

喇叭天线的辐射特性测量

3240102873 胡东东

一、实验目的

本实验以角锥喇叭天线为研究对象，通过天线综合测控系统完成多维度测量，揭示喇叭天线核心辐射与电路特性。覆盖的基本概念：

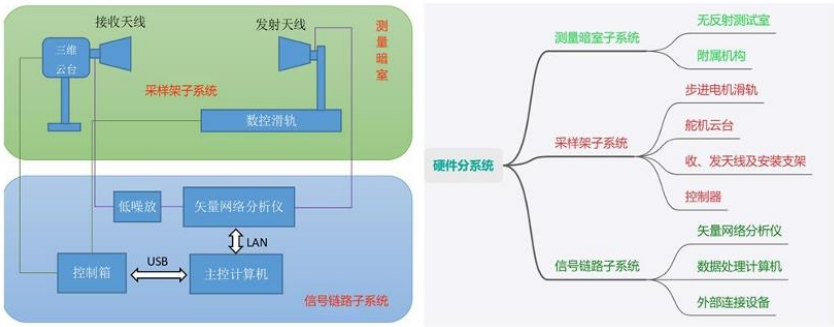
- S 参数、驻波比、反射系数、回波损耗
- 天线辐射方向图
- 天线的极化特性
- 电磁波在空间传播中与距离的关系

二、实验原理

天线是无线通信、雷达、卫星导航、遥控遥测系统的核心部件，负责导行波与空间电磁波的双向转换。自从 1886 年赫兹建立第一个天线系统发展到今天，天线的种类和规格已经多种多样，同时天线的测量设备和测量技术也不断得到改进和提高。

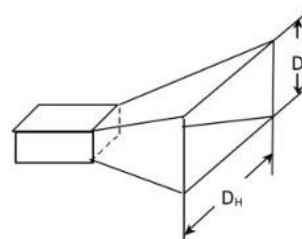
描述天线的参量有很多，主要可分为两大类：一是如输入阻抗、驻波比、噪声温度、频带宽度等电路特性参量；除此之外就是辐射特性参量，如方向图、增益、极化等。天线发射（或接收）的电磁波都具有极化特性，所谓极化是指电磁波电场矢量的方向，所以接收机接收到的信号大小跟收、发天线的安装方向有关（以下简称发射天线的极化方向或接收天线的极化方向）。当发射天线所发射电磁波的极化方向与接收天线的极化方向一致时，接收信号最大，若两者正交，接收机将接收不到信号。

天线测量是研究天线的重要手段，其任务就是用试验的方法测定和检测天线的这些特性，我们通常借助天线测量系统，正确使用测量仪器来进行测量。



本实验将利用该天线综合测控系统，测量 3 公分波段 (8-12GHz) 角锥喇叭天线，揭示天线辐射的方向性、波的极化和传输特性等。

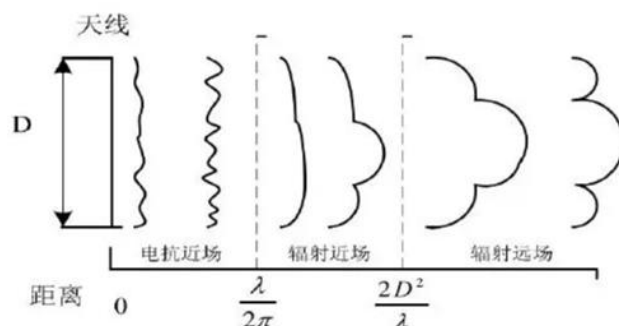
尺 寸	发射天线	接收天线
D_E	3.7cm	10.5cm
D_H	8.2cm	14.1cm



实验用到的一些概念公式如下：

(1) 近场和远场：

天线是一种能量转换装置，发射天线将导行波转换为电磁波，接收天线则把电磁波转换为导行波。通常根据观察点与天线的距离 r 不同，可将观察点周围的场区划分为感应近场区、辐射近场区和辐射远场区。



感应场区的边界条件: $r < \frac{\lambda}{2\pi}$ ，场以感应场为主，不向外辐射

辐射近场区：介于感应近场与辐射远场之间，场分布复杂

远区场条件: $r \gg \frac{2D_H D_E}{\lambda} (m)$ ，场为平面波，方向图稳定，是工程测量常用区域

(2) 反射系数 Γ 、电压驻波比 VSWR、回波损耗 RL 三者的关系可以转换：

$$\Gamma = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad RL = -20 \lg |\Gamma|$$

(3) 电磁波在空间传播中与距离的关系（弗里斯传输公式）：

$$\frac{P_r(W)}{P_t(W)} = \left(\frac{\lambda(m)}{4\pi R(m)} \right)^2 G_t G_r$$

P_r 、 P_t ：接收、发射功率； R ：收、发天线间距离（实验取收发天线喇叭口之间的距离）

dBm 与 W 的换算: $dBm = 10 \lg \left(\frac{xW}{1mW} \right)$, $W = 10^{\frac{dBm}{10}} \times 1mW$

G_r 、 G_t ：收发天线增益，与 dBi 为单位的增益换算: $G_t(G_r) = 10^{\frac{xdBi}{10}}$

根据工程经验，工程增益值通常比理论计算值低 3-5dBi。

(4) 天线增益

增益是天线极为重要的一个参数，用它可以衡量天线辐射能量的集中程度，矩形波导馈电的角锥喇叭天线的增益理论值参见 P3 “矩形波导馈电角锥喇叭天线理论分析”。

此外，还可用以下公式估算最佳角锥喇叭天线增益：

$$G = 0.51 \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} (A_p \text{ 为喇叭口的物理口径 } D_H \times D_E)$$

在实际工程测试中，天线的增益有多种测试方法，本系统选用的是弗里斯和波束宽度法。费里斯法利用上述弗里斯公式，当发射天线的增益已知或收发天线的增益相同的时候，根据公式即可计算的接收天线的增益。

$$G_t(dB) + G_r(dB) = \frac{1}{2} \left[20 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 10 \lg \left(\frac{P_t(W)}{P_r(W)} \right) \right]$$
$$G(dB) = \frac{1}{2} [20 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - (P_t(dB) - P_r(dB))]$$

波束宽度法是通过测量天线方向图的 H 面或 E 面半功率波束宽度，即 3dB 点的波束宽度从而计算天线增益的方法： $G(dB) = \frac{10 \lg C}{\theta_{-3A} \theta_{-3E}}$

公式中， θ_{-3A} 和 θ_{-3E} 分别代表 H 面和 E 面方向 3dB 点波束宽度，单位为角度，C 工程上根据经验取值，通常普通天线为 32400，反射面天线如卫星电视接收天线为 27000，对数周期天线为 41000。

(5) 半功率波束宽度

$$H \text{ 面: } 2\theta_{0.5} \approx 1.18 \frac{\lambda}{D_H} (rad)$$
$$E \text{ 面: } 2\theta_{0.5} \approx 0.89 \frac{\lambda}{D_E} (rad)$$

(6) 轴向交叉极化隔离度

$$XPD = P_{cop}(dBm) - P_{xp}(dBm)$$

公式中， P_{cop} ：同极化信号功率； P_{xp} ：交叉极化信号功率。

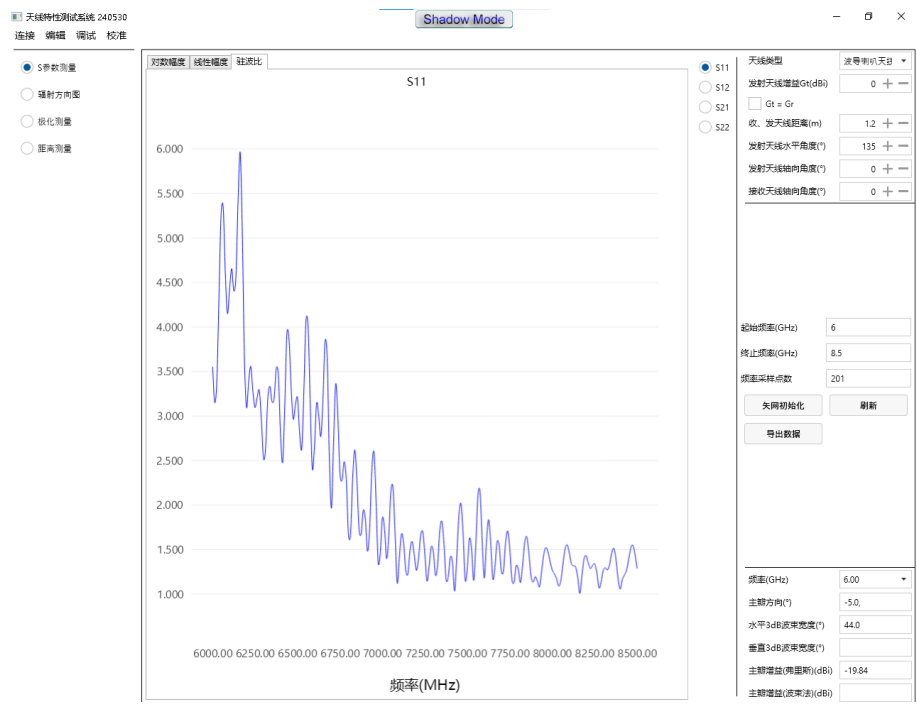
三、实验内容及结果

(1) 电路特性参数测量

①驻波比、反射系数、回波损耗测量：

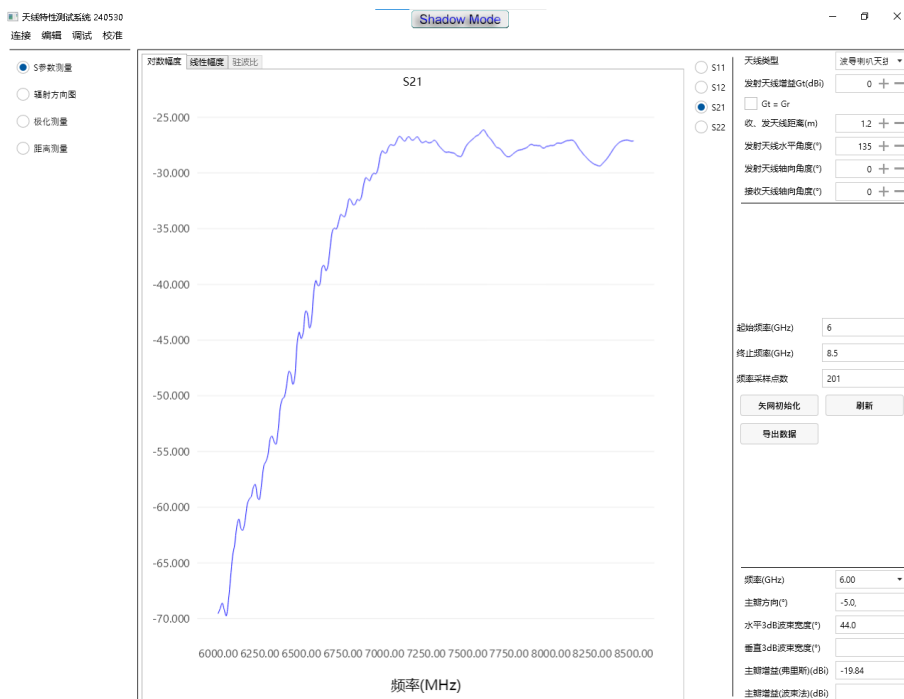
驻波比、反射系数、回波损耗三折的关系可以转换，所以只要测量一个参数就可以计算另外的参数。

实验步骤：在[调试]窗口，调节收、发天线极化方向，轴向角度一致。在测试程序中，依次选择[S 参数测量]、[驻波比]、[S11]（矢网端口 1 连接发射天线，端口 2 连接接收天线），确认收发天线的初始状态，设定扫描的起始和终止频率，点击[矢网初始化]、[刷新]之后就可以在测试窗口看到驻波比曲线。观察记录测试结果，并可调整参数重新测试。



②扫频测量：

实验步骤：在[调试]窗口，调节收、发天线极化方向，轴向角度一致。在测试程序中，依次选择[S 参数测量]、[对数幅度]、[S21]，确认收发天线的初始状态，设定扫描的起始和终止频率，点击[矢网初始化]、[刷新]之后就可以在测试窗口看到天线的扫频曲线。观察记录测试结果，并可调整参数重新测试。

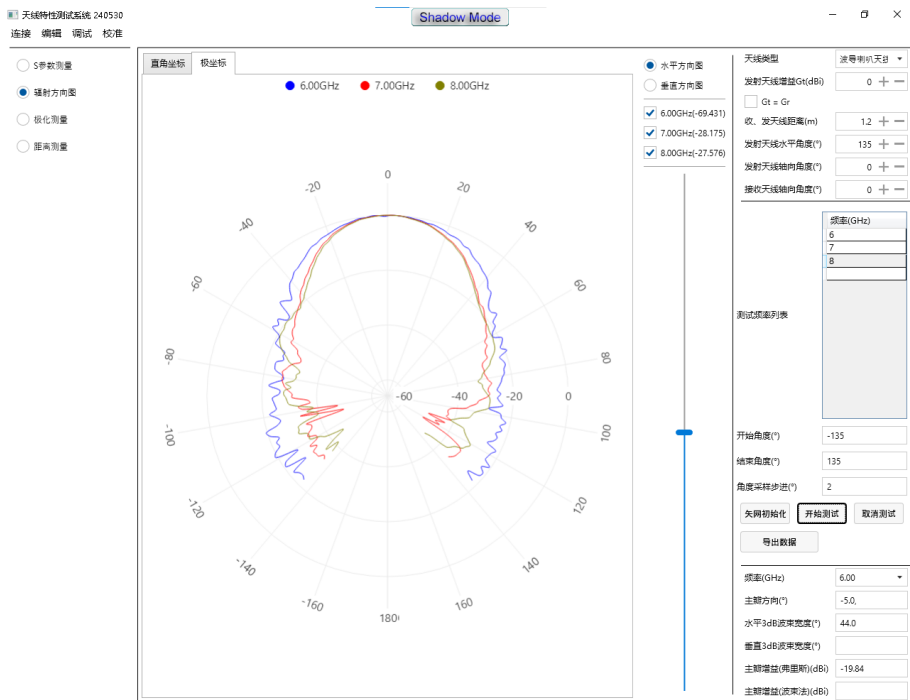


(2) 喇叭天线辐射方向图测量

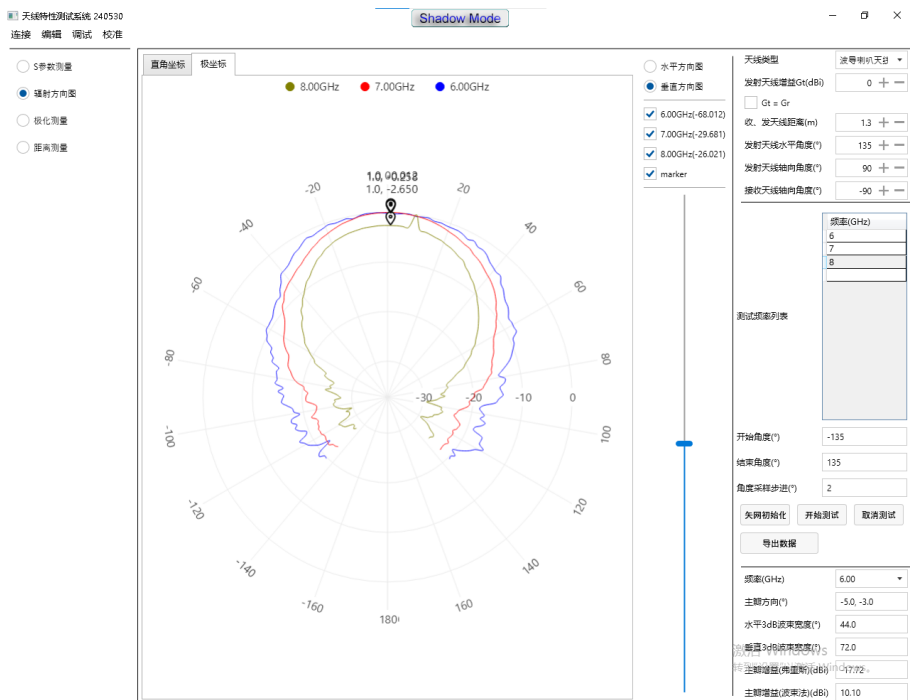
天线方向图表征天线在空间中各个方向上所具有的发射或接收电磁波的能力，是天线辐射特性的重要参数。完整的方向图是一个三维空间图，实际工程中通常只需测量水平面 H 方向图和垂直面 E 方向图。

实验步骤：在[调试]窗口，调节收、发天线极化方向，轴向角度一致。

①水平面方向图测量：在测试程序中，依次选择[辐射方向图]、[极坐标]、[水平方向图]，右侧框图中，天线类型选择“波导喇叭天线”，发射天线增益未知则默认为 0dBi，当发射与接收天线相同的时候可勾选两者增益相同，设置收发天线间的距离。发射天线水平角度、发射和接收天线的极化角度无需设置，测试频率可以设置多个，填入数据后回车即可。开始、结束角度和采样步进选择默认值。点击[矢网初始化]、[开始测试]之后，发射天线将转到水平方位开始角度，并以步进值向结束角度旋转，同时在方向图窗口实时显示测试曲线。测试过程中注意人员不要遮挡天线，并可移动屏蔽板防止其他干扰信号，等待测试完成后，观察测试结果可导出数据，如有明显偏差可调整参数重新测试。



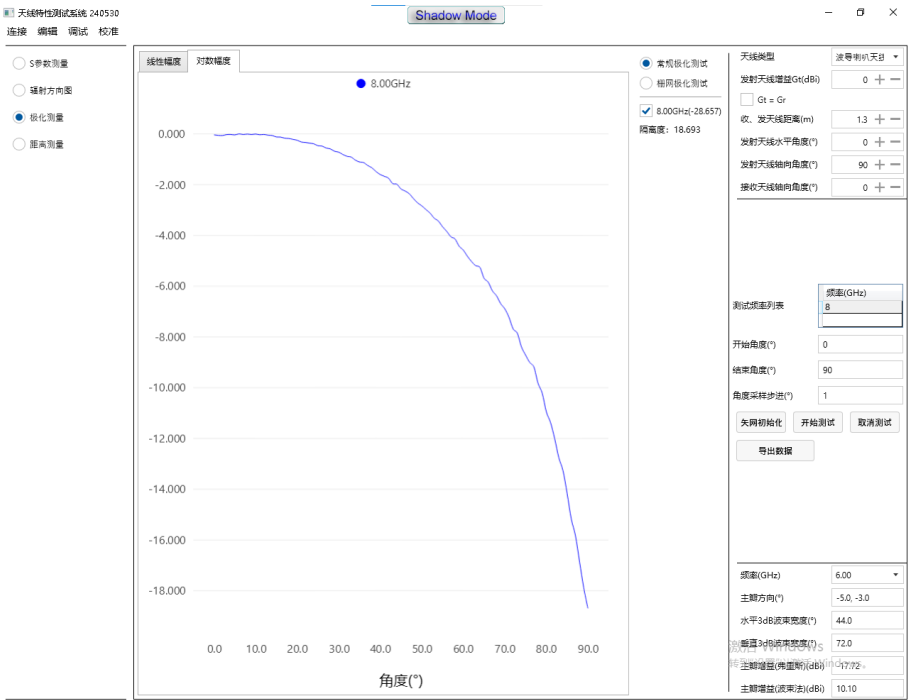
②垂直面方向图测量：在测试程序中，依次选择[辐射方向图]、[极坐标]、[垂直方向图]，可设置收发天线间的距离，开始、结束角度和采样步进。发射天线水平角度、发射和接收天线的极化角度无需设置，其他设置和水平方向图测试相同，等待测试完成后，观察测试结果可导出数据，如有明显偏差可调整参数重新测试。天线方向图测试完成后，在程序右下角将自动显示主瓣，3dB 点波束宽度、增益等计算值。



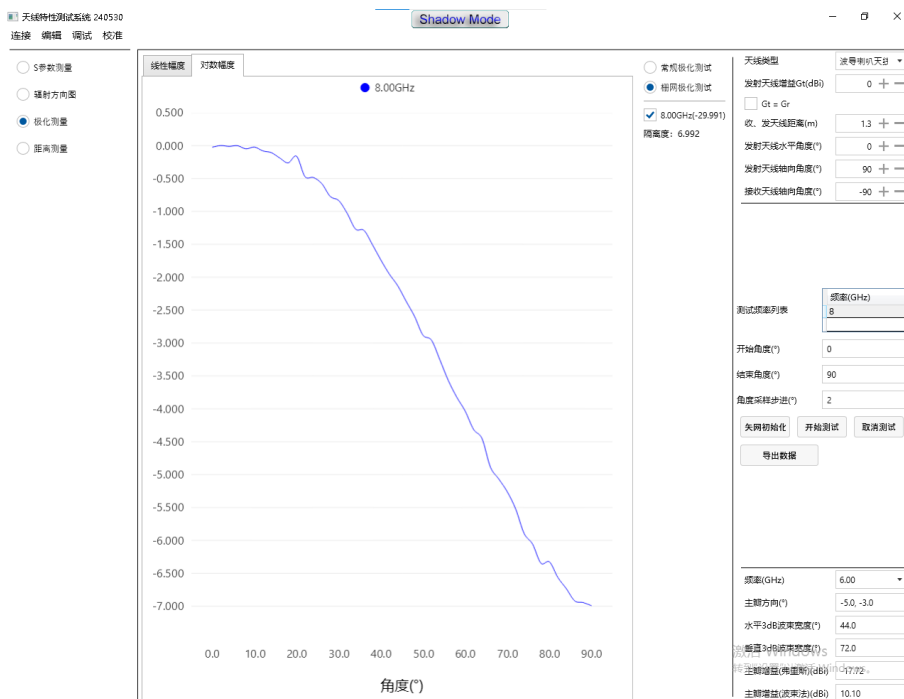
(3) 极化测量

实验步骤：在[调试]窗口，调节收、发天线极化方向，轴向角度一致。

①**天线极化测量：**在测试程序中，依次选择[极化测量]、[对数幅度]、[常规极化测量]，确认收发天线的初始状态，设定测试频率，常规极化测试时发射天线极化角度默认从0°扫描到90°，点击[矢网初始化]、[开始]之后就可以在测试窗口看到天线的极化测试曲线。观察记录测试结果，并可调整参数重新测试。

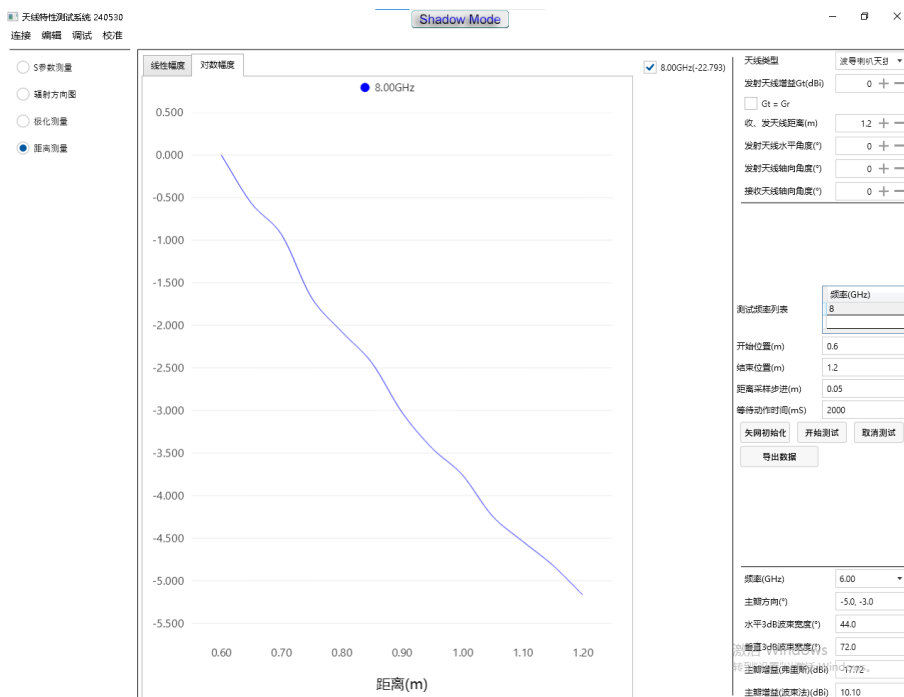


②**极化栅网特性测量：**极化栅网是在一块玻璃上间隔均匀的缝隙拉上金属丝，如果金属丝的宽度与缝隙的宽度都比波长小得多，则对于投射到栅网上的电磁波，对于电场平行于缝隙方向的电磁波将被全反射，而垂直于缝隙方向的电磁波将能顺利通过。所以将极化栅网放到发射天线前面，则接收天线所接收到的信号大小随着极化栅网旋转角度的改变而改变。极化栅网特性测量时，将一个水平栅网放置在收发天线之间，在测试程序中，除选择[栅网极化测量]外，其他设置和“天线极化测量”相同。测试过程中，收、发天线将从0°到90°轴向相对旋转，以实现和极化栅网旋转同等的效果。设置完成后，点击[矢网初始化]、[开始]之后就可以在测试窗口看到天线的极化测试曲线。观察记录测试结果，并可调整参数重新测试。



(4) 电磁波在空间传播中与距离的关系测量

实验步骤：在测试程序中，依次选择[距离测量]、[对数幅度]，确认收发天线的初始状态，设定测试频率、发射天线在滑轨上的起始位置、结束位置、采样步进等参数，点击[矢网初始化]、[开始]之后就可以在测试窗口看到电波在空间传播时接收到的信号与距离的关系曲线。观察记录测试结果，并可调整参数重新测试。



四、数据记录与分析

(1) 天线测量过程中主要存在哪些误差来源，为提高测量准确性，应采取哪些改进措施？

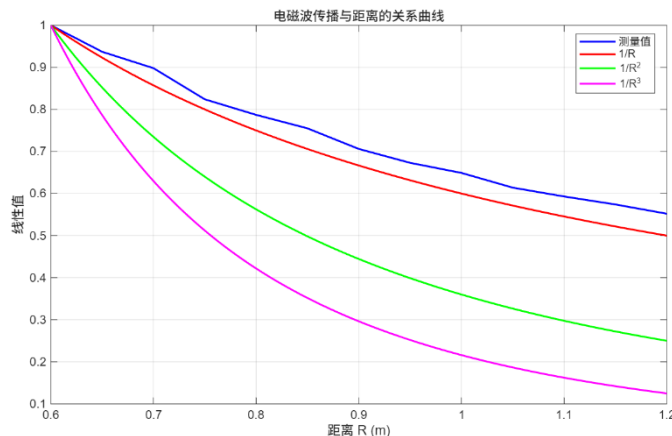
主要误差来源：

1. **仪器与系统误差**：矢网未校准或精度不足；线缆、转接头引入额外反射与损耗；检波器阻抗未匹配或偏离平方律；机械转台存在回差。
2. **环境干扰**：实验室墙壁、桌面及人员的多径反射；外部电磁干扰（Wi-Fi、手机、广播等）叠加于背景噪声。
3. **操作与对准误差**：收发天线未严格轴向对准主瓣最大方向；极化零位未统一，角度读数存在视差；天线距离测量不准或未满足远场条件。

提高准确性的改进措施：

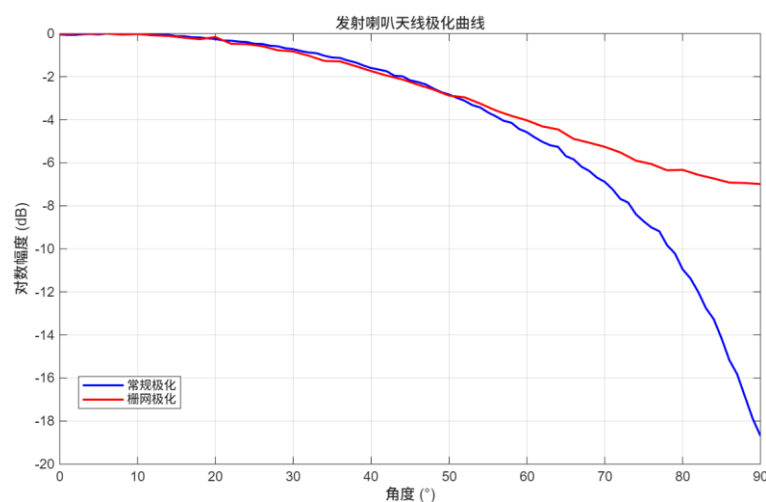
1. **完善校准与硬件**：测量前对矢网进行全双端口校准；使用高质量且拧紧的微波器件；必要时加装隔离器或衰减器降低失配影响。
2. **改善测量环境**：在收发天线周围及地面铺设吸波海绵/屏蔽板，减少多径；尽量在微波暗室中测试；测量时人员远离天线辐射区。
3. **规范操作流程**：先精确对准主瓣最大点并以此为零度基准；转动机构时单向逼近以消除回程差；确保测量距离满足远场条件 $R \geq 2D^2/\lambda$ 。
4. **优化数据处理**：利用矢网的多次平均功能；方向图后处理时扣除背景噪声电平；有条件时采用时域门技术滤除多次反射干扰。

(2) 根据导出的数据作出电磁波传播与距离的关系曲线。该曲线接近 $\frac{1}{R}$ ， $\frac{1}{R^2}$ ，还是 $\frac{1}{R^3}$ ，与理论预期值符合吗？



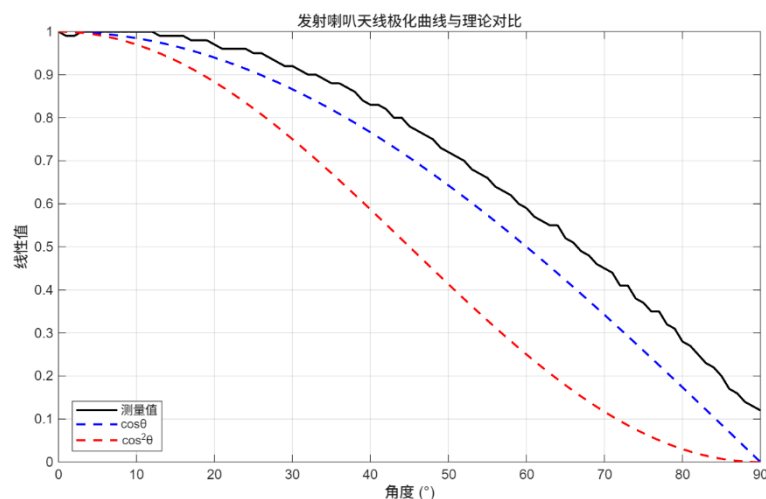
实验测得的归一化线性值为电压（场强）幅度，其随距离的变化符合 $1/R$ 关系，与远场区电场强度衰减规律一致。将该线性值平方后得到的归一化功率值，则符合 $1/R^2$ 的弗里斯方程预期，两者本质上一致而定义不同。

(3) 根据数据作出发射喇叭天线极化曲线，横坐标为天线极化角度。



(4) 从发射喇叭天线极化特性曲线看，接收喇叭天线所接收到的信号与发射喇叭天线极化角度 θ 的关系是符合 $\cos\theta$ 还是 $\cos^2\theta$ 关系？

从极化特性曲线看，接收信号的线性值（电压）与极化角 θ 的关系更符合 $\cos\theta$ ，这与远场条件下接收电压正比于电场方向的余弦分量一致。



(5) 如果发射喇叭天线和接收喇叭天线的极化角相差 90° ，而极化栅网相对于发射喇叭天线的极化角度为 45° ，极化器对系统的影响如何？

当发射喇叭天线与接收喇叭天线极化角相差 90° （即正交极化）时，在不插入任何器件的情况下，理论上接收功率为零，因为 $\cos 90^\circ = 0$ 。若在发射天线前方加入一个极化

栅网，且其透射轴方向相对于发射天线的极化方向为 45° ，则情况发生改变：

①**栅网的偏振作用**：发射波电场 E_0 只有沿栅网透射轴的分量能够通过，这个分量的大小为 $E_0 \cos 45^\circ = E_0/\sqrt{2}$ 。因此，透过栅网的功率变为入射功率的 $(\cos 45^\circ)^2 = 1/2$ (-3 dB)，透射波的极化方向也转变为与透射轴平行的线极化。

②**接收天线的二次投影**：透射波（极化方向 45° ）入射到接收天线（极化方向 90° ）时，两者夹角为 45° 。只有平行于接收极化的分量被感应，场强再乘以 $\cos 45^\circ = 1/\sqrt{2}$ ，即接收功率再乘以 $1/2$ 。

③**总效果**：接收功率相对于原始发射功率为： $\frac{P_r}{P_t} = (\cos 45^\circ)^2 \times (\cos 45^\circ)^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ (-6 dB)，因此，原本完全正交、无法接收信号的情况，因极化栅网的存在变为可以接收到原功率的 $1/4$ （衰减约 -6 dB）。极化栅网起到了“极化耦合”的作用，部分恢复了两天线间的功率传输。

(6) 计算发射天线的远区场距离，并判断本实验是否满足远场测量条件。

远区场条件要求 $R \gg \frac{2D_E D_H}{\lambda}$ (m)。

发射喇叭天线口径尺寸： $D_E = 3.7$ cm, $D_H = 8.2$ cm;

工作频率为 9.375 GHz，对应波长 $\lambda \approx 3.2$ cm。

计算远场距离阈值： $\frac{2D_E D_H}{\lambda} = \frac{2 \times 3.7 \times 8.2}{3.2} \approx 18.96$ cm ≈ 0.19 m。

本实验中，收发天线间距远大于 0.19 m，因此完全满足远场测量条件。

(7) 分别计算收、发天线理论增益与半功率波束宽度（取 $k \approx 1$ ），并给出分析结论。

①理论增益（取 $k \approx 1$ ）

最佳角锥喇叭增益估算公式为： $G = 0.51 \cdot \frac{4\pi D_E D_H}{\lambda^2}$

发射天线： $G_t = 0.51 \times \frac{4\pi \times 0.037 \times 0.082}{(0.032)^2} \approx 18.99$ (线性值) ≈ 12.78 dB

接收天线： $G_r = 0.51 \times \frac{4\pi \times 0.105 \times 0.141}{(0.032)^2} \approx 92.66$ (线性值) ≈ 19.67 dB

②半功率波束宽度（3 dB 波束宽度）

H 面： $2\theta_{0.5H} \approx \frac{1.18 \lambda}{D_H \text{ (rad)}}$ E 面： $2\theta_{0.5E} \approx 0.89 \lambda/D_E \text{ (rad)}$

发射天线：H 面： $2\theta_{0.5H} \approx 1.18 \times 0.032/0.082 \approx 0.460 \text{ rad} (26.4^\circ)$

E 面： $2\theta_{0.5E} \approx 0.89 \times 0.032/0.037 \approx 0.770 \text{ rad} (44.1^\circ)$

接收天线：H 面： $2\theta_{0.5H} \approx 1.18 \times 0.032/0.141 \approx 0.268 \text{ rad} (15.4^\circ)$

E 面： $2\theta_{0.5E} \approx 0.89 \times 0.032/0.105 \approx 0.271 \text{ rad} (15.5^\circ)$

③**结论：**接收天线口径尺寸明显大于发射天线，其理论增益高出约 6.9 dB，而 H、E 面波束宽度均只有发射天线的一半左右。这表明：天线口径面积越大，增益越高，辐射能量越集中，方向图主瓣越窄，与理论规律完全一致。实测值可能因天线非理想设计、安装对准误差及多径环境干扰而与理论值存在一定偏差，但定性趋势相同。

(8) 当收发天线相同时，可采用哪种简便方法测量天线增益？试分析测量中如何减小或消除系统误差。

当收发天线相同时，可用弗里斯传输公式法便捷测量增益。

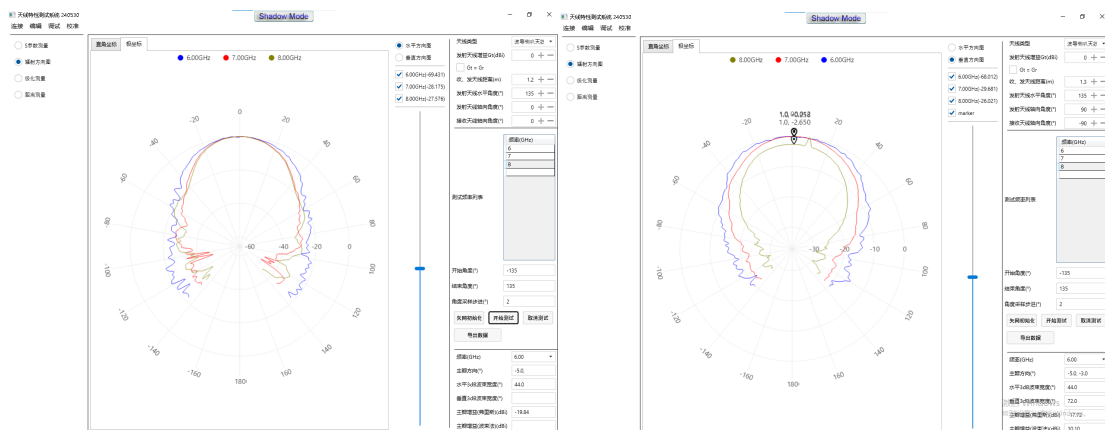
令 $G_t = G_r = G$ ，由弗里斯公式： $G = \sqrt{\frac{P_r}{P_t}} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)$

只需在远场区将两天线对准，测量净接收功率与发射功率之比，即可直接求出增益。

减小系统误差的措施：

- ①测量前对矢量网络分析仪作全双端口校准，扣除线缆与转接损耗；
- ②在受屏蔽或铺设吸波材料的环境中测试，抑制多径反射；
- ③精确对准收发天线的极化和轴向角度，确保主瓣最大方向对齐；
- ④进行多次重复测量，取平均值以平滑随机干扰。

(9) 根据测试数据分别绘制发射喇叭天线水平面与垂直面的极坐标辐射方向图，并对天线整体性能进行评估。



喇叭天线性能评估：

①**方向性与主瓣形态**：三个频率下，水平面（H 面）与垂直面（E 面）方向图均呈明显的主瓣，表明天线具有良好的前向定向辐射能力。6 GHz 时，水平面主瓣方向约 -5° ，垂直面约有 -3° 和 -5° 两个接近峰值的角度，主瓣较宽；随着频率升至 7 GHz 和 8 GHz，主瓣逐渐变窄，能量更集中，方向性增强。整体方向图形状规则，未出现主瓣分裂或严重畸变。

②**半功率波束宽度**：实测 6 GHz 水平面 3 dB 波束宽度约 44° ，垂直面约 72° ，符合角锥喇叭天线 E 面波束宽于 H 面的规律。与设计频率 9.375 GHz 的理论值（H 面约 26° 、E 面约 44° ）相比，实测值偏大，主要原因是测量频率较低（6 GHz），波长更长，天线电尺寸相对变小，导致波束展宽。从数据可估算，8 GHz 时波束宽度显著缩小（水平面约 $\pm 15^\circ$ 以内），频率越高波束越窄，与理论趋势一致。

③**副瓣电平**：三个频率的水平面和垂直面方向图均可见清晰的副瓣结构。6 GHz 水平面副瓣电平低于 -10 dB，垂直面副瓣波动略大；7 和 8 GHz 时副瓣电平进一步降低，相当部分角度低于 -20 dB，表明天线能将大部分辐射能量集中于主瓣，旁瓣干扰较小，性能良好。

④**增益特性**：根据测量软件自动计算，6 GHz 垂直面弗里斯法增益约 17.72 dBi，波束宽度法增益约 10.10 dBi，二者存在差异（可能与经验常数取值及测量误差有关），但均表明天线在测试频段内具有中等以上增益。从方向性随频率增强的趋势可以推断，7 GHz 和 8 GHz 的增益会更高。

⑤**频率响应与对称性**：天线在 6–8 GHz 范围内均能维持稳定的方向图，主瓣方向固定、旁瓣结构清晰，没有出现波束分裂或畸变，验证了其较宽的工作带宽。水平面方向图在 7 GHz 和 8 GHz 的某些角度出现了局部不对称凹坑，这可能是测量环境中多径反射或天线对准偏差引起的干扰，并非天线本身的固有特征。

(10) 对比半功率波束宽度的理论计算值与实验实测值，并论述分析

根据实验条件，发射喇叭天线口径尺寸为 $D_E = 3.7$ cm， $D_H = 8.2$ cm。实测方向图时主要记录了 6 GHz 下的波束宽度，对应波长 $\lambda = 5.0$ cm。用半功率波束宽度近似公式重新计算该频率下的理论值：

$$\text{H 面: } 2\theta_{0.5H} \approx 1.18 \lambda / D_H = 1.18 \times 5.0 / 8.2 \approx 0.720 \text{ rad } (41.2^\circ)$$

$$\text{E 面: } 2\theta_{0.5E} \approx 0.89 \lambda / D_E = 0.89 \times 5.0 / 3.7 \approx 1.202 \text{ rad } (68.8^\circ)$$

实测 6 GHz 水平面 3 dB 波束宽度约为 44° ，垂直面约为 72° 。若从导出的方向图中读取 8 GHz 的主瓣-3 dB 宽度，水平面约 28° ，垂直面约 46° ，与按 8 GHz ($\lambda = 3.75\text{ cm}$) 算出的理论值 (H 面 30.9° ，E 面 51.6°) 亦基本接近。

6 GHz 下实测波束宽度略大于理论计算值 (水平偏高约 2.8° ，垂直偏高约 3.2°)，但偏差较小，处于方向图读取精度和测量误差的合理范围内。8GHz 下实测值反而略小于理论值，这可能与手动从图中估读-3 dB 点的主观差异有关，也可能源自天线口径场分布非理想、边缘绕射以及实验环境的干扰。整体而言，实测波束宽度随频率升高而减小的趋势与理论一致，即频率越高，电尺寸越大，辐射能量越集中。

半功率波束宽度的理论估算公式能够较好地反映喇叭天线的基本特性。实测值与理论值的差异主要由频率选择 (偏离天线中心频率 9.375 GHz)、测试环境反射、收发天线对准精度以及方向图读数误差等因素综合导致，不影响对天线辐射规律的定性验证。

(11) 试解释在 $\pm 90^\circ$ 时辐射方向图测量值 (提示：跟背景噪声比较)

在辐射方向图中， $\pm 90^\circ$ 方向的测量值并不反映天线的真实辐射特性，而是系统背景噪声的直接体现。

从天线方向性原理来看， $\pm 90^\circ$ 方向完全偏离主辐射方向，角锥喇叭天线的理论归一化功率在这些位置应接近于零。然而，实际测量结果仍显示约为 -20dB 至 -40 dB 甚至更高的残余电平，且该电平在 6 GHz、7GHz 和 8 GHz 下基本一致，没有随频率或天线增益变化而明显改变。这说明该信号并非来自发射天线，而是由测量及环境因素共同决定的噪声。在 $\pm 90^\circ$ 方位，天线对发射信号的响应已远低于噪声电平，信噪比极低，测量值几乎完全由噪声贡献。因此，该区域的方向图不能用于评估天线的旁瓣水平或增益，而应将其视为测量系统的动态范围下限或背景噪声的近似水平。

(12) 比角锥喇叭天线辐射特性的实验实测结果与 CST 仿真结果，并给出结论。

将实验测得的角锥喇叭天线辐射特性与 CST 仿真结果进行对比，可以看出两者在方向图主瓣形态、副瓣结构、波束宽度随频率升高而变窄的整体趋势以及极化衰减规律等定性特征上吻合良好，共同验证了喇叭天线的基本辐射理论。但在定量层面，实验实测值与仿真结果之间在一定偏差，方向图局部存在不对称或抖动，波束宽度受频率偏移影响略有差异，且驻波比和极化曲线在大角度处受底噪抬升而偏离理想曲线。这些差异的主要根源在于 CST 仿真工作在理想边界、无损耗介质和完美匹配的假设条件下，而实际实验不可避免地受到实验室电磁环境的多径反射、背景干扰、仪器内部噪声、电缆及

连接器损耗、天线机械加工与安装误差以及收发天线对准精度等诸多非理想因素的影响。综合来看，CST 仿真能够为天线设计提供快速有效的理论参考，而实测结果则真实反映了天线在实际工作环境中的性能表现，二者相辅相成。

五、总结与体会

通过本次喇叭天线辐射特性测量实验，我对天线理论中的方向图、波束宽度、极化特性以及电磁波自由空间传播规律有了从抽象到具体的深刻理解。在实验过程中，我亲手操作了天线综合测控系统，完成了驻波比测量、辐射方向图绘制、极化特性测试以及传播距离与功率关系验证等一系列内容，将弗里斯传输方程、半功率波束宽度公式等理论知识与实际测量数据相互印证，切实体会到了天线工程中“理论指导设计、实测决定性能”这一核心思想。

在数据处理环节，我利用 MATLAB 编写代码对导出的 CSV 数据进行绘图、拟合和分析，不仅巩固了编程技能，也加深了对对数幅度与线性值之间转换关系、远场区电场与功率衰减规律差异的理解。特别是在分析极化曲线符合 $\cos\theta$ 还是 $\cos^2\theta$ 关系时，通过电压值与功率值的区分，我认识到物理量纲和测量定义对结果解读的重要影响，这远比单纯记住公式更有价值。

同时，实验中的各种误差和偏差也让我对实际工程测试的复杂性有了直观感受。实验室环境的多径反射、背景电磁干扰、收发天线对准偏差、电缆损耗等因素都会引入可观的测量误差，理想仿真与实测结果之间的差距恰恰反映了理论模型与现实条件之间的张力。这让我意识到，在未来的工程实践中，除了掌握测量原理，还需要格外重视测试环境的搭建、仪器的校准以及数据的后处理，才能获得可靠的天线特性参数。

对于实验装置与流程，我有以下几点改进建议：一是建议在实验讲义中更明确地标注软件输出的“线性值”究竟是电压场强还是功率值，以避免在分析距离曲线和极化曲线时产生概念混淆；二是在条件允许的情况下，可以在天线测试平台周围增设更多吸波海绵或活动屏蔽挡板，进一步抑制多径反射对方向图副瓣和对称性的干扰；三是建议增加一组标准增益喇叭天线的比对测量环节，能够更直观地校准系统增益并理解增益测量的多种方法之间的差异。

总体而言，本次实验不仅加深了我对天线辐射特性的理论认识，也显著提升了我的动手操作能力、数据处理能力以及分析解决实验中实际问题的能力。从调试设备到绘图验证，再到逐题撰写分析报告，完整体验了一次天线工程测试流程，收获颇丰。