

天线微波程序集

天线微波程序集

王世锦 陈代宗 冀秀芹 编

宇航出版社



天线微波程序集

王世锦 陈代宗 冀秀芹 编

宇航出版社

内 容 简 介

本书收入天线微波专业的50个计算机程序,内容涉及到反射面天线、喇叭天线、线天线、阵列天线、微带天线和微带电路、波导和波导器件,以及实验数据处理等方面。每个程序都给出了数学模型、限制和精度、操作步骤、应用举例、参考文献和程序清单。程序操作均为人机交互式,并配有彩色图形和英文摘要。

本书适合于天线、微波、通信、雷达、导航及相关专业的工程技术人员、大学生、研究生和教师阅读。书中程序可以直接用于工程实践,也可作为学习计算机辅助设计和分析的习题。

天 线 微 波 程 序 集

王世锦 陈代宗 冀秀芹 编

责任编辑:宋纯

☆

宇航出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.5 字数: 558千字

1989年4月第1版第1次印刷 印数: 1—2500册

ISBN7-80034-175-5/TN·007 定价: 7.70元

序 言

自麦克斯威创建经典电磁理论以来,已有百余年的历史。以经典电磁理论为基础,近四、五十年来人们又建立和发展了天线和微波理论,提出了各种分析和设计方法,使天线和微波技术得到了飞速的发展。一般说来,电磁理论涉及到的数学较多,公式冗长,计算繁琐,还要用到多种特殊函数,因此往往要借助于计算机。至于近二、三十年间发展起来的电磁场数值技术,离开计算机更是寸步难行。然而,各种理论分析和设计方法一旦在计算机上实现,便立刻对工程实践发挥巨大的指导作用。使用计算机可以在几小时甚至几分钟内作完过去要几天才能完成的工作,并且可以提高设计精确度,可以模拟各种因素对产品性能的影响,减少实验次数,国外和国内的若干单位已经是这样做了。为使计算机能完成上述工作,必须排程序,需在专业程序设计上花费巨大的劳动。这是一项耐心细致的工作,有时又是相当乏味的工作,常常使实际工作者望而却步,限制了电磁理论对工程实践的指导作用。本书为读者提供一些“拿来就能用”的程序,帮助工程设计人员缩短理论到实践的距离。以工程电磁理论为基础,以计算机为工具,解决天线和微波工程中的实际问题,这就是本书的宗旨。

数学模型是工程问题的数学描述,是程序设计的依据。本书的重点不是去建立数学模型,而是为工程问题选择合适的已有的数学模型来编制通用程序。这对在天线微波专业中普及计算机的应用是有益的。

收入本书的程序系由23位作者所作。虽然全部程序已经多次考核,并经国内二十多个单位试用,但也难免有不当乃至错误之处。为天线和微波专业编写这种程序集,尚属初步尝试。结合工程电磁理论和计算技术,推动天线和微波事业在我国迅速发展,还需同行们共同努力。

陈敬熊

1986年10月

前 言

一、程序说明书和程序清单

本书为读者提供有关天线和微波专业的50个计算机程序，内容涉及到反射面天线、喇叭天线、线天线、阵列天线、微带天线和微带电路，波导传输线以及实验数据处理等方面。每一个程序包括程序说明书和程序清单两部分。程序说明书构成本书的正文，程序清单统一收入本书的附录。

程序说明书一般包括下面五个方面的内容：

1.数学模型。给出用以编程的设计和计算公式，包括所用到的特殊函数的计算公式。为节省篇幅，公式的推导过程从略（对此有兴趣的读者可参阅该程序指明的参考文献）。对于一些常用的数值分析技术，例如，各种数值积分、超越方程（组）求根、实系数和复系数的矩阵反演、常微分方程的初值问题、最佳化技术等，本书只说明所用到的方法，其细节容易从有关数值分析的书中找到。

2.限制和精度。说明该程序的适用范围，以及设计和分析结果的精确程度。数学模型、数值方法和计算机系统软件（编译程序和解释程序）都可能对程序输入参数的取值范围构成限制，也都可能影响程序输出数据的准确性。

3.操作步骤。说明程序的使用方法。

4.应用举例。通过实例说明程序的使用效果。

5.参考文献。该程序数学模型中公式的来源、推导过程或适用范围，可在列出的参考文献中找到。

本书附录给出50个程序的源程序清单，各程序按其序号命名，例如，No.01程序的源程序名为01·BAS，No.02程序的源程序名为02·BAS等。全部源程序均采用IBM PC编译BASIC语言编写。IBM PC（包括IBM PC/XT）是当前主流微型计算机；加上众多的兼容机，特别是国产0520系列机，在国内用户甚广；选择这种机型保证了程序的通用性。BASIC语言简单灵活，普及率高，选择这种语言可使对计算机尚感陌生的读者易于掌握书中的程序。此外，IBM PC BASIC还有较强的彩色图形功能，给交互式的输入输出带来方便。为解决运算速度问题，我们使源程序符合IBM PC编译BASIC语法规则，经编译和连接后，均可生成目标程序和加速目标程序，基本上达到了FORTRAN的速度。为保证计算精度，有些程序采用了双精度运算（15位字长）。

二、源程序、目标程序和加速目标程序

利用附录中任何一个程序清单，都可以生成三个程序。以No.06程序为例，这就是源程序06·BAS，目标程序06·EXE，以及加速目标程序，不妨命名为0687·EXE。

1.源程序。在IBM PC高级BASIC解释程序（或各兼容机上相应的解释程序，例如，长城0520机上的GWBASIC）管理下，将附录中06·BAS的程序清单逐行输入计算机后，如果打SAVE“06·BAS”，A，便将源程序存入磁盘，如果打RUN，程序便开始运行，并得到预期的结果。对于含有双精度运算的程序，必须使用IBM PC BASIC2.0以上的版本；在装入解

释程序时,还应选用/D开关,才能提供双精度函数运算。

2.目标程序。源程序06·BAS在磁盘上生成后,可用IBM PC的编译程序BASC0M对它进行编译,再用连接程序LINK进行连接,即生成目标程序06·EXE。目标程序属于可执行程序,在计算机操作系统管理下,直接打文件名06,即可将程序调入内存,并开始运行,一般说来,编译BASIC的运算速度比解释BASIC快4~10倍。

3.加速目标程序。如果计算机内已安装了8087协处理器芯片,还可以利用加速的编译程序87BASC0M对源程序进行编译,经LINK连接后生成加速目标程序0687·EXE。使用8087芯片极大地提高了浮点运算速度,对于单精度运算, $\times \times 87 \cdot \text{EXE}$ 一般比 $\times \times \cdot \text{EXE}$ 快3~5倍;对于双精度运算, $\times \times 87 \cdot \text{EXE}$ 则可比 $\times \times \cdot \text{EXE}$ 快10~30倍。这样,处理几千点的数值积分,或几十阶的复数矩阵,在速度和精度方面都不成问题。

三、交互式的操作方法

用户通过控制台上的人机对话控制程序运行,以取得所需的结果。这里所说的控制台,包括显示器(亦称屏幕)和键盘。每份程序说明书的操作步骤一节,均给出一个实例,具体列出人机对话的过程,即程序运行时屏幕上出现的信息;其中,黑体字表示用户从键盘上打入的字符,其他字符和图形都是程序产生的。

将载有目标程序的软盘插入驱动器后,打程序号,相应的目标程序 $\times \times \cdot \text{EXE}$ 即装入内存,并立即开始运行。屏幕上首先出现程序号和英文摘要,说明该程序的功能和操作方法。大多数程序接着显示一幅或两幅图形,图中注明有关的几何参数;用户可看图向程序输入数据,程序通过显示器作出回答。简单的程序将直接给出结果。比较复杂的程序则以数表、曲线或图形的方式显示若干中间结果,例如,参数在迭代过程中的变化情况,输入阻抗的频率特性曲线,卡塞格伦天线剖面图,匹配物在波导中的位置、以及天线方向图、阻抗圆图等,最后结果由打印机或绘图仪输出。在具有多种功能的程序中,屏幕上将显示一个菜单,用户选择一项功能并取得相应的结果后,屏幕上再次出现菜单,用户还可选择其他功能。有些程序还备有二级菜单。

本书50个程序彼此保持相对独立,每个程序都可以单独运行,程序之间通过数据文件来传送数据。例如, No.01, No.02, No.11和 No.12等程序能够计算天线方向图,在运行这些程序时,用户可以指定一个文件名,程序在打印方向图列表的同时,还在磁盘上建立一个方向图数据文件,将算得的方向图数据保存在这个文件中。No.42程序读取这个数据文件,即可以显示方向图的形状,也可以对方向图进行合并、修改和变换。No.43和 No.44程序读取这个数据文件,则可在绘图仪上绘制直角坐标和极坐标天线方向图。又如 No.34~No.37程序算出波导中各种不连续性的散射参数后,也可以建立相应的 S 参数数据文件, No.50程序则可对这些数据文件进行处理。上述全部数据文件均采用十进制格式,可以用操作系统的TYPE命令显示或打印出来。

本书操作步骤一节提供的人机对话过程可以作为程序正确性的考题;应用举例中的数据也可以用来检查程序的正确性。用同一份程序清单产生的三个程序,即 $\times \times \cdot \text{BAS}$, $\times \times \cdot \text{EXE}$ 和 $\times \times 87 \cdot \text{EXE}$,所得结果有时会有微小的差异,这反映出系统软件(IBM PC编译程序和解释程序)引入的误差。本书列出的均为 $\times \times \cdot \text{EXE}$ 的输出数据。

四、谢 辞

陈敬熊教授审阅了全书50个程序的数学模型,李世智教授审阅了50个程序的英文摘要,

他们都提出了宝贵的修改意见。此外，我们还得到了文定和李桂生研究员，张俭高级工程师，朱晓辉和王维玲同志以及国防科学技术大学 403 教研室和上海科学技术大学电子物理研究所有关同志的帮助，在此一并表示感谢。

在编写本书的过程中，穆春英、韩明芳同志与我们一起工作，她们除负责抄写、绘图和程序录入工作外，还参加了程序的调试和考核工作。没有她们的辛勤劳动，本书在短时间内脱稿是不可能的。

书中署名的24个程序是由20位作者编写的。我们阅读、核对了他们提供的程序说明书，在计算机上实际考核了有关的程序。书中未署名的26个程序是由本书编者完成的。由于我们学识水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1986年10月于北京

目 录

第一章 反射面天线	1
№.01 抛物面天线方向图的计算	1
№.02 抛物面天线菲涅尔区方向图的计算	6
№.03 卡塞格伦天线的几何设计	8
№.04 变态双反射面天线的面形设计	13
№.05 具有变态副面的卡塞格伦天线的设计	18
№.06 五喇叭单脉冲天线的分析	24
№.07 偏置抛物面天线方向图的计算	28
№.08 赋形反射面天线中截线设计及方向图计算	34
№.09 有限扫描天线的几何设计	39
第二章 喇叭天线	45
№.10 角锥喇叭的分析和设计	45
№.11 对角喇叭方向图和相位中心的计算	53
№.12 矩形孔径单脉冲多模馈源方向图的计算	57
№.13 圆孔径多模馈源方向图和相位中心的计算	61
№.14 圆孔径波纹喇叭方向图和相位中心的计算	67
第三章 线天线	71
№.15 圆环辐射特性的分析	71
№.16 线天线的分析 (Hallen积分方程)	73
№.17 线天线的分析 (Pocklington积分方程)	77
№.18 有耗介质中的线天线的分析	81
№.19 有耗地面上水平天线传播常数的计算	84
第四章 阵列天线	87
№.20 切比舍夫线阵和泰勒线阵的设计	87
№.21 单平面天线阵的综合	92
№.22 环形天线阵的分析与综合	97
№.23 三维天线阵方向图的计算	103
№.24 矩形波导相控阵天线输入导纳的计算	108
第五章 微带天线和微带电路	113
№.25 微带梳齿阵的分析和设计	113
№.26 矩形微带天线谐振频率的计算和基片介电常数的确定	117
№.27 带线交指滤波器设计	120
№.28 微带阶梯阻抗变换器的设计	124
№.29 微带环形电桥的设计	128
№.30 微波网络的分析	130
№.31 由双层介质覆盖的微带线的分析	134
№.32 介质层上折线栅的分析	137

№.33	矩形金属栅网传输特性的分析	143
第六章	波导和波导器件.....	148
№.34	矩形波导H面和E面阶梯的分析	148
№.35	矩形波导中电感圆柱和电容圆柱的分析	153
№.36	矩形波导中电感窗的分析	158
№.37	矩形波导中电容窗的分析	161
№.38	介质加载矩形波导不连续性的分析	165
№.39	波导平面电路带通滤波器的设计	169
№.40	波导圆极化器的设计	175
№.41	波导-同轴转换器的设计.....	181
第七章	实验数据处理.....	185
№.42	天线方向图数据文件的建立	185
№.43	绘制直角坐标方向图	192
№.44	绘制极坐标方向图	196
№.45	打印天线口面场等值线图	198
№.46	S参数数据文件的建立	203
№.47	阻抗圆图	211
№.48	用标量网络分析仪测量反射系数相位	215
№.49	用电感圆柱匹配波导器件的动态模拟	221
№.50	网络的级联分解和取中	226
附录	程序清单.....	231

第一章 反射面天线

№.01 抛物面天线方向图的计算

本程序将旋转对称抛物面的口面电场按傅里叶级数和变态雅可比多项式展开,以求天线的主极化和交叉极化方向图。

一、数学模型

旋转对称抛物面反射器和线极化馈源构成一个抛物面天线。见图1-1,以抛物面焦点为原点,设立直角坐标系 $Fxyz$,则抛物面的方程可表示为

$$z = F - \frac{x^2 + y^2}{4F}, \quad x^2 + y^2 \leq \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (1-1)$$

式中 D ——反射器的直径, F ——抛物面的焦距。为描述馈源的辐射场,引入以 F 为原点, Fz 轴为极轴的球坐标系 (r, θ', ϕ') 。假定馈源的功率方向图为 $G_t(\theta', \phi')$,在 F 点有稳定的相位中心,并具有理想的线极化特性(取向为 $\hat{g}$),馈源在抛物面上点 $P(r, \theta', \phi')$ 处的投射电场为〔1〕

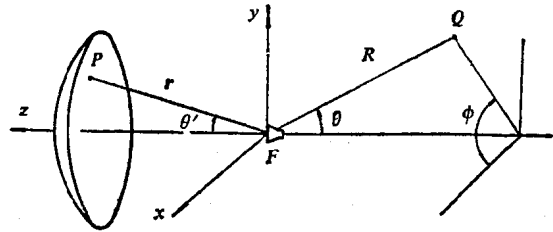


图1-1 抛物面天线及坐标系

$$\vec{E}_i(r, \theta', \phi') = \hat{e}_i C \sqrt{G_t(\theta', \phi')} \frac{e^{-jkr}}{r}$$

式中

$$C = \sqrt{\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{P_t}{2\pi}},$$

P_t ——馈源的总辐射功率, $(\mu/\epsilon)^{\frac{1}{2}}$ ——自由空间波阻抗, $k = 2\pi/\lambda$, λ ——工作波长. $\hat{e}_i$ 是一个位于平面 $(\hat{r}, \hat{g})$ 内且与 $\hat{r}$ 正交的单位矢量,即

$$\hat{e}_i = \frac{\hat{r} \times (\hat{g} \times \hat{r})}{|\hat{r} \times (\hat{g} \times \hat{r})|} = \frac{\cos\theta' \sin\phi' \hat{\theta}' + \cos\phi' \hat{\phi}'}{\sqrt{1 - \sin^2\theta' \sin^2\phi'}}$$

抛物面上 P 点的反射场用下述公式计算:

$$\vec{E}_r = 2(\hat{n} \cdot \vec{E}_i) - \vec{E}_i$$

$\hat{n}$ ——抛物面的单位法矢量,

$$\hat{n} = -\hat{r} \cos \frac{\theta'}{2} + \hat{\theta}' \sin \frac{\theta'}{2}$$

选择通过焦点 F 与 Fz 轴正交的平面为天线口面,口面上的电场为

$$\vec{E}_a = \vec{E}_r e^{-jk r \cos \theta'} = \hat{e}_r C \sqrt{G_f(\theta', \phi')} \frac{e^{-jk 2F}}{r}$$

式中 C ——常数； $\hat{e}_r$ ——表示反射场极化特性的单位矢量， $\hat{e}_r = 2(\hat{n} \cdot \hat{e}_i) - \hat{e}_i = e_{rx}\hat{x} + e_{ry}\hat{y}$

$$e_{rx} = \frac{(1 - \cos \theta') \sin \phi' \cos \phi'}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta' \sin^2 \phi'}}, \quad e_{ry} = -\frac{\cos \theta' \sin^2 \phi' + \cos^2 \phi'}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta' \sin^2 \phi'}}$$

这样，口面电场 $\vec{E}_a$ 的主极化分量 E_{ay} 和交叉极化分量 E_{ax} 便可分别表示为

$$E_{ay} = C \sqrt{G_f(\theta', \phi')} \frac{e^{-jk 2F}}{r} e_{ry}$$

$$E_{ax} = C \sqrt{G_f(\theta', \phi')} \frac{e^{-jk 2F}}{r} e_{rx}$$

见图1-1，用 (R, θ, ϕ) 表示远区观察点 Q 的坐标。这里 $R = |\vec{FQ}|$ ， θ 是 $\vec{FQ}$ 与 $-\hat{z}$ 的夹角， ϕ 是 $\vec{FQ}$ 在 xy 平面上的投影与 $\hat{x}$ 的夹角。 Q 点的电场正比于 $\vec{E} = E_\theta \hat{\theta} + E_\phi \hat{\phi}$ 当 θ 较小时，

$$E_\theta = E_x \cos \phi + E_y \sin \phi, \quad E_\phi = -E_x \sin \phi + E_y \cos \phi$$

$$E_x = (1 + \cos \theta) \iint_A \frac{\sqrt{G_f(\theta', \phi')}}{r} e_{rx} e^{jk \vec{r} \cdot \vec{R}} dA \quad (1-2a)$$

$$E_y = (1 + \cos \theta) \iint_A \frac{\sqrt{G_f(\theta', \phi')}}{r} e_{ry} e^{jk \vec{r} \cdot \vec{R}} dA \quad (1-2b)$$

式中 $\vec{\rho}$ ——由原点 F 指向积分点的矢径；积分区域 A 是口面上直径为 D 的圆： $\rho \leq D/2$ ，令

$\rho = \frac{D}{2}s$ ，注意被积函数中的 r ， θ' ， ϕ' 是反射器上 P 点的坐标：

$$r = F \left[1 + \left(\frac{Ds}{4F} \right)^2 \right], \quad \sin \theta' = \frac{2 \left(\frac{Ds}{4F} \right)}{1 + \left(\frac{Ds}{4F} \right)^2}, \quad \cos \theta' = \frac{1 - \left(\frac{Ds}{4F} \right)^2}{1 + \left(\frac{Ds}{4F} \right)^2}$$

于是，(1-2) 归结为下列形式的积分：

$$E_x = (1 + \cos \theta) \int_0^{1/2} \int_0^{2\pi} f_x(s, \phi') e^{j u s \cos(\phi - \phi')} s ds d\phi'$$

$$E_y = (1 + \cos \theta) \int_0^{1/2} \int_0^{2\pi} f_y(s, \phi') e^{j u s \cos(\phi - \phi')} s ds d\phi'$$

式中

$$u = \frac{\pi D}{\lambda} \sin \theta$$

采用 Galindo 和 Mittra 的算法^[2]，将 f_x 和 f_y 对 ϕ' 作傅里叶展开，对 s 则按变态雅可比级数

$$F_{mn}(s) = \sqrt{2(n+2m+1)} P_m^{(n,0)}(1-2s^2)s^n \quad (1-3)$$

展开，便得到远区场的级数表达式

$$E_x = K(1 + \cos\theta) \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N j^n \sqrt{n+2m+1} \frac{J_{n+2m+1}(u)}{u} (A_{mn} \cos n\phi + B_{mn} \sin n\phi) \quad (1-4a)$$

$$E_y = K(1 + \cos\theta) \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N j^n \sqrt{n+2m+1} \frac{J_{n+2m+1}(u)}{u} (C_{mn} \cos n\phi + D_{mn} \sin n\phi) \quad (1-4b)$$

式中

$$A_{mn} = \frac{1 + \delta_{n0}}{2\pi} \int_0^1 \int_0^{2\pi} f_x(s, \phi') F_{mn}(s) \cos n\phi' s ds d\phi' \quad (1-5a)$$

$$B_{mn} = \frac{1}{2\pi} \int_0^1 \int_0^{2\pi} f_x(s, \phi') F_{mn}(s) \sin n\phi' s ds d\phi' \quad (1-5b)$$

对 C_{mn} 和 D_{mn} 也可以写出类似的公式。 $K = (A_{00}^2 + C_{00}^2)^{-1/2}$ 是归一化系数。

式(1-3)中的 $P_m^{(n,0)}(t)$ 为雅可比多项式,

$$P_m^{(n,0)}(t) = \left(\frac{t-1}{2}\right)^m \sum_{k=0}^m \frac{(m+n)! m!}{(k!)^2 (m+n-k)! (m-k)!} \left(\frac{t+1}{t-1}\right)^k$$

式(1-4)中的 $J_v(u)$ 是贝塞尔函数 ($v = n + 2m + 1$), 按宗量 u 和阶数 v 取值之不同, 采用两种计算公式 (见图1-2)。当 $u < 5$ 时, 使用幂级数展开式

$$J_v(u) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \left(\frac{u}{2}\right)^{2k+v}}{k! (v+k)!} \quad (1-6)$$

当 $v \geq 5$ 时, 先用公式

$$J_0(u) = \frac{2}{\sqrt{u}} \sum_{k=0}^5 \left[P_k \cos\left(u - \frac{\pi}{4}\right) - \frac{4}{u} q_k \sin\left(u - \frac{\pi}{4}\right) \right] \left(\frac{4}{u}\right)^{2k} \quad (1-7a)$$

$$J_1(u) = \frac{2}{\sqrt{u}} \sum_{k=0}^5 \left[u_k \sin\left(u - \frac{\pi}{4}\right) + \frac{4}{u} v_k \cos\left(u - \frac{\pi}{4}\right) \right] \left(\frac{4}{u}\right)^{2k} \quad (1-7b)$$

算出 $J_0(u)$ 和 $J_1(u)$, 再用公式

$$J_{v+1}(u) = \frac{2v}{u} J_v(u) - J_{v-1}(u) \quad (1-8)$$

向上递推, 当推到 $v > u$ 时, 又改用幂级数公式(1-6)。

式(1-7)中的系数 p_k, q_k, u_k, v_k 分别由程序清单中第350~380行中的DATA语句提供。

二、限制与精度

1. 公式(1-2)忽略了反射器边缘的绕射效应以及反射器背面电流的影响, 未考虑馈源的直接辐射以及馈源对反射场的绕射, 因而只适用于 θ 较小的情况, 可用来计算方向图主瓣及其附近的几个副瓣。

2. 对于大口径、长焦距天线, 在上述小角度 θ 范围内, 按本程序所用的口面场法算得的

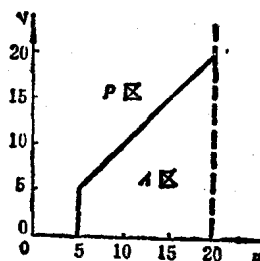


图1-2 计算 $J_v(u)$ 时的分区
P区, 用式(1-6)计算 A区, 用式(1-7)和(1-8)计算

方向图与按表面电流法算得的方向图相符。

3. 计算精度与 M , N 有关。一般说来, 取 $M = N = 3$, 即可保证在 -50dB 电平上的误差小于 1dB (2)。

4. 就程序本身而言, 要求 $F > D/4$, $\theta \leq \arcsin(20\lambda/(\pi D))$ 。计算一个 ϕ 平面内的方向图时, 沿 θ 方向的采样点数不得大于401。

三、操作步骤

为运行本程序, 用户须先从程序清单第3000行开始装入计算馈源方向图 $G_f(\theta', \phi')$ 的子程序。 θ' 和 ϕ' 分别使用变量 THP 和 PHP ; 子程序返回时, G_f 应存入变量 GF 。书中所印程序清单第3000行适用于 $G_f = \cos^2 \theta'$ 的情况。

当 $D = 50\lambda$, $F = 20\lambda$, $\theta = 0^\circ(0.2^\circ)5^\circ$, $M = N = 5$ 时, 为计算 $\phi = 45^\circ$ 平面内的方向图, 并将这组方向图保留到磁盘上(文件名为P-REF-01.PAT), 控制台上的人机对话过程如下, 打印输出见表1-1。

01

No.01

ANALYSIS OF RADIATION PROPERTIES
FOR PARABOLOIDAL REFLECTOR ANTENNAS

This program can be used to compute the radiation pattern of an axisymmetric paraboloidal reflector with linearly polarized source at the focus. Given the primary pattern of the source, the fields of both copolarization and cross-polarization in the aperture plane of reflector are expanded in fourier series and modified Jacobi polynomials, and the far-field is determined by a rapidly convergent series expression of the Bessel functions. The coefficients of the series are independent of the observation angles so that rapid pattern computation is possible for a large number of observation points.

The parameters accepted by this program are :

1. Diameter and focal length of the reflector,
2. Observation angles of Phi and Theta,
3. Number of terms in the series representation.

Once these are entered, the coefficients of the series representation will be displayed, the radiation pattern will be listed, and a far-field datafile for pattern plotting will be created.

A source pattern subroutine starting with line 3000 is needed.

Press any key to continue (任何一鍵)

显示图 1-1

D, F (in wavelengths) : 50, 20

Phi (in deg.) : 45

Theta (in deg.) : min,max,step : 0,5,0.2

Numbers of series-terms : M,N : 5,5

m	n	A _{mn}	B _{mn}	C _{mn}	D _{mn}
0	0	2.2981E-11	0.0000E+00	-3.6066E-02	0.0000E+00
1	0	-2.3561E-11	0.0000E+00	-1.5589E-02	0.0000E+00
2	0	3.3357E-12	0.0000E+00	-2.8962E-03	0.0000E+00
8	0	-3.8822E-13	0.0000E+00	-3.8359E-04	0.0000E+00
4	0	-2.4289E-12	0.0000E+00	-4.4859E-05	0.0000E+00
5	0	5.4049E-12	0.0000E+00	-3.2077E-06	0.0000E+00
:	:	:	:	:	:
5	5	1.5671E-11	-1.4309E-11	-2.6726E-10	2.3585E-10

Save a DATAFILE of pattern for plotting? (Y/N) y

Filename : P-REF-01.PAT

GO ON or EXIT? (G/E) E

END

表1-1 PATTERN OF PARABOLOIDAL REFLECTOR ANTENNA

D=50 F=20 (wavelengths) Phi=45deg.

Theta	E _x	E _y	E _{theta}	E _{phi}	E	E(dB)
0.0000	0.0000	1.0000	0.7071	0.7071	1.0000	0.00
0.2000	0.0008	0.9721	0.6879	0.6868	0.9721	-0.25
0.4000	0.0030	0.8919	0.6328	0.6286	0.8919	-0.99
0.6000	0.0061	0.7695	0.5484	0.5398	0.7695	-2.28
0.8000	0.0096	0.6196	0.4449	0.4313	0.6197	-4.16
1.0000	0.0127	0.4595	0.3339	0.3159	0.4596	-6.75
1.2000	0.0149	0.3060	0.2269	0.2059	0.3064	-10.27
1.4000	0.0156	0.1734	0.1337	0.1116	0.1741	-15.18
1.6000	0.0148	0.0711	0.0608	0.0398	0.0726	-22.78
1.8000	0.0126	0.0030	0.0110	0.0069	0.0130	-37.73
2.0000	0.0095	0.0325	0.0163	0.0297	0.0339	-29.40
2.2000	0.0059	0.0413	0.0250	0.0333	0.0417	-27.60
2.4000	0.0024	0.0318	0.0208	0.0242	0.0319	-29.93
2.6000	0.0004	0.0135	0.0098	0.0092	0.0135	-37.41
2.8000	0.0023	0.0055	0.0023	0.0055	0.0059	-44.55
3.0000	0.0030	0.0191	0.0114	0.0156	0.0194	-34.27
3.2000	0.0028	0.0246	0.0154	0.0193	0.0247	-32.13
3.4000	0.0018	0.0219	0.0142	0.0168	0.0220	-33.16
3.6000	0.0006	0.0133	0.0090	0.0098	0.0133	-37.52
3.8000	0.0006	0.0022	0.0020	0.0011	0.0023	-52.77
4.0000	0.0014	0.0078	0.0045	0.0065	0.0079	-42.01
4.2000	0.0018	0.0141	0.0088	0.0112	0.0142	-36.93
4.4000	0.0016	0.0155	0.0099	0.0121	0.0156	-36.13
4.6000	0.0010	0.0123	0.0080	0.0094	0.0123	-38.17
4.8000	0.0002	0.0060	0.0041	0.0044	0.0060	-44.49
5.0000	0.0005	0.0013	0.0005	0.0013	0.0014	-56.97

M = 5 N = 5

DATE: 05-02-1986

⊖ 键入E后, 程序结束。若键入G, 程序提示用户再次输入φ, 可继续计算其他φ平面内的方向图。

四、应用举例

本书№.43程序读取方向图数据文件P-REF-01.PAT, 按表1-1中的 E_y 和 E_x 绘出抛物面天线的主极化方向图和交叉极化方向图, 即图1-3。绘制方向图的操作步骤请参见№.43程序。

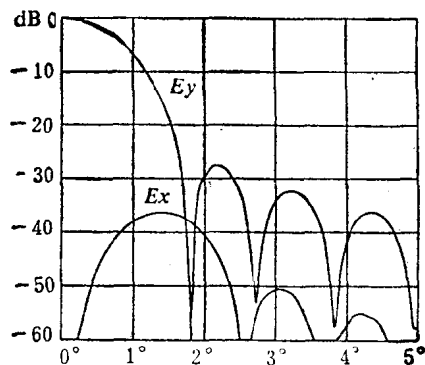


图1-3 主极化和交叉极化方向图
 $D=50\lambda$, $F=20\lambda$, $G_t=\cos^{1.12}\theta'$, $\phi=45^\circ$

五、参考文献

- (1) C.A.Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, pp.607~619, Harper & Row, Publishers, Inc., 1982.
- (2) V. Galindo-Israel and R. Mittra, A New series Representation for the Radiation Integral with Application to Reflector Antennas, IEEE Trans., vol. AP-25, pp.631~641, 1977.

№.02 抛物面天线菲涅尔区方向图的计算

作者 谢良贵

本程序计算抛物面天线菲涅尔区的方向图。

一、数学模型

如图1-1所示的轴对称抛物面天线, 口面直径为 D , 焦距为 F , 轴对称馈源的功率方向图为 $G_t(\theta')$, 其相位中心在抛物面的焦点上。按标量柯希霍夫公式, 天线方向图可用下式计算^[1]:

$$F(\theta) = \iint_S E(x, y) e^{-ikr} dS \quad (2-1)$$

式中 r ——观察点到口面 S 上源点 (x, y) 的距离, $E(x, y) = \sqrt{G_t(\theta')} \cos^2 \frac{\theta'}{2}$ 。

在菲涅尔区, 保留平方项的相位差, 利用对称性可将式(2-1)化为:

$$F(\theta) = \iint_S E(x, y) e^{jk \left(x \sin \theta - \frac{x^2}{2R} \cos^2 \theta - \frac{y^2}{2R} \right)} dx dy \quad (2-2)$$

式中 R ——观察点到天线口面中心的距离。

二、限制与精度

1. 本程序忽略了反射器边缘以及馈源的绕射效应, 因而只适用于 D/λ 很大而 θ 较小的情况。

2. $R > 0.62D(D/\lambda)^{1/2}$ 。

3. 本程序选用 Gauss-Legendre 双重积分, 按积分区间的大小自动确定分点数目, 数值计算本身可精确到四位有效数字。

三、操作步骤

为运行本程序, 用户应先从程序清单第3000行开始装入计算馈源功率方向图函数 $G_f(\theta')$ 的子程序。在该子程序中, 馈源坐标系的 θ' 用变量 THP 表示, 子程序返回时, G_f 应存入变量 GF 中; 该子程序中的变量不能与主程序中的变量同名。作为例子, 书中所印的程序清单第3000行, 取馈源功率方向图函数为 $\cos^{2.82}\theta'$ 。

程序启动后显示英文摘要和图1-1。用户输入 D/λ 、 F/λ 、 R/λ , 以及观察角度 θ 的取值范围后, 打印机输出方向图数值列表。当 $D/\lambda = 50$ 、 $F/\lambda = 20$, $R/\lambda = 500$ 时, 控制台上的人机对话过程如下, 打印输出见表2-1。

02

№.02

RADIATION PROPERTIES OF PARABOLOIDAL REFLECTOR ANTENNAS IN FRESNEL REGION

This program can be used to compute the radiation pattern in the Fresnel region for an axi-symmetrical paraboloidal reflector antenna. Based upon the geometric optics theory, the fields in the reflector aperture are determined, and the fields of the observation points in the Fresnel region are predicted.

The parameters accepted by this program are:

1. Diameter and focal length of the reflector,
2. Observation distance from reflector to field points,
3. Observation angles of Theta.

After these parameters are entered, the radiation pattern will be listed.

A source pattern subroutine starting with line 3000 is needed.

Press any key to continue (任何一鍵)

显示图 1-1

D, F, R (in wavelengths): 50, 20, 500

Theta (in deg.): min, max, step: 0, 3.8, 0.2

Save a DATAFILE of pattern? (Y/N) N

Go No or EXIT? (G/E) E⊖

⊖ 键入 E 后, 程序结束。若键入 G, 程序将清除屏幕上的数据。用户可输入一组新的参数继续计算。

表2-1 PATTERN OF PARABOLOIDAL REFLECTOR ANTENNA IN THE FRESNEL REGION

	D = 50.0000 (wavelengths)			F = 20.0000 (wavelengths)			R = 500.0000 (wavelengths)			
THETA :	0.0000	0.2000	0.4000	0.6000	0.8000	1.0000	1.2000	1.4000	1.6000	1.8000
E :	1.0000	0.9826	0.9348	0.8679	0.7962	0.7307	0.6738	0.6196	0.5594	0.4887
E (dB) :	0.0000	-0.1522	-0.5855	-1.2307	-1.9797	-2.7256	-3.4291	-4.1577	-5.0449	-6.2184
THETA :	2.0000	2.2000	2.4000	2.6000	2.8000	3.0000	3.2000	3.4000	3.6000	3.8000
E :	0.4101	0.3326	0.2678	0.2231	0.1953	0.1726	0.1462	0.1151	0.0855	0.0670
E (dB) :	-7.7416	-9.5616	-11.4447	-13.0292	-14.1876	-15.2576	-16.6996	-18.7771	-21.3567	-23.4784

DATE: 08-06-1986

四、应用举例

令 $D/\lambda = 50$, $F/\lambda = 20$, 馈源功率方向图函数为 $\cos^{2.92} \theta'$ 时, 取 $R/\lambda = 300$, 500, 1000, 2500, 10^7 , 算得的方向图示于图2-1, 图中曲线示出了当由菲涅尔区过渡到夫朗霍费区时方向图的变化情况。

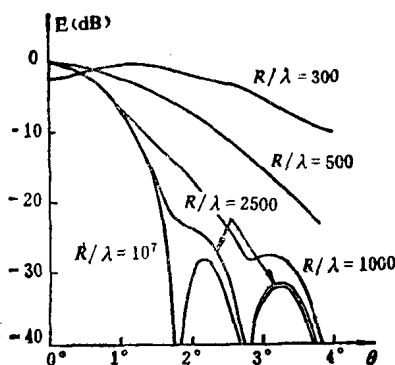


图2-1 天线方向图随R的变化情况

五、参考文献

(1) 爱金堡等著, 汪茂光等译, 超高频天线, 上册, 人民邮电出版社, 1981年。

№.03 卡塞格伦天线的几何设计

本程序计算卡塞格伦天线的尺寸, 按比例显示天线的几何形状, 并打印抛物面和双曲面的坐标。

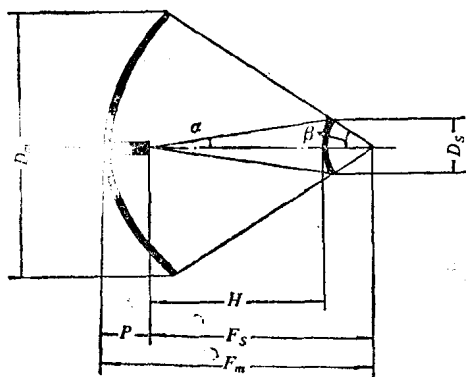


图3-1 卡塞格伦天线的几何关系

一、数学模型

见图3-1, 卡塞格伦天线由主反射面 (旋转抛物面)、副反射面 (旋转双曲面) 和馈源组成。馈源的相位中心位于双曲面的实焦点, 抛物面的焦点与双曲面的虚焦点重合。抛物面的直径为 D_m , 焦距为 F_m , 半张角为 β ; 三者满足关系:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{D_m}{4F_m} \quad (3-1)$$