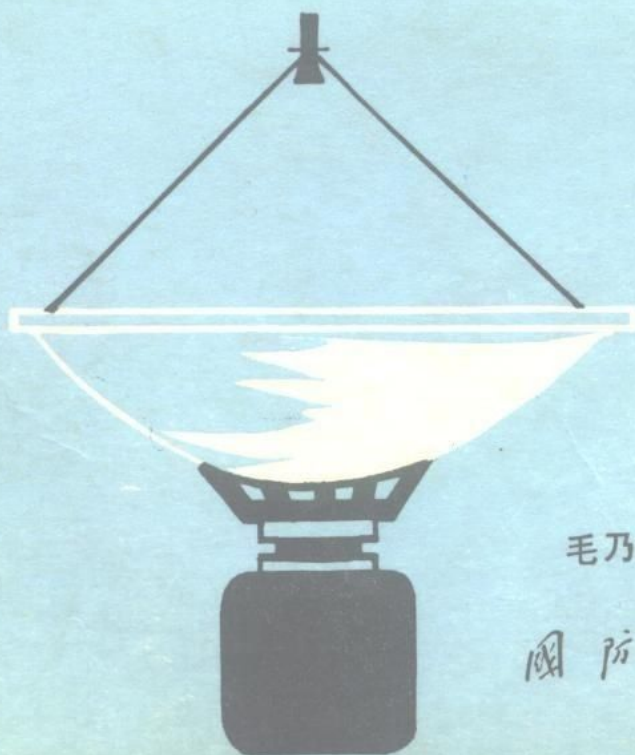


ANTENNA MEASUREMENT HANDBOOK
ANTENNA MEASUREMENT HANDBOOK
ANTENNA MEASUREMENT HANDBOOK
ANTENNA MEASUREMENT HANDBOOK
ANTENNA MEASUREMENT HANDBOOK
ANTENNA MEASUREMENT HANDBOOK
ANTENNA MEASUREMENT HANDBOOK
ANTENNA MEASUREMENT HANDBOOK

天线测量手册



毛乃宏 俱新德 等编著

国防工业出版社

天线测量手册

毛乃宏 俱新德 等编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是一本全面系统介绍天线测量理论和方法的工程技术书籍，也是一本指导天线工程人员进行天线测量的工具书。本书重点叙述了测量天线的环境和条件，测量各频段天线(含天线罩和散射体)电参数的原理和方法。对近年来发展起来的近场测量技术、大天线的射电源测量技术、天线自动化测量设备等内容也作了系统介绍。

全书共十七章。内容包括：天线测试场地的设计与鉴定；模型天线；天线阻抗测量；方向图测量(包含振幅、相位和极化)；增益测量；源场测量；大天线测量；场强测量；抛物面天线反射体的检测；目标散射截面的测量；天线罩测量；瞄准测量；多模测量和天线自动化测量。

本书可以作为工科院校电磁场与微波技术专业的教学参考书，也是从事无线电工程、天线工程方面的技术人员不可缺少的工具书。

天 线 测 量 手 册

毛乃宏 俱新德 等编著

责任编辑 耿新暖

*

国防工业出版社出版

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 1/16 印张 22 7/8 529千字

1987年8月第一版 1987年8月第一次印刷 印数：0,001—5,500册

统一书号：15034·3194 定价：5.15元

前 言

天线测量是解决天线问题的一种手段。通过测量取得定量的天线参数，能测量的参数愈多，测量得愈准确，就愈能深入掌握各种天线的性能与特点。天线理论的研究和天线测量在解决天线技术问题中，是相辅相成相互促进的。编写《天线测量手册》的目的，在于向广大天线理论与工程人员提供天线测量理论与方法上的指导。

天线测量的主要任务是

一、**检验理论** 在求解天线场的问题时，几乎总是对理想条件作数学分析，再进行近似计算。因此理论的正确性必须由实验来检验；

二、**独立研究** 对天线技术中许多理论上还不够成熟的课题，要依靠实验来解决，再逐步上升到理论；

三、**工厂制造检验** 天线在出厂前必须测量它的电参数和机械性能，看它是否达到设计要求；

四、**安装和维修** 天线良好的性能还取决正确地安装、使用和维修。现场测量有时会遇到更复杂的问题。

自 1960 年执行空间计划以来，迫切要求具有较小设计余量的系统能够给出精确的测量结果。这样先前所使用的技术就不能适应了，迫使人们研究新的方法和研制出更多更新的测量设备。现在天线测量和天线设计是同样困难的，而且在研制一副天线的同时就必须提出测量天线的方案。为了加快天线的研制周期，天线工程技术人员还必须亲临第一线参加天线测试任务，他们除了具有雄厚的电磁场和天线基本理论外，还应具备测量、计算和程序设计的能力。

近十年来，天线测量技术在国内外都得到了迅速发展，为了反映当前天线测量的水平，较系统地阐明天线测量的原理和方法，以便于有关人员专题查阅，我们将比较成熟的的天线测量技术独立编排成十七章。第一章天线测试场地的设计与鉴定，系统地叙述了设计天线测试场地（包含暗室）的准则和鉴定的方法。第二章模型天线，从基本方程导出绝对模拟条件，并说明了在模拟测量中应注意的问题。第三章阻抗测量，介绍了目前行之有效的测量各种天线阻抗的方法和测量天线互阻抗的方法。第四章至第六章分别为振幅方向图、相位方向图和极化方向图测量，叙述了测量原理、方法和测量误差。第七章增益测量，介绍了各种测量技术并较详细地分析了测量误差。近场测量和大天线的射电源测量是发展很快的一种测量方法，所以分别在第八章、第九章和第十章介绍。第十一章场强测量，介绍了场强标准和场强计。第十二章至第十六章分别介绍了抛物面天线反射体的检测、目标散射截面的测量、天线罩测量、瞄准测量和多模测量，这些虽然属特殊参数测量，但对天线总体有时起着重大的影响，并且逐渐形成专门的课题，所以仍然分章叙述。第十七章天线自动化测量，简介了天线自动化测量的最新成果。最后在附录中列出了天线测量常用仪表的型号及简要性能，还列出了现在的参考价格。

本书由毛乃宏同志担任主编，他除了对全书逐章修改定稿外，还编写了二、三、四、

五和第十七章。参加编写工作的同志还有俱新德（一、七、八、十、十一、十二、十三章、附录和第九章的初稿）、郭渭盛（六、十四章）、付德民（九、十六章）、魏文元（十五章）、杜家聪（十六章初稿）和杨学文（十四章初稿）。

任朗教授对全书部分初稿进行了审阅，并提出了许多指导性意见。吴小平描绘了全书的插图，董玉良抄写了部分章节。西北电讯工程学院天线教研室对各章进行了多次讨论和细致的审阅，特此致谢。

由于我们水平有限，难免有不当之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 天线测试场地的设计和鉴定	1
§ 1.1 概述	1
§ 1.2 天线的互易测量	1
§ 1.3 天线场的区域划分和测量误差	1
§ 1.4 选取最小测试距离的准则	6
§ 1.5 自由空间测试场	10
§ 1.6 地面反射测试场	12
§ 1.7 无反射室	15
§ 1.8 天线测试场地的鉴定	22
§ 1.9 测量电道的估算	28
附录1A 两类测试场的主要公式汇集	29
附录1B (1.27)式的推导	30
第二章 模型天线	32
§ 2.1 模型天线的意义	32
§ 2.2 模型天线理论	32
§ 2.3 模型天线的结构	34
第三章 天线阻抗测量	36
§ 3.1 概述	36
§ 3.2 Q表法	37
§ 3.3 电桥法	38
§ 3.4 测量线法	44
§ 3.5 变压器法	47
§ 3.6 扫频法	50
§ 3.7 天线互阻抗的测量	58
附录3A TBZ-1驻波仪的工作原型的证明	64
第四章 方向图测量	67
§ 4.1 概述	67
§ 4.2 坐标系及工作坐标系	67
§ 4.3 天线方向图切割及转台(位置控制器)	69
§ 4.4 方向图表示法	73
§ 4.5 方向图测量	76
§ 4.6 方向图的测量误差	78
§ 4.7 天线测量装置产生的角误差	82
§ 4.8 方向图自动描绘系统	85
附录4A 以欧拉角转换球面坐标	88
附录4B 式(4.5)的推导	89

附录4C	式(4.17)的推导	92
第五章	天线相位测量	95
§ 5.1	概述	95
§ 5.2	相角基本概念	95
§ 5.3	测相原理	96
§ 5.4	天线相位方向图测量	106
§ 5.5	天线相位中心的测定	117
附录5A	用微型计算机对网络分析仪测量进行自动修正的详细步骤	122
第六章	极化理论与天线极化参数的测量	126
§ 6.1	引言	126
§ 6.2	极化椭圆的正交分解表示法	127
§ 6.3	潘卡(Poincare')球的概念	138
§ 6.4	任意极化波与任意极化天线之间的能量转换——极化效率概念	145
§ 6.5	天线极化参数的测量	148
§ 6.6	极化图法	148
§ 6.7	利萨如(Lissajou)图法	151
§ 6.8	极化测量的振幅-相位法	153
§ 6.9	多振幅法	158
§ 6.10	互易天线和非互易接收天线	158
§ 6.11	平面地反射对圆极化的影响	159
§ 6.12	极化测量误差	161
附录6A	平面电磁波的正交性	164
附录6B	关于 $\Gamma = \cos^2\phi$ 的证明	166
第七章	增益测量	169
§ 7.1	概述	169
§ 7.2	方向系数测量	170
§ 7.3	电小天线效率的测量	177
§ 7.4	标准增益天线	180
§ 7.5	增益测量	186
§ 7.6	增益测量误差	193
§ 7.7	减少地面反射的方法	205
§ 7.8	增益的扫频测量	208
第八章	源场测量	211
§ 8.1	取样探头	211
§ 8.2	源场测量	215
第九章	近场测量	222
§ 9.1	引言	222
§ 9.2	缩距法	223
§ 9.3	聚焦法	225
§ 9.4	近场扫描技术	229
附录9A	式(9.37)的证明	250
附录9B		251

第十章	大天线测量	254
§ 10.1	概述	254
§ 10.2	测量大天线用的射电源	254
§ 10.3	G/T 测量	255
§ 10.4	大天线的增益测量	263
§ 10.5	大天线的有效面积和方向图测量	266
§ 10.6	怎样寻找射电源	268
第十一章	场强测量	272
§ 11.1	概述	272
§ 11.2	场强标准	272
§ 11.3	场强计	276
§ 11.4	干扰场强计	278
第十二章	抛物面天线反射体的检测	281
§ 12.1	概述	281
§ 12.2	机械测量法	281
§ 12.3	经纬仪钢带尺法	283
§ 12.4	五棱镜法	284
§ 12.5	激光法	285
§ 12.6	双五棱镜法	286
§ 12.7	钢丝测距法	287
§ 12.8	激光测距法	287
§ 12.9	微波测距法	288
§ 12.10	小车测量法	289
§ 12.11	三角摄影测量法	290
第十三章	目标散射截面的测量	291
§ 13.1	概述	291
§ 13.2	雷达散射截面的测量	293
§ 13.3	测量雷达散射截面应注意的几个问题	299
第十四章	天线罩测量	302
§ 14.1	概述	302
§ 14.2	天线罩的电参数	302
§ 14.3	天线罩电性能测量	305
第十五章	瞄准测量	312
§ 15.1	概述	312
§ 15.2	瞄准测量中视差的影响	312
§ 15.3	外来信号对瞄准测量精度的影响	316
§ 15.4	天线安装误差的影响	321
§ 15.5	其他因素的影响	323
§ 15.6	瞄准轴测量与校正	324
第十六章	多模测量	326
§ 16.1	概述	326
§ 16.2	单截面取样的矩形口径多模测量	326

§ 16.3 多截面取样的矩形口径多模测量	335
§ 16.4 探针沿圆截面波导轴线连续运动的多模测量	340
第十七章 天线的自动化测量	342
§ 17.1 概述	342
§ 17.2 2020 系列天线分析仪	343
§ 17.3 2080 天线分析仪	347
附录 常用天线测量仪表	349

第一章 天线测试场地的设计和鉴定

§ 1.1 概 述

天线测试场是测量天线或鉴定天线的场所。由于在通信、雷达等用途中，天线都处于它的远区，所以要正确测试天线的辐射特性，必须具备一个能提供均匀平面电磁波照射待测天线的理想测试场。为了近似得到这种理想测试场，已研制出各种形式的天线测试场。按原理把它们归结为以下两种^{[1][2]}：

自由空间测试场；

地面反射测试场。

顾名思义，自由空间测试场就是能够消除或抑制地面、周围环境及外来干扰等影响的一种测试场。常用下面例举的一种或几种措施：

(1) 抑制待测天线或辅助天线的方向性和副瓣；

(2) 消除来自地面的射线；

(3) 使到达地面的能量改变方向或被吸收；

(4) 采用特殊的信号处理技术，如用标记调制所需信号和短脉冲技术把直射信号和反射信号区分开。

属于自由空间类型的测试场有：高架天线测试场、斜天线测试场、微波暗室、缩距测试场和外推测试场。

所谓反射测试场就是合理地利用和控制地面反射波与直射波干涉而建立的一种测试场。属于这类测试场有地面反射测试场和工作在低频的锥型无反射室。

§ 1.2 天线的互易测量

互易原理对天线参数测量是很重要的，它说明待测天线在发射和接收状态下测得的参数是相同的，这就给实际测量带来了很大的机动性，有可能根据仪表、场地等条件来选择待测天线方便的工作状态，但在使用中还应注意以下几点：

(1) 若把待测天线和辅助天线的工作状态互换，并保持接收信号的幅度和相位不变，要求信号源、检波器必须与馈线匹配；

(2) 天线上的电流或电场分布并不互易；

(3) 天线中包含晶体管匹配网络、电子管、铁氧体等有源或非线性元件时，只能在指定的工作状态下测量。

§ 1.3 天线场的区域划分和测量误差

1.3.1 天线场的区域划分

在紧邻天线的空间，除辐射场外，还有一个非辐射场，该场同距离的高次幂成反比，随离开天线距离的增加迅速减小。在这个区域，由于电抗场占优势，所以把此区域叫电

抗近场区，它的外界约一个波长。

越过电抗近场区就到了辐射场区，按离开天线距离的远近又把辐射场区分为辐射近场区和辐射远场区。类似光学术语，把前者又称为菲涅尔区，把后者又叫做夫朗荷费区。

在辐射近场区，场的角分布与距离有关，天线各单元对观察点场的贡献，其相对相位和相对幅度是离开天线距离的函数。辐射远场即人们常说的远区。在该区场的角分布与距离无关。严格讲，只有离天线无穷远才是天线的远区，但在某个距离上，场的角分布与无穷远时的角分布误差在允许的范围以内时，把该点至无穷远的区域称为天线的远区。公认的辐射近远场的分界距离为

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (1.1)$$

式中 D ——天线直径；

λ ——工作波长。

图 1.1(a) 是 $\frac{D}{\lambda} \geq 1$ 口径型天线的三个场区；图 1.1(b) 是电尺寸 $\frac{L}{\lambda} < 1$ (L ——线天线的最大尺寸) 的线天线的场区。由图可见，电小天线只存在电抗近场区和辐射远场区，没有辐射近场区。常把辐射远场与电抗近场相等的距离定义为 $\frac{L}{\lambda} < 1$ 一类天线电抗近场区的外界，越过了这个距离 ($R = \frac{\lambda}{2\pi}$)，辐射远场就占优势。

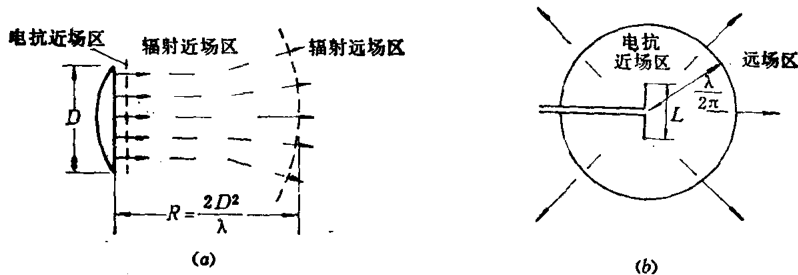


图1.1 两类天线的场区

(a) 大电尺寸天线的场区；(b) 小电尺寸天线的场区。

为了表征辐射远场相对电抗近场的大小，常用它们的相对比值。由电基本振子的场方程可以求得电抗近场与辐射远场之比，若用 dB 表示则为

$$\rho_E(\text{dB}) = 20 \lg \left(\frac{\lambda}{2\pi R} \right) \quad (1.2)$$

表 1.1 列出了由式 (1.2) 计算的不同距离上的 ρ_E 值。

表1.1 不同距离上的 ρ_E 值

R	1λ	2λ	3λ	4λ	5λ	6λ	7λ	8λ	9λ	10λ
$\rho_E(\text{dB})$	-16.0	-22.0	-25.5	-28.0	-29.9	-31.5	-32.9	-34.0	-35.0	-36.0

通常把 $R \geq 10\lambda$ 作为小电尺寸天线远区的准则，但在实际测量中上述测量距离往往不易满足，如果要求达到一般测试精度，只要 $R \geq (3 \sim 5)\lambda$ 即可。例如 $R = 3\lambda$ ($\rho_E = -25.5\text{dB}$)，就表明辐射远场的场强比电抗近场大 18.8 倍。

1.3.2 在辐射近场的测量误差

要正确设计天线测试场地，必须首先了解测量误差与测量距离的关系；了解近场的辐射特性以及辐射近场过渡到辐射远场的规律。为了说明这个问题，假设有一个坐标关系如图 1.2 所示的均匀分布的矩形口径天线。

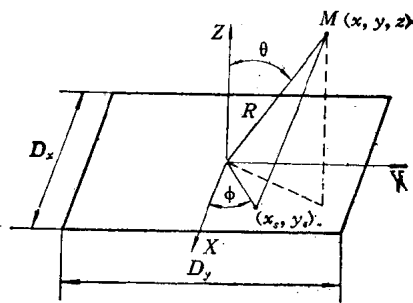


图1.2 矩形口径天线的坐标关系

口径天线辐射场的一般表达式为

$$E_M(x, y, z) = -\frac{A}{\lambda} \iint_s E_s(x_s, y_s) \frac{e^{-jk r_s}}{r_s} ds \quad (1.3)$$

式中 $A = \frac{j}{2}(1 + \cos\theta)$;

$E_s(x_s, y_s)$ ——口面场;

r_s ——口面上任一点到观察点 M 的距离。

在辐射近场区，振幅中的 $\frac{1}{r_s}$ 可以用 $\frac{1}{R}$ 来代替。但相位因子中的 r_s ，必须严格按式(1.4)

计算。

$$r_s = \sqrt{(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 + z^2} \quad (1.4)$$

用球坐标表示式(1.4)中的直角坐标，并用二项式定理把它展开，取前两项得

$$r_s \approx R \left[1 - \frac{x_s}{R} \sin\theta \cos\phi - \frac{y_s}{R} \sin\theta \sin\phi + \frac{x_s^2}{2R^2} (1 - \sin^2\theta \cos^2\phi) + \frac{y_s^2}{2R^2} (1 - \sin^2\theta \sin^2\phi) \right] \quad (1.5)$$

在辐射远场区，相位因子中的 r_s ，只取式(1.5)的线性项，即

$$r_s \approx R - x_s \sin\theta \cos\phi - y_s \sin\theta \sin\phi \quad (1.6)$$

如果只研究口面轴线方向($\theta = 0^\circ$)的场，考虑到口面场为均匀分布，在辐射近场区，场的表达式变为

$$E_M(\theta = 0^\circ) = AE_s \frac{e^{-jkR}}{\lambda R} \int_{-D_x/2}^{D_x/2} e^{-\frac{j\pi x_s^2}{\lambda R}} dx_s \int_{-D_y/2}^{D_y/2} e^{-\frac{j\pi y_s^2}{\lambda R}} dy_s \quad (1.7)$$

变换积分变量，并采用菲涅尔积分，式(1.7)变成

$$E_M(\theta = 0^\circ) = 2AE_s e^{-jkR} [C(u_0) - jS(u_0)] [C(v_0) - jS(v_0)] \quad (1.8)$$

式中 $C(u_0)$ 、 $S(u_0)$ 、 $C(V_0)$ 、 $S(V_0)$ 为菲涅尔积分，

$$u_0 = \sqrt{\frac{2}{R\lambda}} \frac{D_x}{2}, \quad V_0 = \sqrt{\frac{2}{R\lambda}} \frac{D_y}{2}$$

为分析简单起见，假定 $D_x = D_y = D$ ，即 $u_0 = V_0 = t_0$

$$\text{则} \quad |E_M(\theta = 0^\circ)| = 2|E_s| [C^2(t_0) + S^2(t_0)] \quad (1.9)$$

功率密度为

$$\begin{aligned} S_M(\theta = 0^\circ) &= |\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*| = \frac{1}{120\pi} |E_M(\theta = 0^\circ)|^2 \\ &= \frac{|E_s|^2}{60\pi} [C^2(t_0) + S^2(t_0)] \end{aligned} \quad (1.10)$$

$R = \frac{2D^2}{\lambda}$ ($t_0 = 0.5$) 处的功率密度 $S'_M(\theta = 0^\circ)$ 为

$$S'_M(\theta = 0^\circ) = \frac{|E_s|^2}{60\pi} [(0.49)^2 + (0.085)^2] = \frac{|E_s|^2}{60\pi} \times 0.061 \quad (1.11)$$

用 $R = \frac{2D^2}{\lambda}$ 处功率密度归一的任意距离上的功率密度 PD 为

$$PD = \frac{S_M(\theta = 0^\circ)}{S'_M(\theta = 0^\circ)} = 1.64 [C^2(t_0) + S^2(t_0)] \quad (1.12)$$

PD 与 R 的关系如图 1.3 所示。

由图可见，在 $\frac{R}{2D^2/\lambda} < 0.2$ 的非涅尔区，天线的轴向功率密度随距离呈振荡型变化；在 $\frac{R}{2D^2/\lambda} > 0.5$ 的夫朗荷费区，天线的轴向功率密度随距离的增加按 $\frac{1}{R^2}$ 规律下降。

按照同样的分析方法，也可以得出均匀照射线源和锥照圆口径天线轴线上的 PD 值，参看图 1.4(a)(b)。

图 1.4(a) 中的虚线是振荡的平均值，具有 R^{-1} 的斜率，在 $\frac{R}{2D^2/\lambda} = 0.5$ 处与

$\frac{1}{R^2}$ 线相交；由于线源在一个面无方向性，菲涅尔带只影响一个面上的图形，所以功率密度 PD 随 $\frac{1}{R}$ 变化。线源功率密度的振荡变化是很小的。

由于图 1.4(b) 所示的曲线是具有副瓣电平为 25dB 的锥照圆口径天线，所以在菲涅尔区，曲线振荡的幅度要比等幅分布的口径天线小。由曲线可以看出， $\frac{R}{2D^2/\lambda} = 0.1$ 处的功率密度是 $R = \frac{2D^2}{\lambda}$ 处的 42 倍。这些曲线对计算离开大功率发射天线最大安全距离是很有用的。

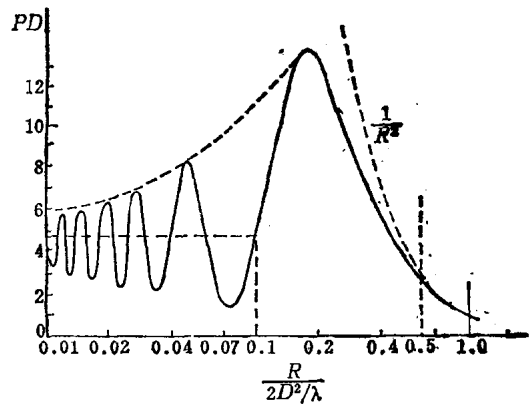


图 1.3 均匀分布方口径天线的轴向功率密度

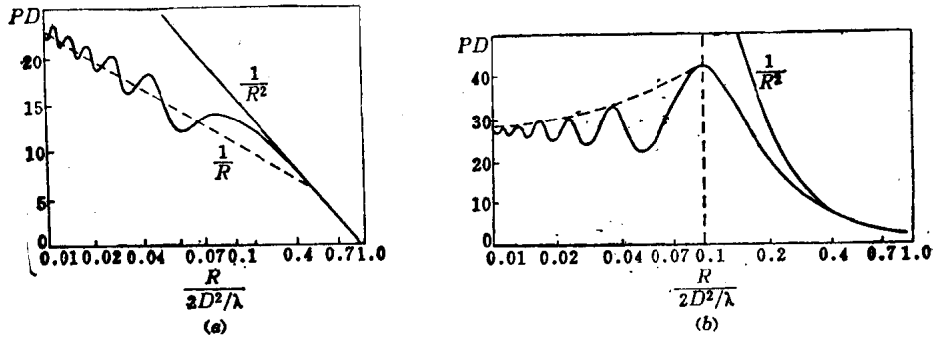


图1.4 天线轴上的功率密度

(a) 均匀照射线源轴上的功率密度; (b) 锥照圆口径天线轴上的功率密度。

由上分析, 可见在 $R < \frac{2D^2}{\lambda}$ 的距离上测量天线的辐射特性必然带来测量误差。

对口面场均匀分布的方口径天线, 场强的相对误差为

$$\delta_E = \left| \frac{E - E_M}{E} \right| = 1 - \frac{C(u_0) - jS(u_0)}{u_0} \times \frac{C(V_0) - jS(V_0)}{V_0} \quad (1.13)$$

式中 E ——天线的远区场;

E_M ——有限距离上的场强值。

增益的相对误差为

$$\delta_G = 1 - \left| \frac{C(u_0) - jS(u_0)}{u_0} \times \frac{C(V_0) - jS(V_0)}{V_0} \right|^2 \quad (1.14)$$

用类似的方法可以求出口面场均匀分布圆口径天线的场强、增益相对误差表达式, 由这些表达式就能计算出如图 1.5 所示不同口径天线在不同距离上的场强、增益相对误差⁽⁴⁾。

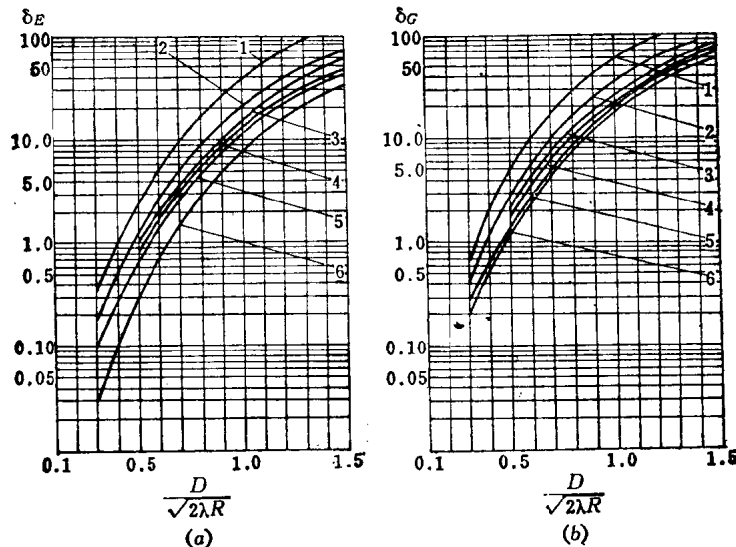


图1.5 不同口径天线场强、增益相对误差与距离的关系

(a) 场强相对误差 δ_E 与 $D/\sqrt{2\lambda R}$ 的关系; (b) 增益相对误差 δ_G 与 $D/\sqrt{2\lambda R}$ 的关系。

1—圆口径; 2—方口径; 3—一边比为 0.8 的矩形口径; 4—一边比为 0.6 的矩形口径;
5—一边比为 0.5 的矩形口径; 6—线天线。

由曲线可见, 在 $R = \frac{2D^2}{\lambda}$ 时, 对方口径天线, $\delta_R = 1.5\%$, $\delta_G = 3\%$ 。这些误差在工程测量中是允许的; 在同一距离, 圆口径天线的相对误差比方口径天线大。它们在不同距离上的增益相对误差由曲线求出摘录在表 1.2 中。

表 1.2 均匀分布方口径和圆口径天线在不同距离上的增益相对误差

R	方口径天线		圆口径天线	
	δ_G	$\delta_G(\text{dB})$	δ_G	$\delta_G(\text{dB})$
D^2/λ	10%	0.41	17%	0.68
$2D^2/\lambda$	2.7%	0.12	5%	0.2
$4D^2/\lambda$	0.7%	0.03	1%	0.45

§ 1.4 选取最小测试距离的准则

当辅助天线是点源或为弱方向性天线时, 从相位条件求出的最小测试距离 $R = \frac{2D^2}{\lambda}$ 是正确的, 因为满足了相位条件, 自然就满足了其他条件。但当收发天线均为强方向性天线时, 除考虑相位条件外, 还必须考虑幅度和天线间互耦的影响。

1.4.1 入射场不同相造成的误差

由于收发天线之间的距离有限, 入射到待测天线口面上的相前并不同相, 如图 1.6 所示, 最大相差为

$$\Delta\phi_{\max} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r_{\max} \quad (1.15)$$

式中
$$\Delta r_{\max} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{d+D}{2}\right)^2} - R \quad (1.16)$$

d ——辅助发射天线的直径;

D ——待测天线的直径;

R ——收发天线之间的距离。

化简式 (1.16) 得

$$R \approx \frac{\pi(d+D)^2}{4\lambda\Delta\phi_{\max}} \quad (1.17)$$

当 $\Delta\phi_{\max} = \frac{\pi}{8}$ 时, 则

$$R = \frac{2(d+D)^2}{\lambda} \quad (1.18)$$

对大多数实用锥削幅度分布的圆口径天线, 由于口面边缘场的幅度比较小, 所以相位条件可以放宽, 常取 $\Delta\phi_{\max} = \frac{\pi}{4}$, 此时

$$R = \frac{(d+D)^2}{\lambda} \quad (1.19)$$

当 $D \gg d$ 时, 由式 (1.18) 就得出了与式 (1.1) 相同的表达式。

入射场相位不均匀使实测的天线方向图零变浅, 副瓣电平抬高。这种影响可由图 1.7 所示 30dB 台旁分布天线在不同口面相差时的实测方向图看出。

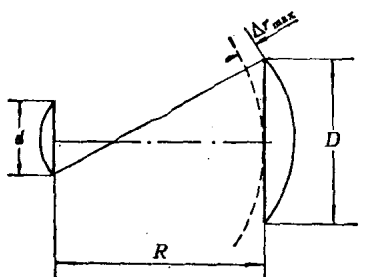


图1.6 待测天线的最大口面相差

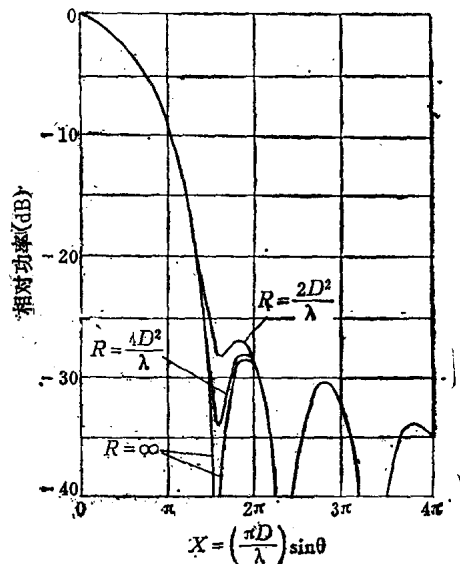


图1.7 不同口面相差对天线方向图的影响

入射场相位不均匀还会带来增益测量误差。对均匀分布和余弦分布的两个相同口径天线，表 1.3 列出了由于口面相差引入的增益误差。

表1.3 口面相差造成两个相同口径天线的增益误差

$\Delta\phi$		π	$\pi/2$	$\pi/4$	$\pi/8$
R		D^2/λ	$2D^2/\lambda$	$4D^2/\lambda$	$8D^2/\lambda$
$\Delta G(\text{dB})$	均匀	1.6	0.4	0.1	0.02
	余弦	0.58	0.14	0.038	0.01

1.4.2 入射场横向锥削幅度的影响

在待测天线口面上，如果入射场幅度不均匀，不仅使实测的增益减小，在测天线方向图时，还会造成近副瓣测量误差。这种影响取决于待测天线的口面激励函数。图 1.8 为不同锥削幅度的入射场造成不同副瓣电平的测量误差。

通常要求入射场的幅度在待测天线口面边缘处相对中心锥削在 -0.25dB 以下。为使入射场横向幅度均匀，要求发射天线中心 o 向待测天线口面边缘的张角 $2\alpha_D$ 远小于辅助发射天线的半功率波束宽度 $2\theta_{3\text{dB}}$ 。参看图 1.9。

$$\text{由图可见, } 2\alpha_D \leq 2\arctg \frac{D/2}{R} \quad (1.20)$$

通常 $R \gg D$ 故 $2\alpha_D \approx D/R$

$$\text{即要求 } \frac{D}{R} \ll 2\theta_{3\text{dB}} \quad (1.21)$$

对方向函数为 $\sin x/x$ 的辅助发射天线，可以求得 0.25dB 的波束宽度为

$$2\theta_{0.25\text{dB}} \approx 0.25 \frac{\lambda}{d} \quad (1.22)$$

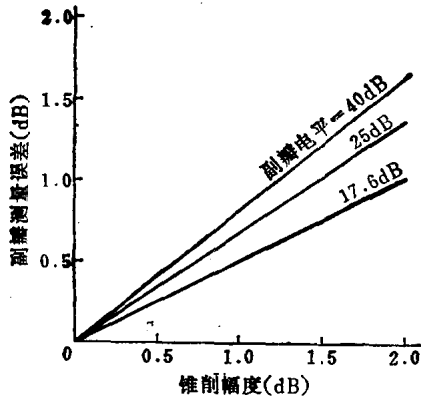


图1.8 入射场不同锥削幅度造成的副瓣测量误差

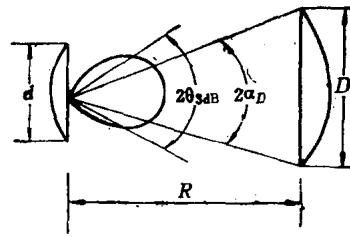


图1.9 入射场幅度不均匀

让 $2\theta_{0.25dB} = 2\alpha_D$, 可以求得

$$R = \frac{4dD}{\lambda} \quad (1.23)$$

利用一般求解天线远区场的方法, 可以求出由于入射场横向幅度不均匀造成天线轴向接收功率的相对误差^[4]

$$\delta_p = 0.05 \left(\frac{1}{\lambda R} \right)^2 (d^4 + 6d^2D^2 + D^4) \quad (1.24)$$

如果 $d = D/2$, $R = 2D^2/\lambda$,

$$\text{则 } \delta_p = 0.05 \left(\frac{\lambda}{\lambda 2D^2} \right)^2 \left[\left(\frac{D}{2} \right)^4 + 6 \left(\frac{D}{2} \right)^2 D^2 + D^4 \right] = 0.032$$

或 $\delta_p = 0.14\text{dB}$;

$$D = d, R = 4D^2/\lambda, \delta_p = 0.11\text{dB}$$

这表明, 在待测天线口面上入射场横向锥削幅度为 -0.25dB , 就使实测增益减小 0.1dB 。如果横向锥削幅度为 -0.5dB , 就使实测增益减小 0.15dB 。

1.4.3 入射场纵向锥削幅度的影响

假定沿场地轴线方向端射天线的最大尺寸为 L , 发射天线到待测天线中心的距离为 R_0 , 则天线后端与前端的功率密度之比为

$$10\lg \rho_p = 20\lg \frac{R_0 + \frac{L}{2}}{R_0 - \frac{L}{2}} \quad (1.25)$$

如果在 L 区间功率变化小于 1dB , 就能忽略入射场纵向锥削幅度的影响。这个条件相当限定

$$R_0 > 10L \quad (1.26)$$

对高增益行波天线, 这个距离大于由相位和互耦条件确定的最小距离。

1.4.4 收发天线间互耦的影响

任意一个天线的总场都是由辐射场和电抗场组成。实际测量距离如果小于 3 个波长,