

# 浙江大学

## 本科实验报告

喇叭天线辐射特性测量

课程名称:	场波实验
姓名:	SZX
学院:	信息与工程学院
专业:	电子科学与技术
学号:	0000000000
指导老师:	王子立

June 25, 2023

# 目 录

一、实验目的	3
二、实验原理	3
1. 实验设备及使用方法	3
2. 实验理论基础	4
三、实验内容	5
1. 电磁波在空间传播中与距离的关系测量	5
2. 极化测量	5
(1) 天线极化测量	5
(2) 极化栅网特性测量	6
3. 喇叭天线辐射方向图测量	7
四、其余问题的回答	8
1. 对发射天线计算远区场距离（工作频率 9.375GHz），实验中是否符合远区场条件？	8
2. 分别计算收、发天线理论增益，半功率波束宽度（假定 $k \gg 1$ ）。有什么结论？	8
3. 用极坐标系分别绘制发射喇叭天线在水平面上、垂直面上的方向图。	9
4. 比较半功率波束宽度的计算值与实测值，并对你的实验结果加以评论。	9
5. 解释在 $\pm 90^\circ$ 时辐射方向图测量值。	9
6. 比较波导角锥喇叭天线辐射特性的实验测量结果和 CST 仿真，有什么结论。	9
五、实验的体会与收获	10

## 一、 实验目的

揭示喇叭天线的幅射特性。

覆盖的基本概念：

1. 天线辐射方向图
2. 波束宽度
3. 天线的极化特性
4. 电磁波在空间传播中与距离的关系

## 二、 实验原理

### 1. 实验设备及使用方法

当今社会尽管人们不一定知道无线寻呼、蜂窝电话、卫星通信、无线广播与电视的具体工作原理，但它们已成为人们生活不可缺少的一部分。在这些无线通信系统中不管是发送还是接收，天线都是一个不可缺省的部件。描述天线的参量很多，择其主要的有：天线方向性、辐射方向图、波束宽度、旁瓣电平、工作频率与响应、效率等等。除此之外，天线发射（或接收）的电磁波都具有极化特性，所谓极化是指电磁波电场矢量的方向，所以接收机接收到的信号大小跟收、发天线的安装方向有关（以下简称发射天线的极化方向或接收天线的极化方向）。如果发射天线所发射电磁波的极化方向与接收天线的极化方向一致时，接收信号最大，若两者正交，接收机将接收不到信号。

本实验用 3 公分波段（8-12GHz）喇叭天线揭示天线方向性、波束宽度、波的极化特性。

实验装置如图 1，装置包括三部分：分别是信号发射端、接收端和天线移动架。发射端由固态振荡源、微波衰减器、小喇叭天线连接组成，并装在一个旋转云台上。发射端喇叭天线可以绕矩形波导轴向旋转，由此可以改变发射电磁波的极化方向，其极化角度可从指示刻度盘读出；发射功率的大小可用微波衰减器来调节。云台可在垂直面和水平面上转动，用于测量发射天线的方向性特性；发射端还装有一个可移动的金属栅网；天线移动架可以使发射端沿着移动架轨道平移，从而改变收、发喇叭天线之间的距离，其测量值可以从移动架上的刻度尺读取。

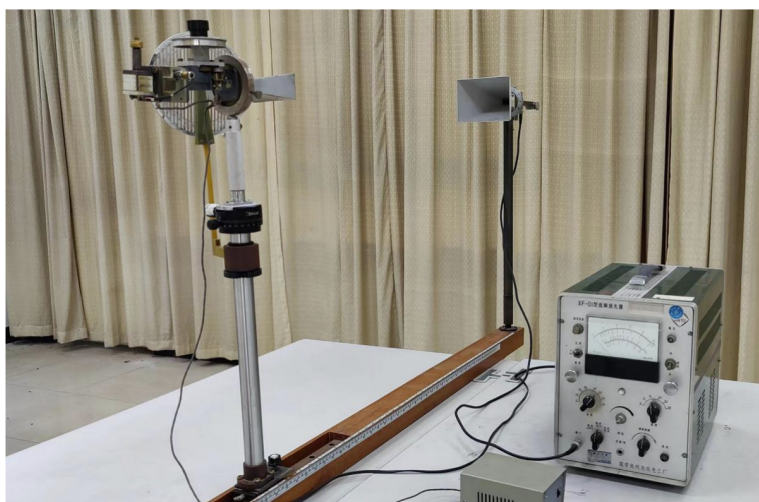


Figure 1: 天线特性测量设备

## 2. 实验理论基础

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} (W) \quad (1)$$

其中，R 为收、发天线间距离。（本实验 R 取收发天线喇叭口之间的距离。

最佳角锥喇叭天线增益：

$$G = 0.51 \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} \quad (2)$$

$A_p$  为喇叭口的物理口径  $D_H \times D_E$

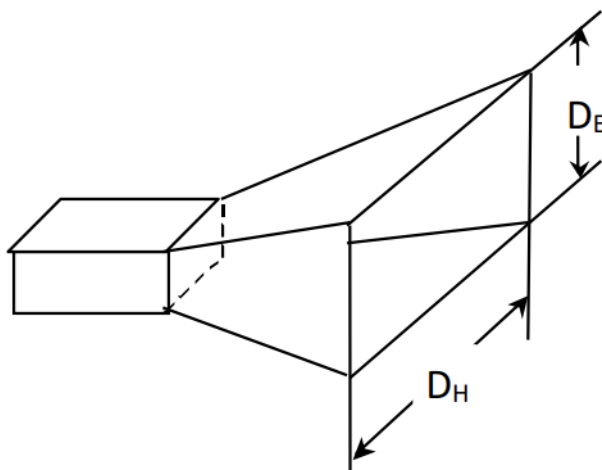


Figure 2: 角锥喇叭天线

喇叭天线半功率波束宽度：

$$H : 2\theta_{0.5} \approx 1.18 \frac{\lambda}{D_H} \quad (3)$$

$$E : 2\theta_{0.5} \approx 0.89 \frac{\lambda}{D_E} \quad (4)$$

远区场条件：

$$R \gg \frac{2D_E D_H}{\lambda} \quad (5)$$

### 三、 实验内容

#### 1. 电磁波在空间传播中与距离的关系测量

实验步骤：

<1> 将发射天线极化方向调整到与接收天线的极化方向一致，即同为垂直极化方式。

<2> 开启固态信号源（工作方式方波调制）与选频放大器电源。调节波导检波器调配螺钉或短路活塞位置使选频放大器上指示的检波输出最大（即检波器匹配），选择选频放大器的“分贝”旋钮量程选择 30dB 或 40dB 档位，并调节发射端的微波衰减器，使选频放大器输出满量程，即归一化数值为 0dB。

<3> 依次改变收、发天线间的距离，把测量的数据记录于下表：

距离 R(m)	实验测量值	相对归一化功率
1.0	-40.0dB	1.000
1.1	-41.0dB	0.794
1.2	-42.1dB	0.617
1.3	-43.1dB	0.489
1.4	-44.0dB	0.398

Table 1: 电磁功率与距离的测量结果

根据上表 1，可以拟合出如图 3 的函数曲线，R1 表示 R 的倒数，从右框的拟合结果我们可以得到表达式为：

$$P = 1.216 \frac{1}{R^{2.064}} - 0.2132 \quad (6)$$

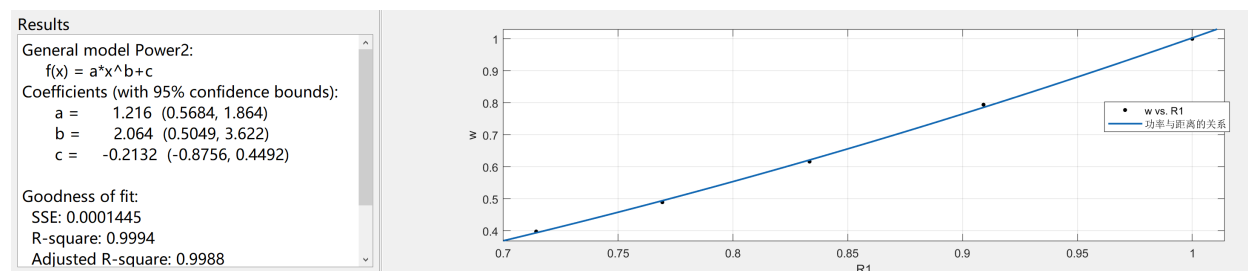


Figure 3: 功率与距离关系拟合结果

因此，我们从拟合结果中可以看出电磁波的传播与距离的曲线最接近  $\frac{1}{R^2}$ ，这和理论的预期结果是相符合的。

#### 2. 极化测量

##### (1) 天线极化测量

实验步骤：

<1> 拧松发射天线锁紧螺栓，调整发射喇叭天线的极化方向与接收天线一致后锁紧螺栓，此时记极化刻度盘上的角度值为相对值 0。

<2> 依次拧松云台的垂直与水平锁紧螺栓，调节发射天线的水平与垂直指向，找到选频放大器指示最大位置（即找到天线方向图最大值这一点）后锁紧螺栓，然后调节发射端的微波衰减器使选频放大器输出满量程，即相对归一化数值为 0dB。

<3> 依次绕矩形波导轴向旋转发射喇叭天线，从  $0^\circ$  到  $90^\circ$ ，每隔  $10^\circ$  记录选频放大器指示的读数于下表 2。

发射天线角度 $\theta$	实验测量值	相对归一化功率
0	-40.0dB	1.000
10	-40.2dB	0.955
20	-40.9dB	0.813
30	-41.6dB	0.692
40	-42.8dB	0.525
50	-44.5dB	0.355
60	-47.5dB	0.178
70	-50.1dB	0.098
80	-55.8dB	0.026
90	-68.8dB	0.001

Table 2: 发射喇叭天线极化特性

根据表 2 的数据，我们可以拟合出天线极化特性关于  $\cos\theta$  的曲线，在图中，theta 表示  $\cos\theta$ ，所以，由右框的拟合结果，我们可以得到拟合函数为：

$$P = 0.9713 \cos^{2.428} \theta + 0.01 \quad (7)$$

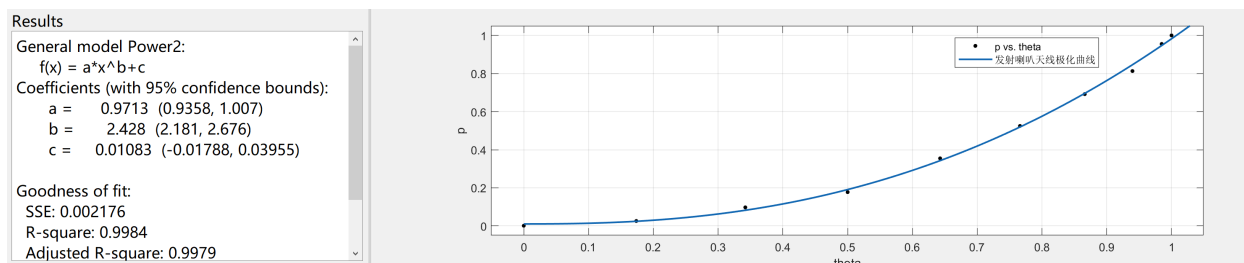


Figure 4: 发射喇叭天线极化曲线

由此，我们可以得到，接收喇叭天线所接收到的功率与发射喇叭天线极化角度  $\theta$  的关系是  $\cos^2$  的关系。

## (2) 极化栅网特性测量

极化栅网是在一块铜板上开了很多槽缝，如果金属条的宽度与缝的宽度都比波长小得多，则投射到开槽铜板上电磁波，对于电场具有平行于槽缝方向的电磁波将被全反射，而具有垂直于槽缝方向的电磁波将能顺利通过。所以将图 4 所示极化栅网放到发射天线前面，则接收天线所接收到的信号大小随着极化栅网旋转角度的改变而改变。

实验步骤：

<1> 调整发射喇叭天线的极化方向与接收天线一致后锁紧螺栓，即极化角度值为  $0^\circ$  位置。

<2> 将极化栅网移至发射喇叭天线前面，旋转极化栅网使选频放大器读数最大，然后调节发射端的微波衰减器使选频放大器输出满量程，即相对归一化数值为 0dB，并记栅网上的角度为相对  $0^\circ$ 。

<3> 依次将极化栅网转过  $90^\circ$  和  $45^\circ$ ，分别记录选频放大器读数。

实验测量所得数据如表 3 所示。

极化栅网角度 $\theta$	实验测量值	相对归一化功率
0	-40.0dB	1.000
90	-64.6dB	0.003
45	-46.5dB	0.224

Table 3: 极化栅网极化特性

从表中数据可以看出，当极化角度为  $45^\circ$  时，归一化功率约为 0.25。由于：

$$A_{in} = A_{out} \cos(45^\circ) \sin(45^\circ) = \frac{1}{2} A_{out}$$

$$I_{in} = \frac{1}{4} A_{out}$$

所以，测量数据与理论计算结果相符。

### 3. 喇叭天线辐射方向图测量

实验步骤：

<1> 将发射、接收喇叭都调整为垂直极化方式，拧松云台中水平旋转锁紧旋钮，在水平方向上旋转发射喇叭天线，找到选择选频放大器指示最大点位置时锁紧旋钮。然后调节发射端的微波衰减器使选频放大器输出满量程 (0dB)，此时分别记水平面和垂直面上刻度盘中的角度读数为相对 0；记选择选频放大器读数为天线方向性特性的最大点，即相对归一化数值为 0dB 因为天线的方向图为一立体结构。

<2> 拧松云台中水平旋转锁紧旋钮，在水平方向上旋转发射喇叭天线，由  $-90^\circ$  转到  $+90^\circ$ ，每隔  $10^\circ$  记录选择选频放大器读数于表中，然后将天线转至水平位置，锁紧水平旋转锁紧旋钮。

<3> 测出水平面上-3db 功率时的波束宽度以及背景噪声。

尺寸	发射天线	接收天线
$D_E$	3.7cm	10.5cm
$D_H$	8.2cm	14.1

Table 4: 天线口径尺寸

发射水平方向转角 $\theta$	实验测量值	相对归一化功率
-60	-60.2dB	0.009
-50	-55.5dB	0.028
-40	-52.4dB	0.057
-30	-47.5dB	0.177
-20	-44.3dB	0.371
-10	-41.2dB	0.758
0	-40.0dB	1.000
10	-40.8dB	0.831
20	-43.2dB	0.478
30	-46.0dB	0.251
40	-51.4dB	0.072
50	-55.4dB	0.028
60	-60.0dB	0.010

Table 5: 天线垂直方向图测量数据

发射水平方向转角 $\theta$	实验测量值	相对归一化功率
-90	-76.0dB	0.0003
-80	-75.0dB	0.0003
-70	-67.0dB	0.0020
-60	-66.5dB	0.0022
-50	-63.9dB	0.0041
-40	-59.5dB	0.0112
-30	-52.8dB	0.0525
-20	-46.5dB	0.2239
-10	-41.5dB	0.7079
0	-40.0dB	1.000
10	-42.1dB	0.6166
20	-47.5dB	0.1778
30	-53.4dB	0.0457
40	-59.5dB	0.0112
50	-61.3dB	0.0074
60	-63.8dB	0.0042
70	-71.6dB	0.0007
80	-78.0dB	0.0002
90	-77.5dB	0.0002

Table 6: 天线水平方向图测量数据

同时，我们测量得到的水平面上-3dB 功率是从  $14.7^\circ$  到  $-10^\circ$ 。背景噪声为-78.5dB。

#### 四、 其余问题的回答

问题 1 至 5 已在前面的分析过程中予以了解答，后面将对剩余的问题进行阐述。

1. 对发射天线计算远区场距离（工作频率 **9.375GHz**），实验中是否符合远区场条件？

$$\lambda = \frac{c}{f} = 3.2 \times 10^{-2} m \quad (8)$$

$$R > 1m \approx \frac{2D_H D_E}{\lambda} = 0.189m \quad (9)$$

所以，实验符合远区场条件。

2. 分别计算收、发天线理论增益，半功率波束宽度（假定  $k \rightarrow 1$ ）。有什么结论？

对于发射天线有：

$$G_{out} = 0.51 \frac{a\pi A_p}{\lambda^2} = 18.99 \quad (10)$$

$$H : 2\theta_{0.5} = 1.18 \frac{\lambda}{D_H} = 0.46 \quad (11)$$

$$E : 2\theta_{0.5} = 0.89 \frac{\lambda}{D_E} = 0.77 \quad (12)$$



对于接收天线：

$$G_{in} = 0.51 \frac{a\pi A_p}{\lambda^2} = 92.66 \quad (13)$$

$$H : 2\theta_{0.5} = 1.18 \frac{\lambda}{D_H} = 0.27 \quad (14)$$

$$E : 2\theta_{0.5} = 0.89 \frac{\lambda}{D_E} = 0.27 \quad (15)$$

由此，我们可以看出，天线口径增大时，增益会增大，而半功率波束宽度会减小。

### 3. 用极坐标系分别绘制发射喇叭天线在水平面上、垂直面上的方向图。

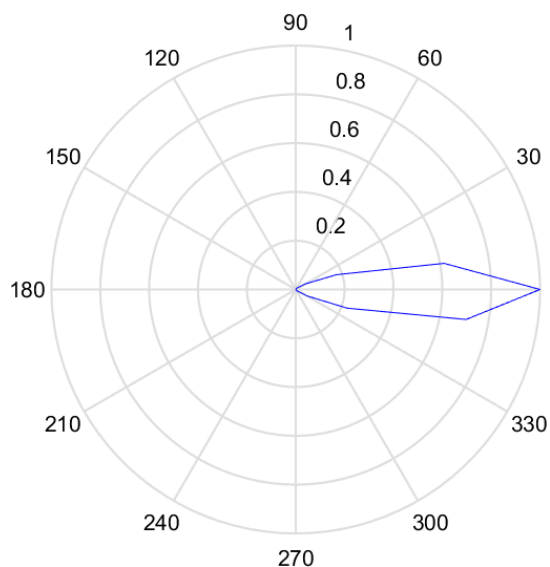


Figure 5: 水平方向辐射图

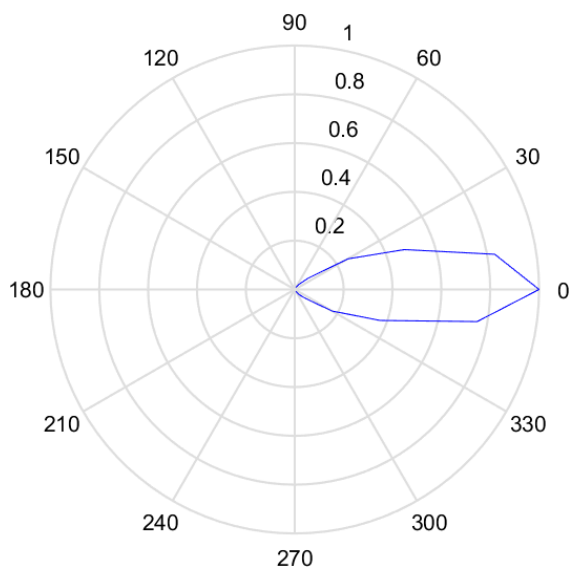


Figure 6: 垂直方向辐射图

### 4. 比较半功率波束宽度的计算值与实测值，并对你的实验结果加以评论。

对于发射天线，水平半功率波束宽度理论为  $0.46\text{rad}$ ，而实际测量结果为  $24.7^\circ$ ，也即是  $0.436\text{rad}$ ，两者比较，可以看出实验结果是比较准确的，与理论值基本相符。

### 5. 解释在 $\pm 90^\circ$ 时辐射方向图测量值。

理论上，在  $\pm 90^\circ$  位置时，功率应该为 0，但实际测量时，会有  $-70\text{dB}$  左右的信号，而单独测量背景噪音时，可以得到其大致在  $-78\text{dB}$  左右，所以，在  $\pm 90^\circ$  时，接受到的是背景噪声。

### 6. 比较波导角锥喇叭天线辐射特性的实验测量结果和 CST 仿真，有什么结论。

波导角锥喇叭天线辐射特性的实验测量结果和 CST 仿真相比，天线特性的大致情况基本一致，辐射图形状大致相同。但定量测量的值存在较大误差，这说明实际测量环境中会存在各种干扰，包括背景噪音和其他方向的反射等，对天线辐射特性的影响较大，因此，在实际测量过程中还需要充分考虑环境因素的影响。

## 五、 实验的体会与收获

在本次测量天线的辐射特性实验中，我对测量的流程及方法有了基本的认识，同时也对其原理进行了进一步的学习，达到理论和实践相结合的预期。同时，实际测量与仿真结果进行比较，让我对实验测量误差有了更好的认识。