部第四研究所有关同志们的大力支持，在此向他们表示感谢。由于自己水平较差，经验不多，书中难免有不少错误，欢迎同志们批评指导。

作者

1982.3

出版者的话

几年前，我社曾给微波站的维护人员出版了一套微波设备维护手册，帮助他们了解微波设备的简单原理，学会值机操作和处理简单的障碍，起到了较好的作用。但时隔数年，全国微波电路有了新的发展，微波站维护人员的水平也在不断提高。需要为他们编写切合实际而又较为深入的读物，以便帮助他们进一步提高技术水平，做好维护检修工作。《微波接力通信技术丛书》就是在这个思想指导下组织编写的。

这套丛书准备结合当前使用的微波通信设备，分部件讲述各部分原理、各元器件作用、工作性能、指标以及调整、测试等问题。力求结合实际进一步阐明原理，并能适合当前大部分维护人员的实际水平。

丛书的读者对象主要是微波站的维护人员，也可以供微波设备的研制、生产人员和有关专业的大专院校师生参考。

我们希望广大读者对这套丛书的编辑出版提出要求和建议，帮助我们做好这一工作。

目 录

第一章 概述.....	(1)
§ 1—1 微波和光波有某些类似的基本性质	(1)
§ 1—2 抛物面天线的广泛应用	(2)
§ 1—3 抛物面天线在接力通信中的重要作用	(2)
1-3-1 接力站间天线间的耦合问题	(3)
1-3-2 天线极化问题	(5)
第二章 抛物面天线的基本原理	(6)
§ 2—1 抛物面的基本性质.....	(6)
§ 2—2 抛物面天线的辐射原理	(8)
§ 2—3 抛物面天线的基本参数	(10)
2-3-1 天线增益	(10)
2-3-2 天线阻抗	(11)
2-3-3 天线方向图	(12)
2-3-4 天线极化去耦	(14)
第三章 抛物面天线的设计	(15)
§ 3—1 标准抛物面天线的设计	(15)
3-1-1 标准抛物面天线设计考虑	(15)
3-1-2 标准抛物面天线设计步骤	(18)
§ 3—2 卡塞格兰天线的设计方法	(33)
3-2-1 卡塞格兰天线的基本原理	(33)
3-2-2 卡塞格兰天线设计要求和必备条件	(35)
3-2-3 卡塞格兰天线设计步骤	(39)
3-2-4 卡塞格兰天线总效率计算	(48)

3-2-5	关于近区场卡塞格兰天线的问题	(53)
§ 3—3	复用天线的设计	(54)
3-3-1	喇叭反射器天线	(54)
3-3-2	偏心式卡塞格兰天线	(60)
3-3-3	曲折喇叭反射器天线	(63)
§ 3—4	三种复用天线性能比较	(66)
3-4-1	复用天线的共同点	(66)
3-4-2	复用天线的各种特性比较	(66)
§ 3—5	接力通信用的几种天线性能比较	(69)
第四章	高效率低副瓣天线设计技术	(74)
§ 4—1	概述	(74)
§ 4—2	镜面修正技术	(75)
4-2-1	镜面修正原理	(75)
4-2-2	镜面修正天线的设计方法	(77)
§ 4—3	高效率馈源喇叭性能分析和比较	(91)
4-3-1	复模喇叭	(92)
4-3-2	混合模喇叭	(105)
4-3-3	几种一次馈电器的性能比较	(127)
§ 4—4	低副瓣天线设计技术的考虑	(130)
4-4-1	使用吸收材料和改变抛物面的边缘结构	(130)
4-4-2	偏心格里高里天线	(133)
第五章	抛物面天线的加工、测试、安装和维护	(137)
§ 5—1	抛物面天线的制造	(137)
5-1-1	概述	(137)
5-1-2	抛物面加工方法	(137)
§ 5—2	抛物面天线基本参数测试方法	(142)
5-2-1	概述	(142)
5-2-2	选择测试场地	(142)

5-2-3	电气性能指标测试	(147)
§ 5—3	天线的安装	(157)
5-3-1	概述	(157)
5-3-2	天线安装	(157)
5-3-3	天线安装注意事项	(161)
§ 5—4	接力通信中的天馈线系统	(161)
5-4-1	概述	(161)
5-4-2	系统驻波比对噪声指标的影响	(162)
5-4-3	馈线系统安装方式和主要部件的作用和原理	(165)
5-4-4	馈线测试和维护注意事项	(171)
5-4-5	微波站天线的方向校正方法	(175)
§ 5—5	天馈线的维护	(178)
5-5-1	天线维护中存在的问题和解决办法	(178)
5-5-2	馈线维护中存在的问题和解决办法	(180)
5-5-3	改善天馈线系统的办法	(182)
附录一	抛物面天线的风荷计算	(185)
附录二	天线方向图的包络曲线	(187)
附录三	天线设计程序及铁塔安装要求	(191)
附录四	微波抛物面天线型谱系列	(193)
附录五	矩形及扁形波导管与法兰盘(摘要)	(204)
附录六	圆形波导法兰盘结构尺寸系列(摘要)	(218)
附录七	卡塞格兰天线设计举例	(221)
附录八	三种常用天线的方向图	(224)
参考文献		(239)

第一章 概 述

§ 1-1 微波和光波有某些类似的基本性质

微波通常是指从300兆赫到3000千兆赫频率范围内的电磁波，是无线电波中波长最短或频率最高的频段。但微波频段的划分并不十分严格，也有指从1千兆赫到3000千兆赫频段为微波范围的。总的，它包括了从1米以下到厘米波、毫米波的全部波长（ $0.1\text{mm}\sim 1\text{m}$ ）。

微波的波长比较短，有和光波非常相似的特征。光波是电磁波中紧接着微波的一部分，但是波长更短（频率更高）。因此常不用赫芝为单位来表示而改用埃（ $\text{\AA}$ ）， $1\text{\AA}$ 等于 10^{-10} 米。

从物理学上早已知道，光（即光波的传播过程）具有这样一些特点：光能反射、折射、绕射，在空间传播时光是沿直线前进的，这和微波在利用空间波传播时的特性非常相似。光分为两大部分：看得见的可见光，和看不见的红外光及紫外光。另一方面光可以聚束，利用透镜原理将散射光聚集成光束。微波也有这种特点，利用这种聚束特性做成的天线有很强的方向性和很高的增益，是常用的微波天线型式，由于它利用透镜原理，在结构上很像一个透镜，所以叫做透镜天线。因为它是一个曲“面”，和从前使用的中长波、短波、甚至超短波使用的“线天线”不同，因而又叫做“面天线”。

当然，面天线还有其他多种形式，但它们几乎都是利用光学原理设计和制造的。在微波场合下，对面的精度要求一般为

1/16波长左右，而这个波长一般是以 cm 为单位。故要求不象光波段那样严格。例如抛物面天线对镜面的要求，其公差控制在 $4GHz$ 为 $4mm$ 、 $6GHz$ 为 $3mm$ 、 $11GHz$ 为 $1.7mm$ 以下的精度。由此看来频率越高对镜面加工就愈困难。

§ 1-2 抛物面天线的广泛应用

天线发展早期，是用于中波、短波和超短波频段，这种天线一般均称为线式天线。具体代表是，偶极子天线、 T 型天线、菱形天线、顶负载天线和八木天线等。后来出现了面式天线，例如，喇叭天线和抛物面天线、透镜天线等。随着频率升高，面式天线应用越来越广泛。目前广泛运用于卫星接力通信地球站中的大型抛物面天线直径为 $\phi 26 \sim \phi 32m$ 。中小型卫星地球站用天线直径为 $\phi 4.5 \sim \phi 12m$ 。用于天文宇宙观测的大型天线的直径达 $100m$ 。超视距警戒雷达也用大型抛物面天线。特别是地面固定和移动接力通信的发展，抛物面天线应用得更广泛，其尺寸有 $\phi 0.6 \sim \phi 4.5m$ 等系列尺寸。各个国家都把抛物面天线口径制订成标准系列。目前日本利用广播卫星播放电视节目，家庭生活文娱节目已不单由电视台播放，而是通过 $\phi 0.6m$ 抛物面天线直接接收卫星广播和电视节目。

§ 1-3 抛物面天线在接力通信中的重要作用

在微波频段用于接力通信用的天线几乎都采用抛物面天线，这说明抛物面天线具有它本身的特点。在线式天线理论中，我们知道如果要获得高的天线增益，要用无数个振子排列组合，构成天线阵面，而且要保证规定的馈电相位，例如，短波

中用的同相水平天线阵和目前飞机上用的小型相控阵天线均是按照这个基本理论制作的。但是这种合成条件非常严格，并且结构非常复杂。尽管微波集成光刻技术有了较高的发展，要得到较高的增益也是困难的。在八木天线中，引向器的数量越多，会使增益做的高一些，但每个单元要获得10分贝增益也是比较困难的。一般只有7~8分贝。目前八木天线最高组阵增益在18分贝之下。但对微波频段的抛物天线来讲，可以把开口径看成由无数个振子排列着而合成辐射。例如4GHz(7.5cm)，开口径为3.3m，天线增益达到40分贝并不困难，而获得相同的增益，如用八木天线，几乎需20组同相馈电单元组合，但实现也是非常困难的。在微波频带，天线增益系数一般很容易做到 $G=10000\sim1000000$ 。对于接力通信用的天线来讲，首先必须具有高增益，且点对点通信要具有尖锐射束，有时叫做铅笔形射束，如图1-1所示。想在通信方向构成效率高的通路。必须具有很强的方向性。

而在其它方向尽量减少辐射。为了进一步说明微波天线在接力通信中的作用，我们将从两个方面来描述。

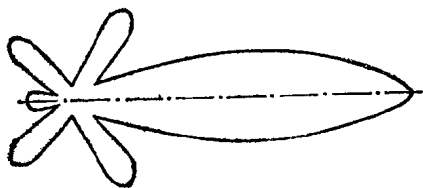


图 1-1 铅笔射束图

第一是关于接力站间天线之间的耦合问题。第二是天线极化问题。

1-3 1 接力站间天线间的耦合问题（与总杂音关系）

微波抛物面天线具有方向性、耦合特性，增益，阻抗等参数，这和线式天线完全相同。在微波接力电路设计中，电路总噪声来源于热噪声、干扰噪声和串话噪声三种。整个天线系统

(其中包括馈电设备)的热噪声与天线增益和馈线损耗有直接关系,干扰噪声由天线方向性和耦合特性来决定,而串话噪声又起因于反射特性(即阻抗匹配)。图1-2表示,在接力站

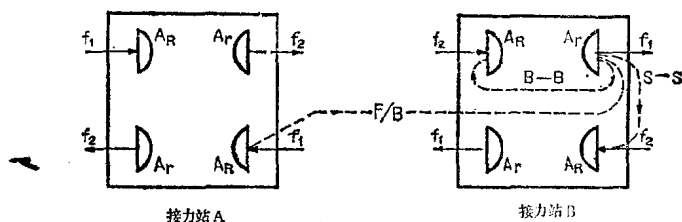


图 1-2 接力站的天线间的耦合途径

A、B, 天线排列时所表示的干扰路径。天线间耦合量的大小与相对距离和安装角度位置有密切关系,当然更与单个天线辐射特性有直接关系。我们一般把向后方和侧方辐射值分别定为前后比(F/B)和前侧比(F/S)。在同一个方向二个天线之间耦合定为边与边耦合($S-S$)。把相反两个方向之间耦合,称为背向耦合($B-B$)。对于所有这些干扰特性统称为天线耦合特性(单位用分贝)。为了减少分支电路方向的干扰,必须采用不同极化波组合方式。

其次关于串噪声:从噪声分配来看,要求把天线的反射特性、天线和馈线间反射特性、收发信机反射特性要考虑进去。因为有反射就会产生回波失真噪声,回波失真效应与下列因素有错综复杂的关系,例如,失配次数,失配规模的大小以及它们之间的距离,波导内的传播速度、每次信道偏移时的信道数,以及总负载等。反射特性与传送容量有着直接关系,随着电视、电话容量的增加对反射要求愈来愈严格。对于输入阻抗必须作具体规定。对于波导管来讲大多用电压驻波比($VSWR$)表示反射量大小。为了减少波导管损失,采用管径粗的圆波导

管，不过各个国家采用的尺寸均不一样，例如在4GHz频段，欧美等国采用 $\phi 71.43\text{mm}$ 、苏联采用 $\phi 73\text{mm}$ ，日本采用 $\phi 69\text{mm}$ ，我国暂按日本标准尺寸。但管径粗衰耗量小容易产生高次模，由于基波和高次模传播常数差别，会产生时延差，因而有时延失真。为了滤除高次模，必须要采用杂模滤除器，但它应对主模衰耗要小。这些问题是天线必须考虑的问题。

1-3-2 天线极化问题

采用极化共用方式可以经济合理地利用频带（垂直和水平共用或者采用左、右旋圆极化方式），收发共用一部天线的方式如图1-3所示。此时要求天线具有一定的极化去耦，在频率分配比较靠近时，要采用滤波器，把两个相邻近的波道频率分开。例如图中的，把 f_1 和 f_1' 、 f_2 和 f_2' 分开，这时要求天线不同极化分量辐射强度要特别小。例如用垂直极化激励时，要求水平极化分量要特别小。

除了上述电性能要求外，天线使用时要装在室外的铁塔上或高处，需要具有足够的机械强度并易于安装。为了保证尖锐射束对准通信方向，必须具有精确方向调整机构。其强度应能在恶劣环境条件下保证使用正常。

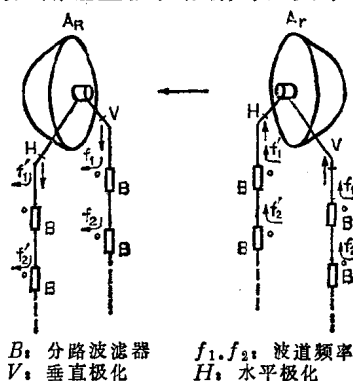


图 1-3 天线的极化共用方式

第二章 抛物面天线的基本原理

§ 2-1 抛物面的基本性质

为了说明抛物面天线工作原理，首先介绍抛物面的性质。抛物面是抛物线沿中心轴旋转而成的，在圆锥曲线方程中，我们有：

$\rho = \frac{ep}{1 - e \cos \varphi}$, ($e = \frac{\rho}{d}$) 用图 2-1 表示曲线参数方程：

判断曲线形状往往采用离心率 e 表示。当 $e < 1$ 时称为椭圆曲线， $e > 1$ 时为双曲线， $e = 1$ 时为抛物线。这里主要讨论是用 $e = 1$ 抛物线形成曲面的问题。为了进一步说明其性质，将圆锥曲线方程坐标改为如图 2-2 所示。在 xoz 平面内，

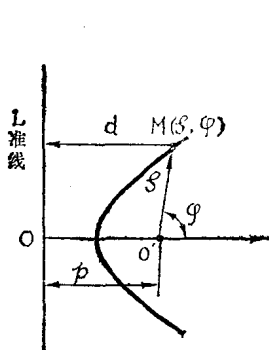


图 2-1 抛物线的参数

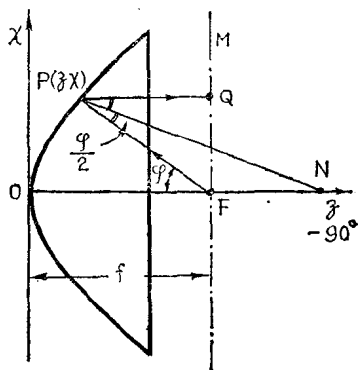


图 2-2 抛物线的几何座标

O 为抛物线顶点， F 为抛物面焦点， f 为抛物线焦距。这时抛物线方程为：

$$x^2 = 4fz \quad (2-1)$$

对旋转抛物面来讲：

$$x^2 + y^2 = 4fz \quad (2-2)$$

在极坐标系统中：

$$\rho = \frac{2f}{1 + \cos\varphi} \quad (2-3)$$

如果在 z 轴正方向上任取一点，作一与 x 轴平行的直线作基准线（如图中 $\overline{MF}$ ），则应用解析几何的方法，可以证明抛物线的两个基本特性。

① 自焦点 F 到抛物线上任意一点 P 的距离 $\overline{FP} + \overline{PQ} = \text{常数}$

② 自抛物线上任意点 P 作抛物线的法线 $\overline{PN}$ ，则 $\angle FPN = \frac{1}{2}\varphi$ ，又根据光学反射定律，反射角等于入射角即 $\angle QPN = \angle FPN = \frac{1}{2}\varphi$ ，故二者之和等于 φ ，因而经抛物面反射的射线 $\overline{PQ}$ 必定和 OZ 轴平行。

对上述关系可通过几何关系加以证明：

设 P 点坐标 (z, x) 且满足方程式 $(2-1)$

$$x^2 = 4fz$$

$$\therefore \overline{PF} = P = \sqrt{(f-z)^2 + x^2} = \sqrt{(f-z)^2 + 4fz} = f + z$$

$$\overline{PQ} = f - z$$

$$\therefore \overline{PF} + \overline{PQ} = f + z + f - z = 2f = \text{常数}$$

这就证明由焦点出发到抛物线上，再反射到口面的基准面上的距离等于一个常数。这说明光程距离是一个常数，同样可证明入射角等于反射角的特性。

抛物线在极坐标中表示式为 $(2-3)$

$$\rho = \frac{2f}{1 + \cos\varphi} = \frac{f}{\cos^2 \frac{\varphi}{2}}$$

即

$$\rho(1 + \cos\varphi) = 2f$$

利用半角公式，得

$$\therefore \cos^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{f}{\rho}$$

而

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \frac{\varphi}{2} - 1}} = \sqrt{\frac{\rho}{f} - 1}$$

及

$$\rho = f + z, \quad z = \frac{x^2}{4f}$$

故得

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{z}{f}} = \sqrt{\frac{x^2}{4f^2}} = \frac{x}{2f}$$

在 P 点，切线的斜率为

$$\frac{dx}{dz} = \frac{4f}{2x} = \frac{2f}{x}$$

过 P 点法线与切线相垂直，故 P 点法线斜率为，

$$\frac{1}{\frac{dx}{dz}} = \frac{x}{2f}$$

$$\angle FPN = \frac{\varphi}{2}, \quad \angle QPN = \angle FPN = \frac{\varphi}{2}$$

上述抛物线性质表明：由焦点 F 发出的所有射线经过反射面反射后，都将平行于抛物线的轴线 oz ，并且到达基准线或抛物面的口面，所走过的行程完全相同。这时镜面口径成为同相激励平面。同相激励平面是高效天线的基本特点。

§ 2-2 抛物面天线的辐射原理

掌握了抛物面性质，就可以利用抛物面构成抛物面天线。

一个抛物面天线除了有反射面之外，还要有一个初级馈源。如果在焦点上放置一个初级馈源，如图2—3表示，由 F 发出是球面波前，经过抛物面反射之后变为平面波前，而各个射线完全与 oz 轴平行。此时条件为 $\rho + \rho \cos \varphi = 2f$ 、 $f = \overline{OF}$ 是成立的，或者 $z = (x^2 + y^2)/4f$ 。由此可知，抛物面天线实际就是波型转换器，它是把一个发散的球面波转换成射束状的平面波。就整个抛物面开口来看，通过初级源照射，使得在需要的方向上产生同相场，相当于把发射能量聚集在 z 轴方向上传播。抛物面天线就实质来讲，可以把它的辐射口面看成是由许许多多连续的源天线或惠更斯源构成的天线阵。这种转换图形如图2-4

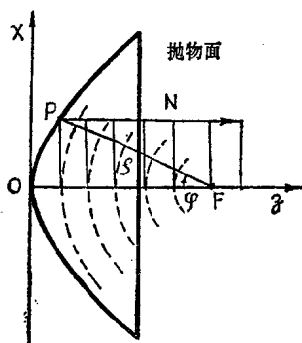


图 2-3 抛物面天线上的电波

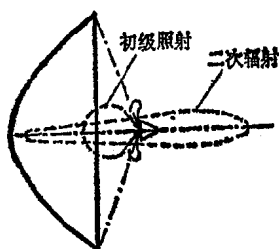


图 2-4 转换图形

所示。这同用多个振子组成天线阵来增强天线方向性的道理一样，当口面源天线数增加，就等于增大了辐射口面面积，则天线方向性就加强。所以在面式天线中、辐射口径用波长 λ 来表示，波长数愈多，则说明它的方向性愈尖锐。这里应指出的是，抛物面口径尺寸是有限的，与波长相比，不是很大，按几何光学原理是有一定误差，然而实验证明这种分析仍接近实际。