

电磁场与微波实验 第一次实验 预习报告

无 82 许凌玮 2018011084

实验一 自由空间电磁波波长的测量和矩形波导截止特性的研究

一、实验目的

1. 了解电磁波综合测试仪的结构，掌握其工作原理；
2. 在学习均匀平面电磁波特性的基础上，观察与了解电磁波传播特性；
3. 熟悉并利用相干波原理，测量自由空间内电磁波波长，并确定相位常数；
4. 研究电磁波在矩形波导中的截止特性。

二、实验原理

1. 自由空间电磁波波长的测量

两路等幅、同频率的均匀平面的电磁波，在自由空间内以相同或者相反方向传播时，由于初始相位不同发生干涉现象，在传播路径上可形成驻波分布。通过构造不同光程的两路光路叠加形成驻波，可以测得波长。

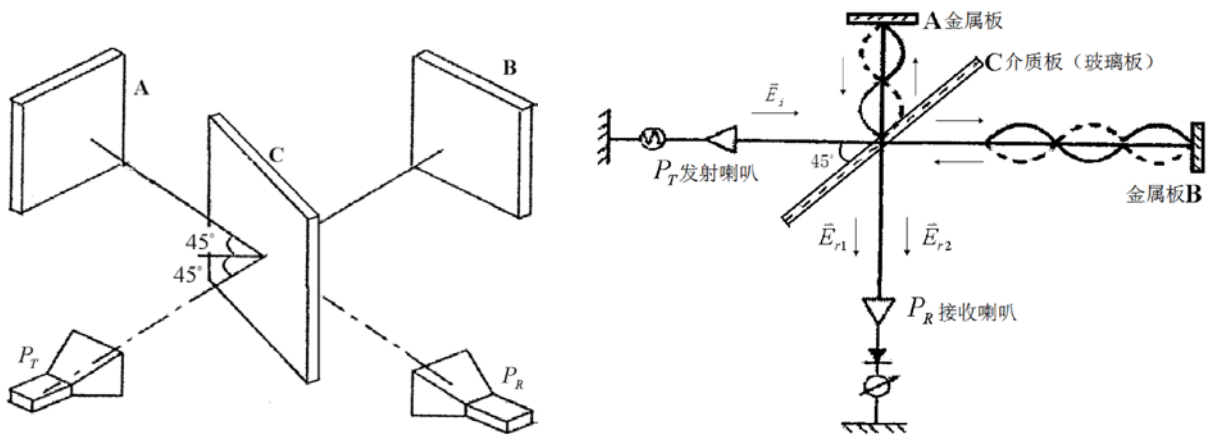


图 1 自由空间电磁波波长测试装置与原理图

实验装置与原理如图 1 所示。发射喇叭 P_T 发出的入射波以 45° 向介质板投射，在分界面上产生反射波 E_r 和折射波 E_t ，反射波经过固定板 A 的反射后再经过介质板的折射传播到接收喇叭 P_R 处，折射波则经过可动板 B 的反射后再经过介质板的反射最终到达 P_R 处，两者在 P_R 处产生干涉。两路电磁波分别为：

$$\begin{aligned}\vec{E}_{r1} &= -RT_0 T_c \vec{E}_{0i} e^{-j\phi_1} \\ \vec{E}_{r2} &= -RT_0 T_c \vec{E}_{0i} e^{-j\phi_2}\end{aligned}$$

两路电磁波的路程差为：

$$\Delta L = |L_1 - L_2|$$

当 $\Delta L = n\lambda$ 时，干涉相长，接收指示达到最大值， $\Delta L = (n + 1/2)\lambda$ 时，干涉相消，接收指示达到

最小值。因此，持续单向移动可动板 B 改变两路信号的路程差 ΔL 时，接收信号最大值和零值交替出现，呈周期性变化。测量多个接受零值处 B 板的位置 d ，即可计算 λ 、 k ($k = 2\pi/\lambda$)。

若测得四个零值点的位置 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 ，则可计算得到波长

$$\text{直接法: } \lambda = 2(d_4 - d_1)/3$$

$$\text{逐差法: } \lambda = (d_4 + d_3 - d_2 - d_1)/2$$

注意，测量时必须单向移动 B 板以避免回程差的影响，测量最小值时应使用两点法测量以减小误差，即测出零点左右两个相同值（取 $10\mu\text{A}$ ）对应的刻度 e_1 、 e_2 ，取平均值得 $d = (e_1 + e_2)/2$ 。

2. 矩形波导截止特性的研究

开缝金属板和开孔金属板如图 2 所示。设缝宽为 a ，相当于波导的宽边，电场方向平行于缝隙的开缝方向，工作波长为 λ 。根据矩形波导相关理论，对于开缝金属板，当 $a > \lambda/2$ 时电磁波可以通过波导传输，当 $a < \lambda/2$ 时一部分极化方向的电磁波会被反射，出现截止衰减现象。对于开孔金属板， $a < \lambda/2$ 时不同极化方向的电磁波都会被反射。

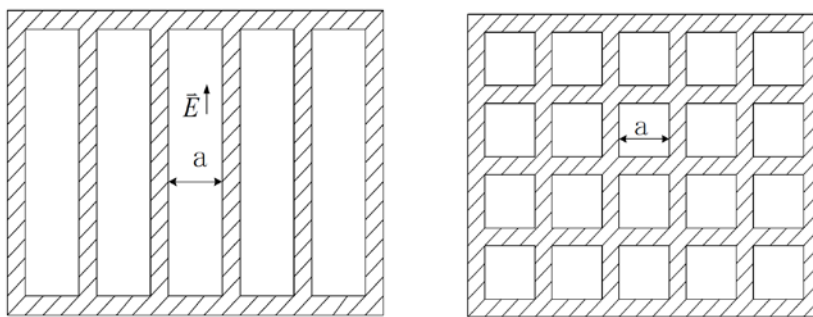


图 2 开缝金属板和开孔金属板示意图

实验中，分别观察不同尺寸、不同方向的开缝金属板及开孔金属板对电磁波的反射与透射效果。通过实验观察到的现象掌握波导中电磁波的截止特性。

三、实验内容

1. 自由空间电磁波波长的测量

1) 了解电磁波综合测试仪的工作特性、使用方法，特别要熟悉与掌握利用相干波原理测试电磁波波长的方法。

2) 测 λ 值。移动可动板 B，并测出相应接收零值 B 板的位置 d ，根据测得的 d 值及 n 值，计算波长 λ 与传播常数 K 。

3) 用频谱仪和线天线测出信号源频率 f_0 ，并计算波长 $\lambda_0 = c/f_0$ ，并与所测波长 λ 进行比较。

2. 矩形波导的截止特性研究

1) 掌握矩形波导的截止特性。

2) 研究不同开缝金属板和开孔金属板对电磁波反射与透射效果。

四、实验数据

1. 自由空间电磁波波长的测量

1) 电磁波综合测试仪测波长

表 1 自由空间电磁波波长的测量数据记录表 (单位: mm)

	第 1 次测量			第 2 次测量			第 3 次测量		
	e_1	e_2	d	e_1	e_2	d	e_1	e_2	d
d_1									
d_2									
d_3									
d_4									
$\lambda_{\text{直接法}}$									
$\lambda_{\text{逐差法}}$									
$\bar{\lambda}$	$\bar{\lambda}_{\text{直接法}} =$			$\bar{\lambda}_{\text{逐差法}} =$					
k/mm^{-1}	$k_{\text{直接法}} =$			$k_{\text{逐差法}} =$					

2) 用频谱仪和线天线测量电磁波频率并计算波长

表 2 频谱仪和线天线测波长数据记录表

电磁波频率 f_0	电磁波波长 λ_0

2. 矩形波导的截止特性研究

1) 研究不同开缝金属板和开孔金属板对电磁波的反射与透射效果

表 3 矩形波导的截止特性研究数据记录表 1

直接接收示数				
放置宽缝金属板时接收示数	宽缝纵向放置		宽缝横向放置	
放置窄缝金属板时接收示数	窄缝纵向放置		窄缝横向放置	
放置开孔金属板时接收示数				

表 4 矩形波导的截止特性研究数据记录表 2

入射角 $\theta_i = 30^\circ$	入射功率 I_i (接收示数)	反射功率 I_r (接收示数)
窄缝纵向放置的金属板		
放置小孔金属板		

实验二 波导波长、驻波比和阻抗的测量

一、实验目的

1. 了解波导测量线系统，掌握微波信号源、驻波测量线及各类微波元器件的工作原理和使用方法；
2. 掌握用测量线测量波长的方法；
3. 掌握用测量线测量阻抗及电压驻波比的原理和方法。

二、实验原理

1. 测量波长

为了测量波导波长，先在波导测量线上用两点法测量两个相邻波节点的位置 T_{min} 和 T'_{min} ，再得出波导波长 $\lambda_g = 2|T'_{min} - T_{min}|$ 。然后用波导波长和自由波长的公式计算自由波长。

对于矩形波导中的 TE_{10} 波，自由波长 λ_0 和波导波长 λ_g 的关系如下：

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{\lambda_g}{\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_g}{2a}\right)^2}}$$

其中 a 为矩形波导宽边尺寸，对于三厘米波导 $a = 22.86\text{mm}$ 。

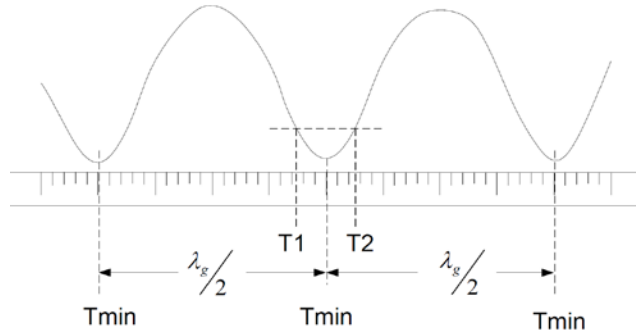


图 3 两点法确定波节点位置示意图

两点法确定波节点位置如图 3 所示。测量波节点附近两边指示电表读数相等的两点 T_1 和 T_2 ，由下式计算出波节点位置

$$T_{min} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

2. 电压驻波系数的测量

电压驻波系数即波导中电场强度的最大值和最小值之比。本实验测量驻波系数采用直接法。设驻波腹点和节点处电表读数分别为 I_{max} 和 I_{min} ，由于是小信号工作，晶体检波律 $n = 2$ ，则驻波系数为

$$\rho = \frac{E_{max}}{E_{min}} = \sqrt{\frac{I_{max}}{I_{min}}}$$

当电压驻波系数在 $1.05 < \rho < 1.5$ 时，最大值与最小值相差不大，可以移动探针到多个位置记录数据，然后求平均值。当 $1.5 < \rho < 5$ 时，直接读出 I_{max} 和 I_{min} 即可。本实验多次测量取平均值 ($n = 3$)

$$\rho = \sqrt{\frac{I_{max,1} + I_{max,2} + \dots + I_{max,n}}{I_{min,1} + I_{min,2} + \dots + I_{min,n}}}$$

3. 阻抗测量

由传输线理论可知，传输线的归一化输入阻抗 \bar{z}_{in} 与其归一化终端负载 \bar{z}_L 的关系为

$$\bar{z}_{in} = \frac{\bar{z}_L + j \tan \beta l}{1 + j \bar{z}_L \tan \beta l} \quad (\beta = 2\pi/\lambda_g)$$

设传输线上驻波相位（即第一个电压驻波最小点离终端负载的距离）为 l_{min} ，驻波系数为 ρ ，电压驻波最小点处的归一化输入阻抗在数值上等于 $1/\rho$ ，即

$$\bar{z}_{in}|_{l_{min}} = \frac{1}{\rho}$$

将 $l = l_{min}$ 以及 $\bar{z}_{in} = 1/\rho$ 代入可得

$$\bar{z}_L = \frac{1 - j\rho \tan \beta l_{min}}{\rho - j \tan \beta l_{min}}$$

由于测量线结构的限制，直接测量 l_{min} 较为困难，因此实际测量时采用“等效截面法”。

首先将测量线终端短路，此时终端为波节点，沿线的驻波分布如图 4-a 所示。用测量线测得某一驻波节点位置 D_T （任一驻波节点与终端的距离都是半波长的整倍数），将此位置定为终端负载的等效位置 D_T 。然后去掉短路线，改接被测负载，此时系统的驻波分布如图 4-b 所示。用测量线测得 D_T 左边第一个驻波最小点的位置 D_A ，则 $l_{min} = |D_T - D_A|$ 。

然后再 Smith 圆图上找到归一化阻抗，如图 4-c 所示。驻波最小点截面处的阻抗为纯电阻，其电阻值即是以 0 为圆心， ρ 为半径的圆与纯电阻轴交点 A 所代表的值。由 A 点沿等 ρ 圆向负载方向逆时针旋转 l_{min}/λ_g 得到 T 点，点 T 的读数即为待测元件的归一化阻抗 \bar{z}_L 。

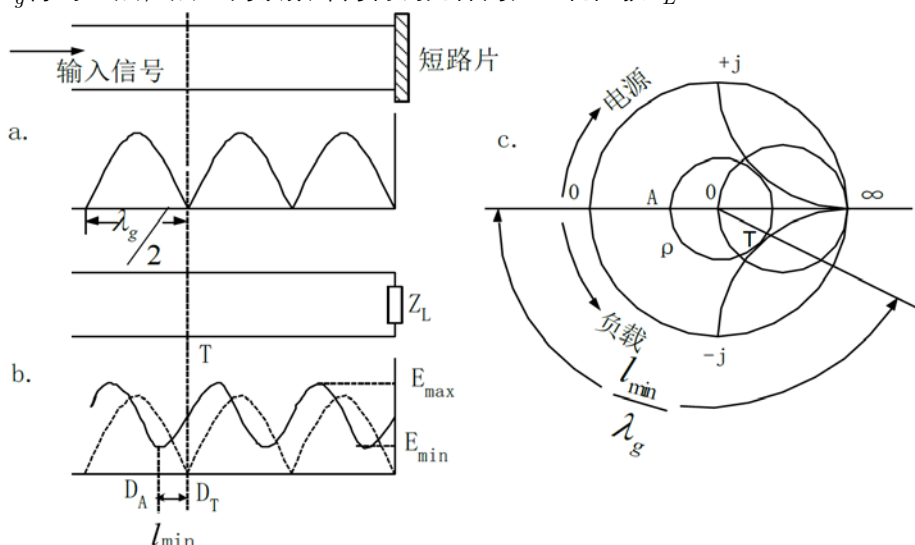


图 4 “等效截面法”阻抗测量原理图

三、实验内容

1. 测量信号波长。

将驻波测量线探针插入适当深度，并将探针移至两个波节点的中点位置，然后调节其调谐回路，使测量放大器指示最大。再将波导测量线终端短路（同轴测量线终端开路），调谐选频放大器的衰减量和可变衰减器使当探针位于波腹时，放大器指示电表在量程的 2/3 以上，用两点法测量导波波长。

2. 测量给定器件的电压驻波系数和阻抗。

接上被测件，采用直接法测量驻波波腹点和波节点处的选频放大器读数 I_{max} 和 I_{min} （连续测量三

次, 取平均值), 求出电压驻波比。按照等效截面法, 在测量线系统上测量 D_T 和 D_A 的位置, 计算 l_{min} 。在 Smith 圆图上标出 A、T 两个点, 求出归一化阻抗值和实际阻抗值。

四、实验数据

1. 测量信号波长

表 5 传输线测量信号波长数据记录表

	第 1 次测量	第 2 次测量	第 3 次测量
T_1			
T_2			
$T_{min} = (T_1 + T_2)/2$			
T'_1			
T'_2			
$T'_{min} = (T'_1 + T'_2)/2$			
$\lambda_g = 2 T'_{min} - T_{min} $			
$\overline{\lambda_g}$			
$\lambda_0 = \lambda_g / \sqrt{1 + (\lambda_g/2a)^2}$			

2. 测量给定器件的电压驻波系数和阻抗

表 6 测量电压驻波比数据记录表

	第 1 次测量	第 2 次测量	第 3 次测量
I_{max}			
I_{min}			

$$\rho = \sqrt{\frac{I_{max,1} + I_{max,2} + I_{max,3}}{I_{min,1} + I_{min,2} + I_{min,3}}} =$$

表 7 阻抗测量数据记录表

D_T	
D_A	
$l_{min} = D_T - D_A $	
l_{min}/λ_g	
归一化阻抗 (Smith 圆图测测量值) $\bar{z}_L =$	
实际阻抗值 $Z_L =$	