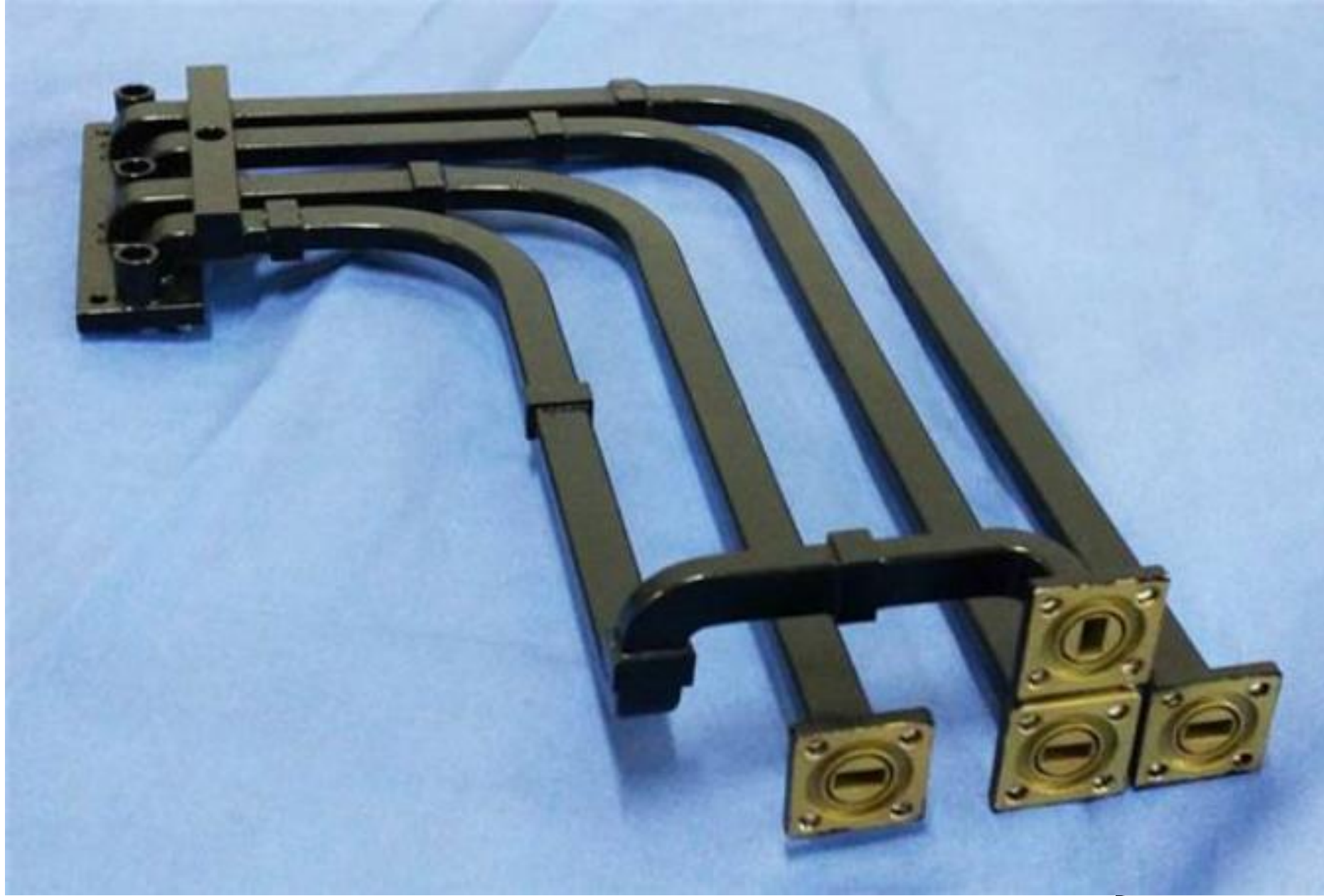


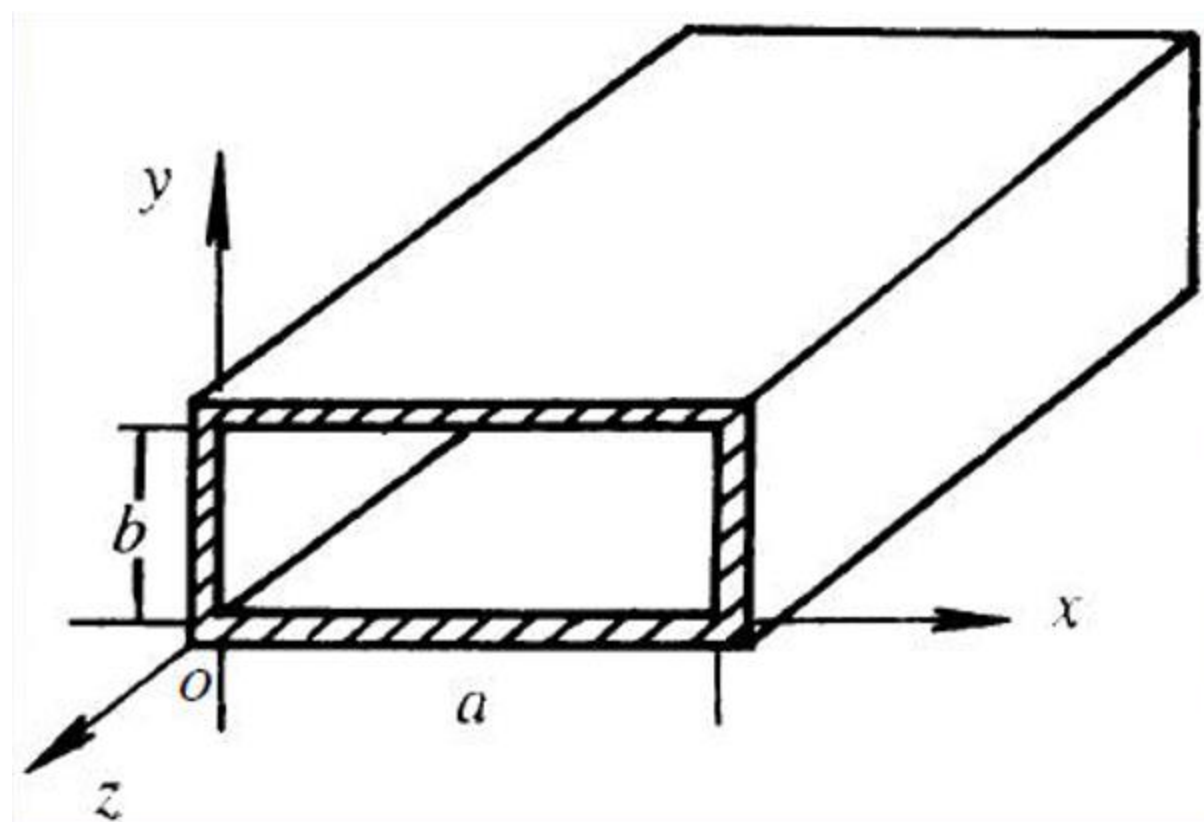
# 实验三 矩形金属波导中 $TE_{10}$ 模的 场结构动态仿真

2021.03

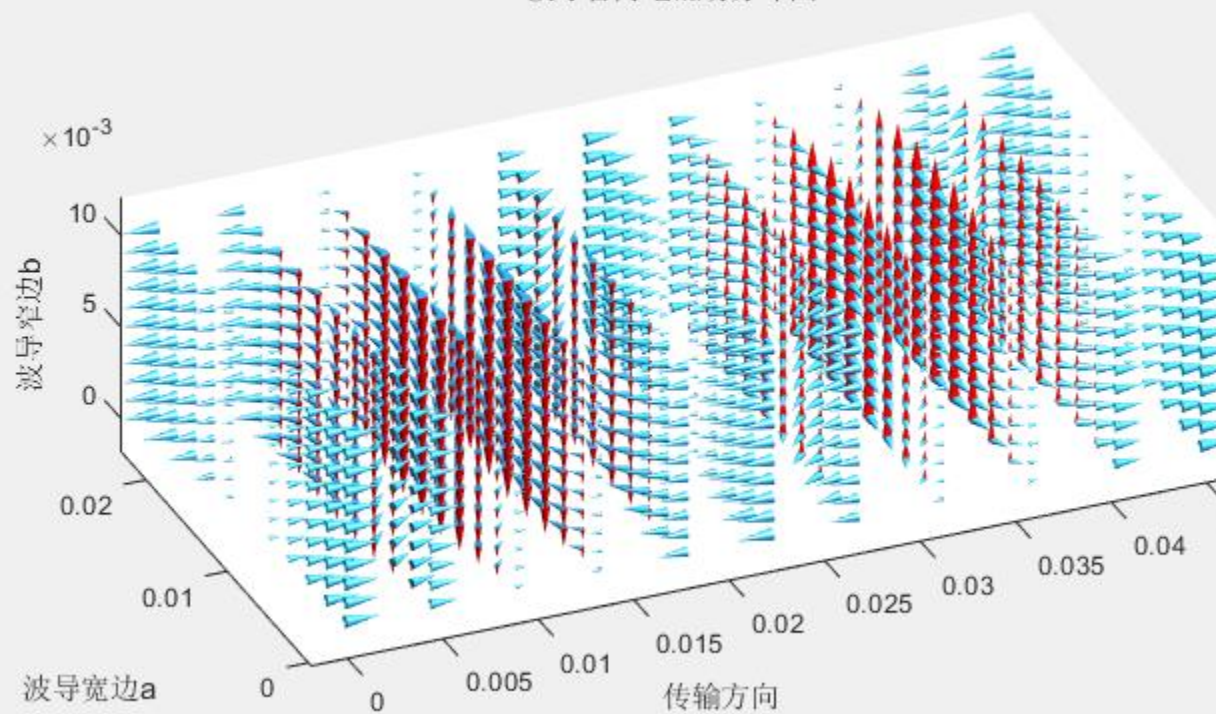
# 一、实验目的

- 在学习矩形波导中 $TE_{10}$ 模的场结构的基础上，仿真描绘 $TE_{10}$ 模的场结构特性。
- 熟悉并掌握仿真软件进行形象化电磁场的技术。

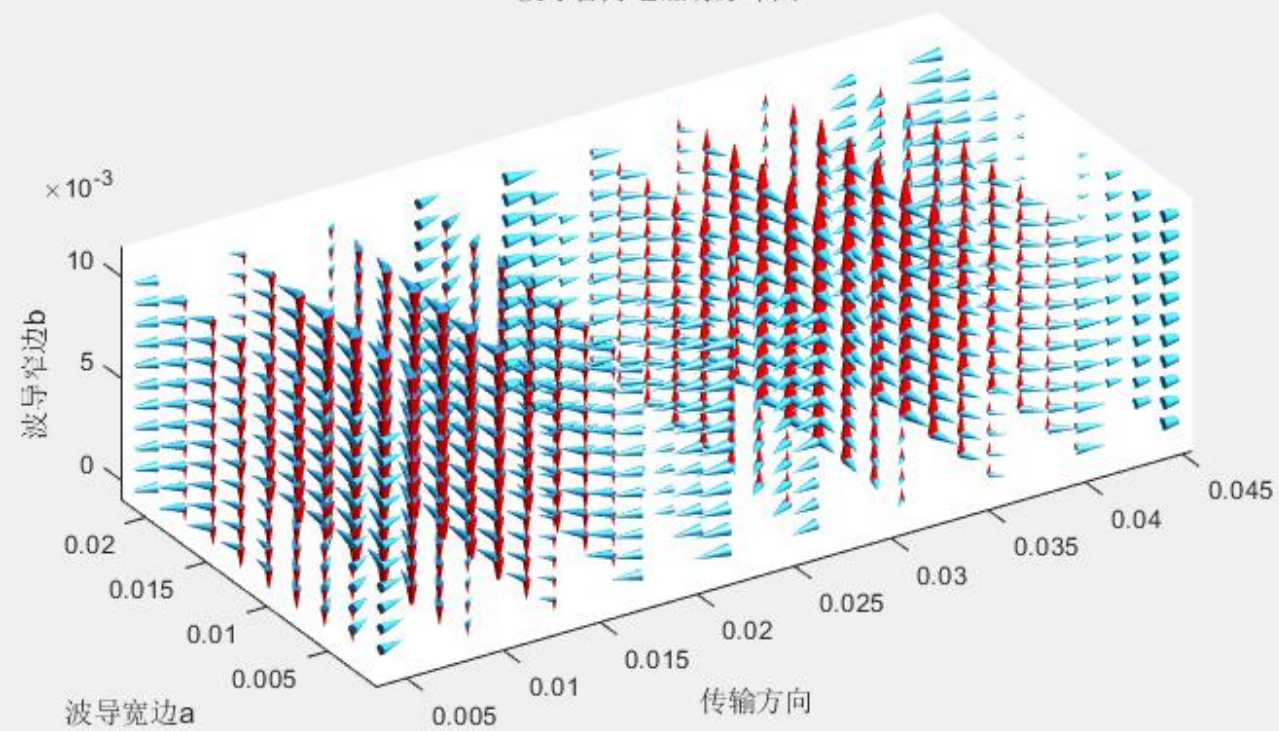




波导管内电磁场分布图

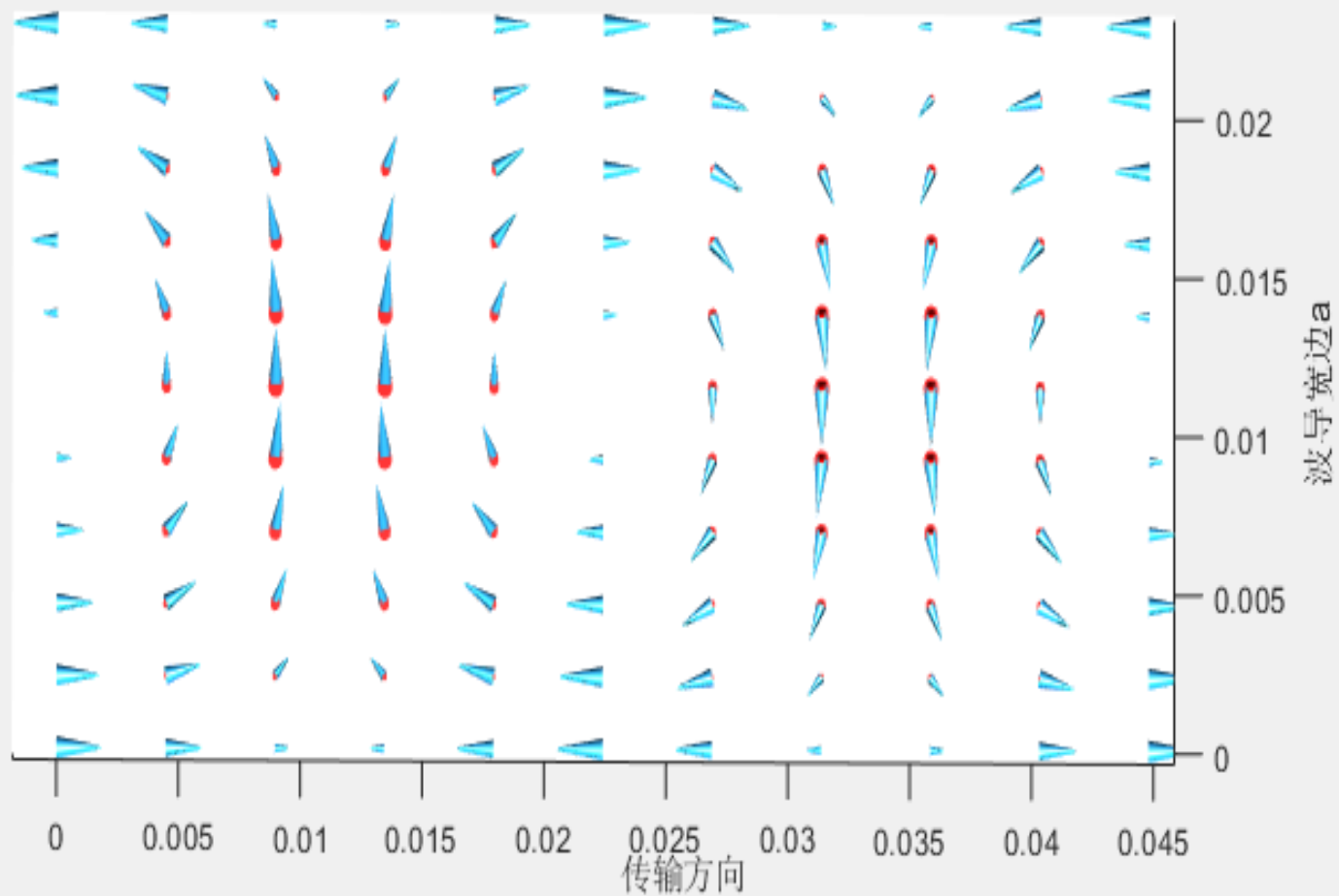


波导管内电磁场分布图

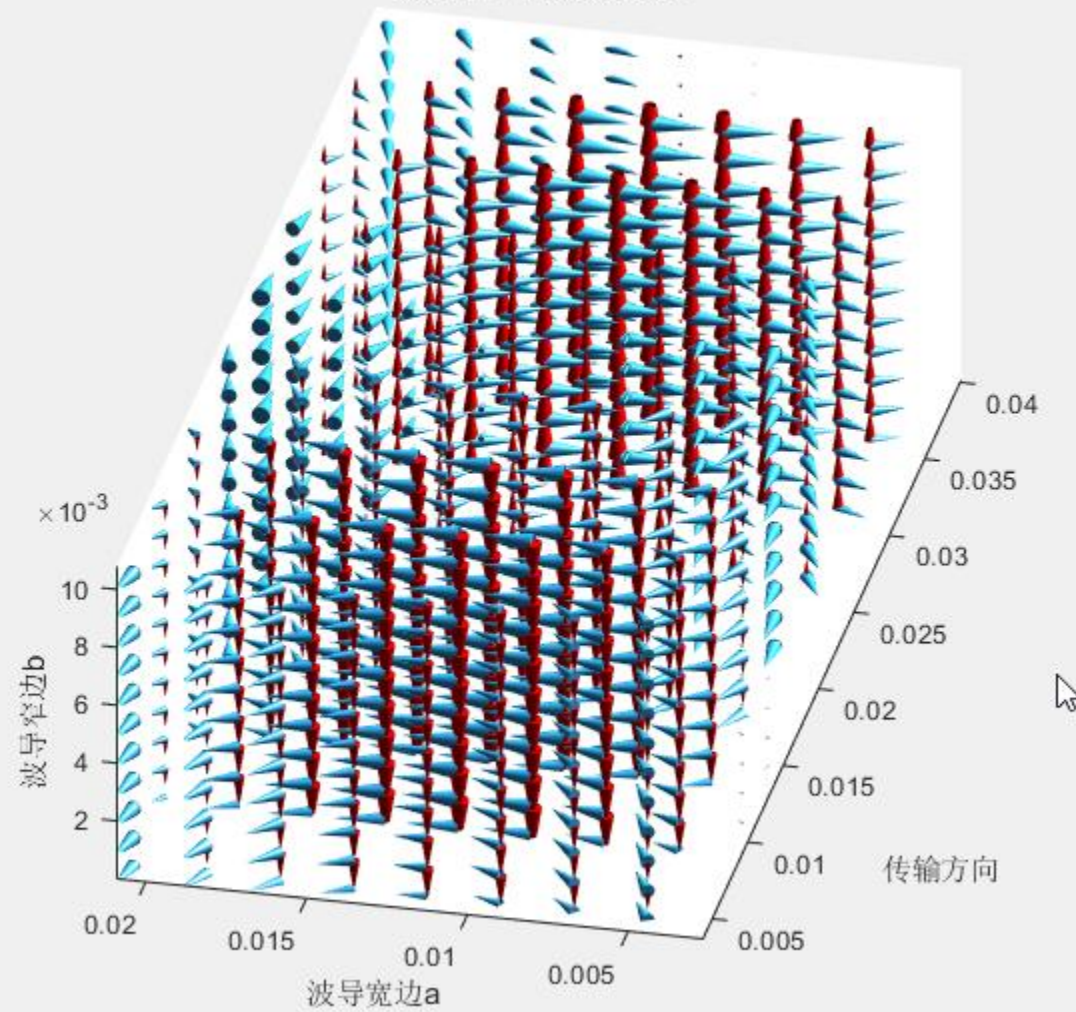




波导管内电磁场分布图



波导管内电磁场分布图



## 二、实验内容与原理

### 实验内容

BJ-100波导管的结构参数为：频率范围（8.2GHz~12.5GHz）结构参数： $a=22.86\text{mm}$ ,  $b=10.16\text{mm}$ .

依据理论分析，仿真描绘BJ-100在信源频率为9.375GHz下的波导内部电磁场主模 $\text{TE}_{10}$ 的分布及传播特性。

1) 用Matlab Script编码描绘波导口处（ $z=0$ ）的电场、磁场分布。

设定参数：

- $a = 22.86\text{mm}$ ;  $b = 10.16\text{mm}$ ; 取点间隔 $d = 15$ ; 初始 $H_0 = 1$ ; 频率 $f = 9.375 \times 10^9\text{Hz}$ ;
- 时间 $t=0:0.00001:0.0001$

## 二、实验内容与原理

### 实验内容

BJ-100波导管的结构参数为：频率范围（8.2GHz~12.5GHz）结构参数： $a=22.86\text{mm}$ ,  $b=10.16\text{mm}$ .

依据理论分析，仿真描绘BJ-100在信源频率为9.375GHz下的波导内部电磁场主模 $\text{TE}_{10}$ 的分布及传播特性。

2) 切片显示：在某一时刻 $t$ （i），某一 $y$ （纵切）下不同 $x$ 层线上不同 $z$ 上电场的大小、方向。



## 二、实验内容与原理

### 实验内容

BJ-100波导管的结构参数为：频率范围（8.2GHz~12.5GHz）结构参数：  $a=22.86\text{mm}$ ,  $b=10.16\text{mm}$ .

依据理论分析，仿真描绘BJ-100在信源频率为9.375GHz下的波导内部电磁场主模 $\text{TE}_{10}$ 的分布及传播特性。

3) 切片显示：显示在某一时刻 $t$ （i），某一 $z$ （横切）下不同 $x$ 横线上不同 $y$ 上电场的大小、方向。

## 二、实验内容与原理

### 实验内容

BJ-100波导管的结构参数为：频率范围（8.2GHz~12.5GHz）结构参数：  $a=22.86\text{mm}$ ,  $b=10.16\text{mm}$ .

依据理论分析，仿真描绘BJ-100在信源频率为9.375GHz下的波导内部电磁场主模 $\text{TE}_{10}$ 的分布及传播特性。

4) 显示在某一时刻，某一 $z$ （横切）下不同 $x$ 横线上 不同 $y$ 上电场的大小、方向。

## 二、实验内容与原理

### 实验内容

BJ-100波导管的结构参数为：频率范围（8.2GHz~12.5GHz）结构参数： $a=22.86\text{mm}$ ,  $b=10.16\text{mm}$ .

依据理论分析，仿真描绘BJ-100在信源频率为9.375GHz下的波导内部电磁场主模 $\text{TE}_{10}$ 的分布及传播特性。

5) 将 $t(1)$ 时的电场（所有短边 $b$ （ $x$ 层）的电场相同），以 $y$ - $z$ 为底，对应的 $EY(x=1, y, z, t=1)$ 作为曲面画出来。

## 二、实验内容与原理

### 实验内容

BJ-100波导管的结构参数为：频率范围（8.2GHz~12.5GHz）结构参数：  $a=22.86\text{mm}$ ,  $b=10.16\text{mm}$ .

依据理论分析，仿真描绘BJ-100在信源频率为9.375GHz下的波导内部电磁场主模 $\text{TE}_{10}$ 的分布及传播特性。

6) 用Matlab GUI方式实现以上1)、4)和5)之一。

- 实验原理

## 第2章 规则金属波导

- ◆ 规则金属波导——截面尺寸、形状、材料及边界条件均不变的均匀填充介质的金属波导管
- ◆ 根据其结构，波导可分为矩形波导(rectangle waveguide)、圆形波导(circular waveguide)和脊形波导(ridge waveguide)等

### 本章主要内容：

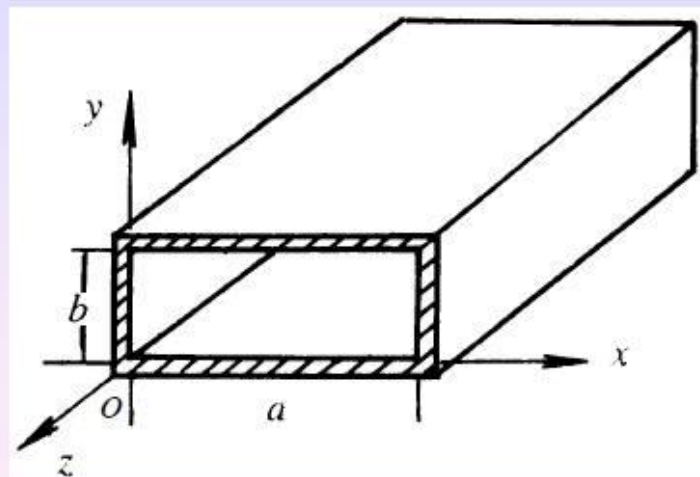
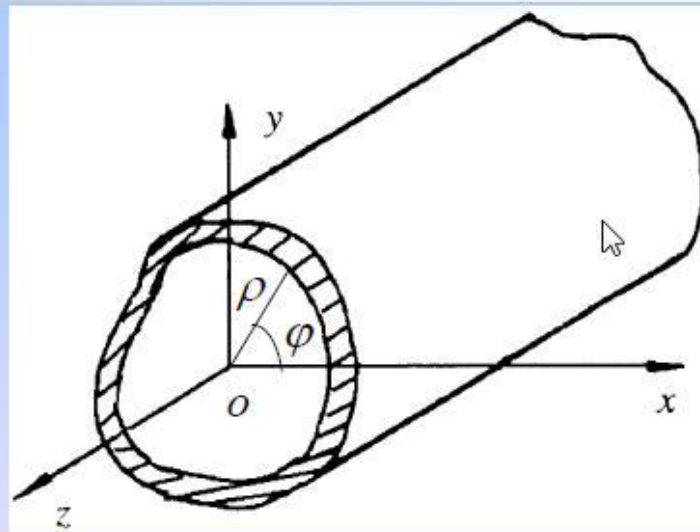
- 2.1 导波原理
- 2.2 矩形波导
- 2.3 圆形波导
- 2.4 波导的激励与耦合



## 1. 规则金属管内的电磁波

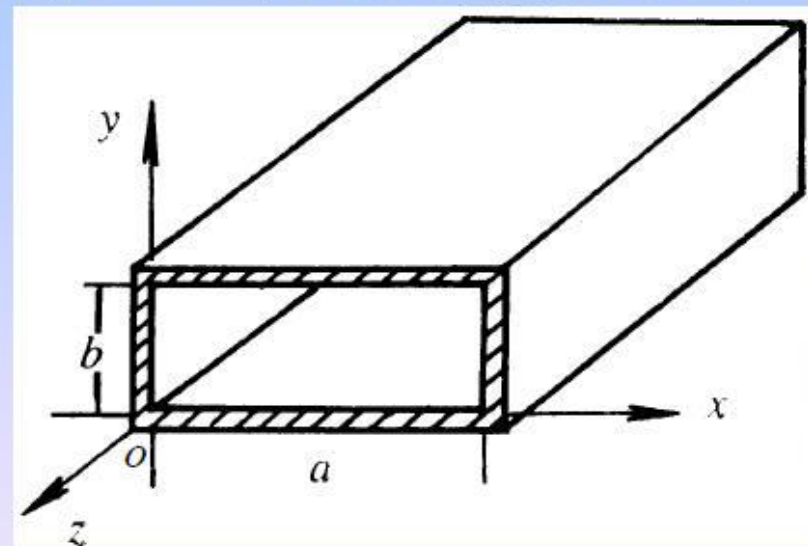
对由均匀填充介质的金属波导管, 设 $z$ 轴与波导的轴线重合。并假设:

- ① 波导管内填充的介质是均匀、线性、各向同性的;
- ② 波导管内无自由电荷和传导电流存在;
- ③ 波导管内的场是时谐场。



## 2.2 矩形波导

- 设矩形波导(rectangle waveguide)的宽边尺寸为 $a$ , 窄边尺寸为 $b$ 。
- 由于此时的波导系统中场存在纵向分量, 故不能用Ch.1的等效电路的分析方法, 而必须用场分析法。



### 本节主要内容:

- 矩形波导中的场
- 矩形波导的传输特性
- 矩形波导尺寸的选择原则
- 脊形波导



- 矩形波导能够存在 $\text{TE}_{m0}$ 模和 $\text{TE}_{0n}$ 模及 $\text{TE}_{mn}(m, n \neq 0)$ 模；其中， $\text{TE}_{10}$ 模是最低次模，其余称为高次模(high mode)。

因为  $m$  和  $n$  不能同时为0， $a > b$ ，所以， $m=1$ 、 $n=0$ 时， $k_c$ 最小，

$$k_c = \frac{\pi}{a}$$

## (2) TM波(transverse magnetic wave)

对于TM波， $H_z=0$ ， $E_z(x, y, z) = E_{oz}(x, y)e^{-j\beta z}$ ，此时，满足

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) E_{oz}(x, y) + k_c^2 E_{oz}(x, y) = 0$$





∴ 该波导在工作频率为3GHz时只能传输 $\text{TE}_{10}$ 模。

## 2) 主模 $\text{TE}_{10}$

—— 在导行波中截止波长 $\lambda_c$  最长的导行模。矩形波导中的主模 $\text{TE}_{10}$ 模。

### (a) $\text{TE}_{10}$ 模的场分布

将 $m=1, n=0, k_c=\pi/a$ , 代入式(2-2-10), 得到

$$E_x=0$$

$$E_z=0$$

$$E_y = -j \frac{\omega \mu a}{\pi} H_{10} \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta z}$$



$$H_x = j \frac{\beta a}{\pi} H_{10} \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta z}$$

$$H_y = 0$$

$$H_z = H_{10} \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) e^{-j\beta z}$$

再考虑时间因子 $e^{j\omega t}$ , 可得TE<sub>10</sub>模各场分量表达式

$$E_y = \frac{\omega \mu a}{\pi} H_{10} \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) \cos(\omega t - \beta z - \frac{\pi}{2})$$

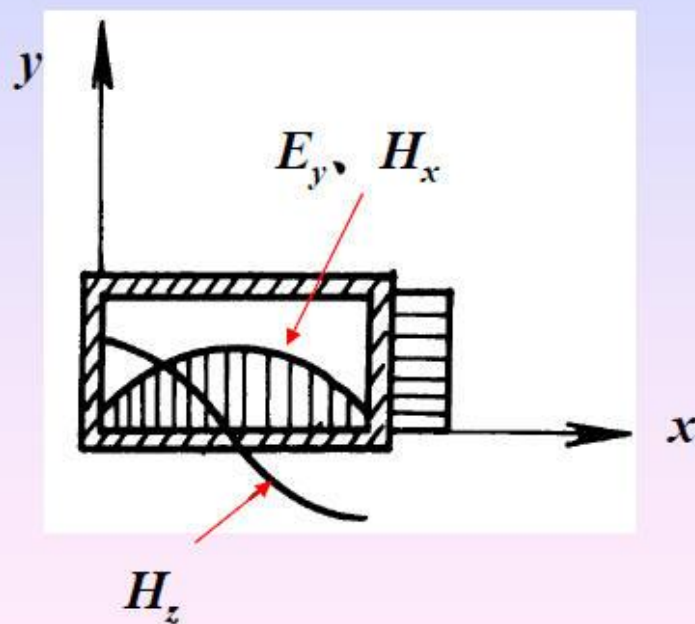
$$H_x = \frac{\beta a}{\pi} H_{10} \sin\left(\frac{\pi}{a} x\right) \cos(\omega t - \beta z + \frac{\pi}{2})$$

$$H_z = H_{10} \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) \cos(\omega t - \beta z)$$

$$E_x = E_z = H_y = 0$$

◇ 由此可见, 场强与 $y$ 无关, 即各分量沿 $y$ 轴均匀分布, 而沿 $x$ 方向的变化规律为

$$E_y \propto \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) \quad H_x \propto \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) \quad H_z \propto \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right)$$



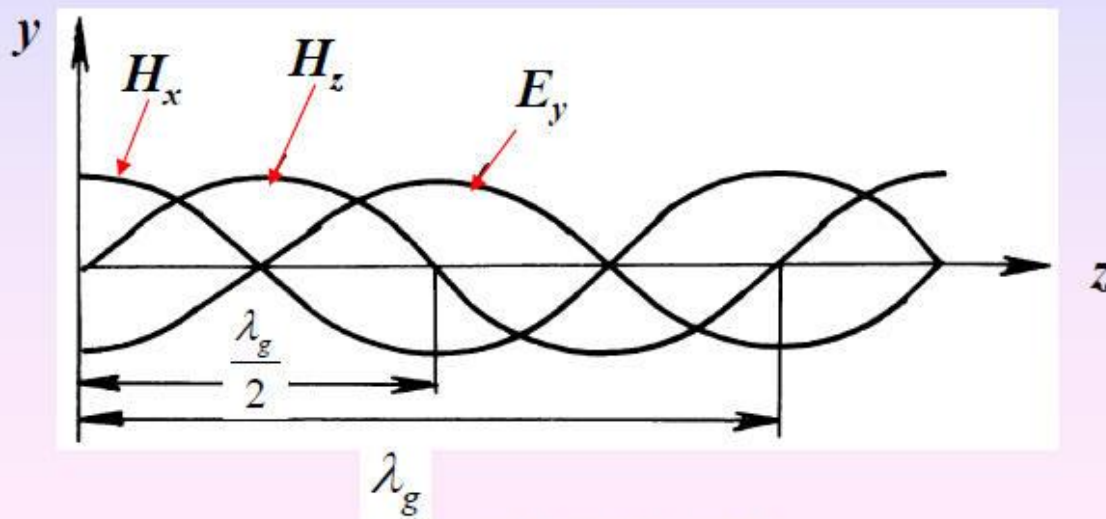


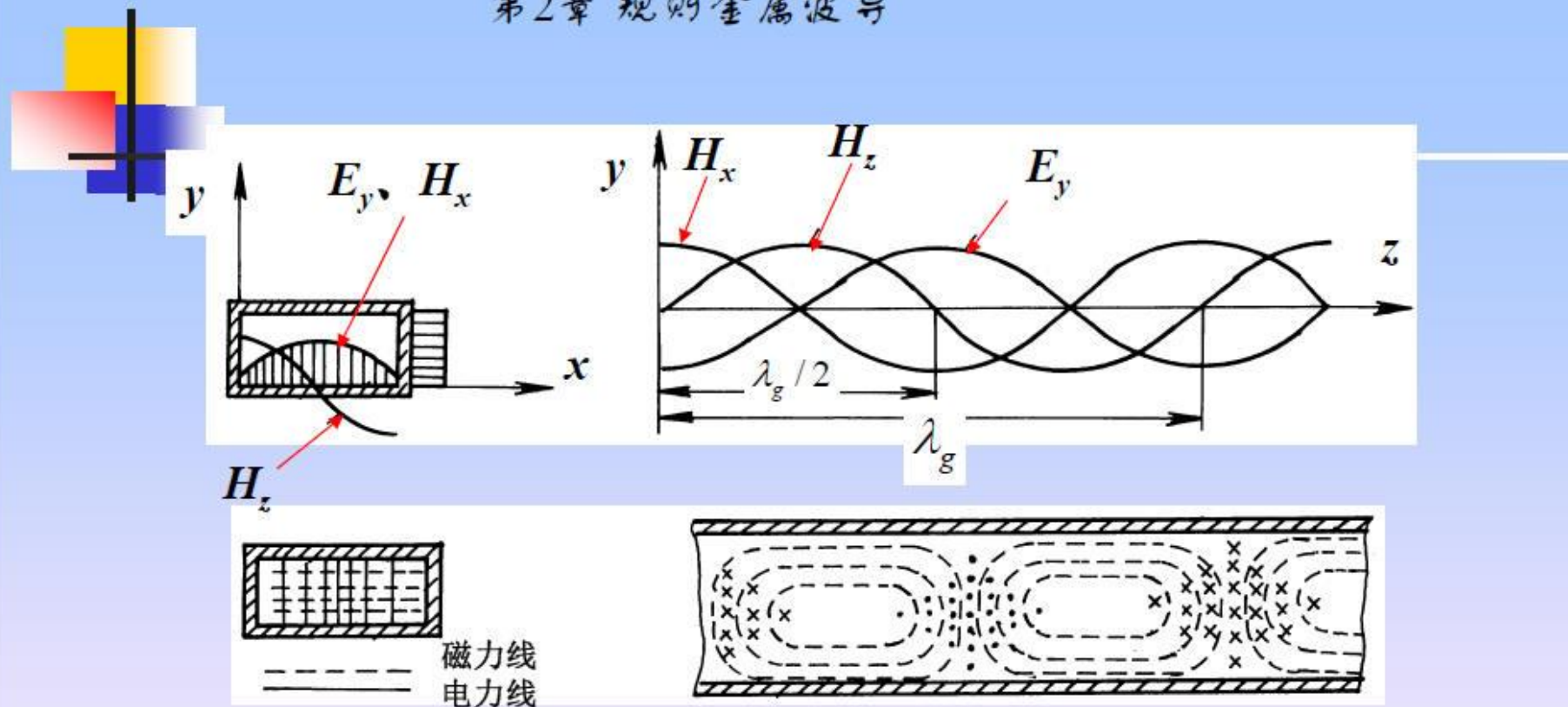
沿 $z$ 方向的变化规律为

$$E_y \propto \cos\left(\omega t - \beta z - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$H_x \propto \cos\left(\omega t - \beta z + \frac{\pi}{2}\right)$$

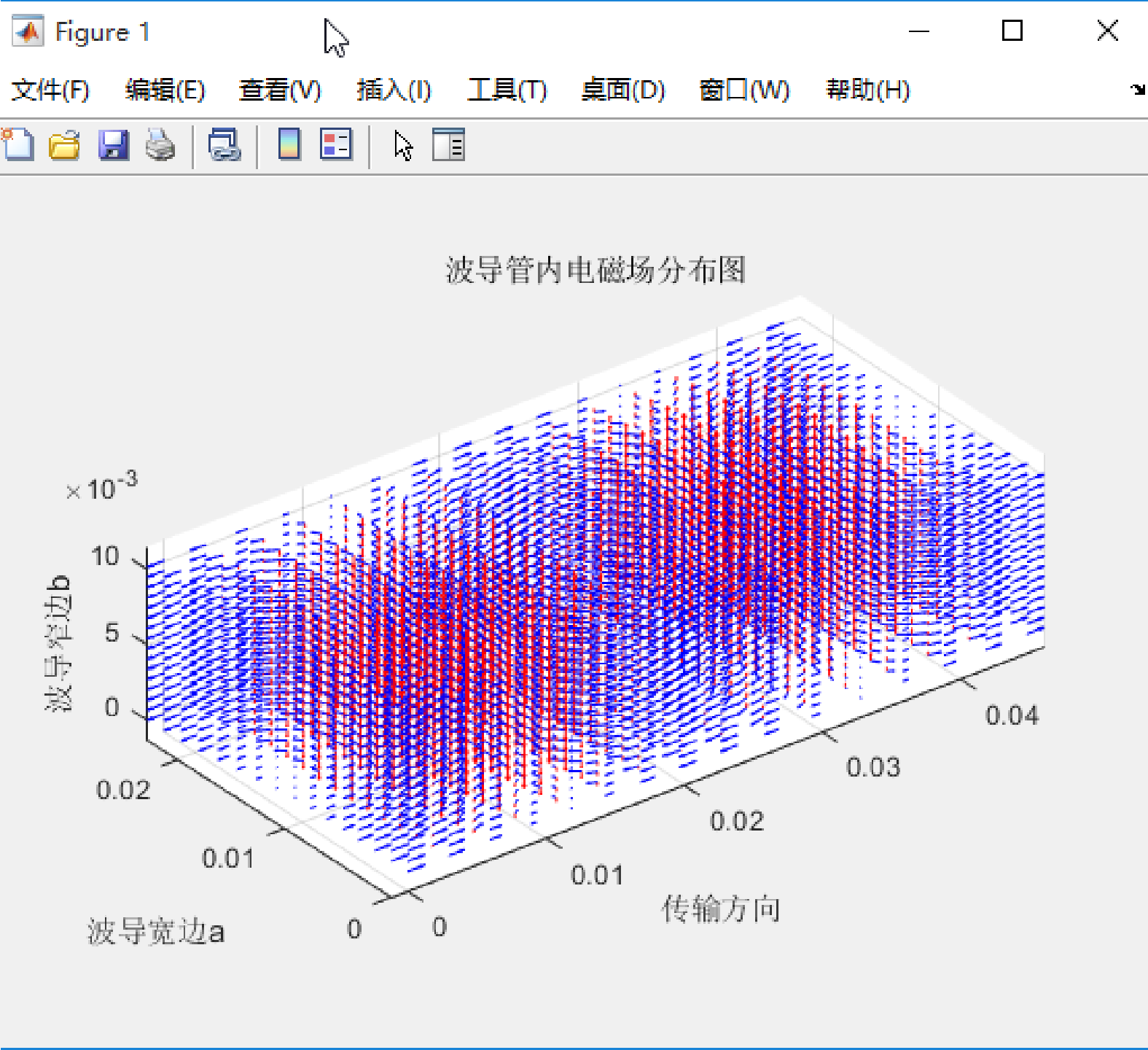
$$H_z \propto \cos(\omega t - \beta z)$$



图 2-4 矩形波导 $TE_{10}$ 模的场分布图

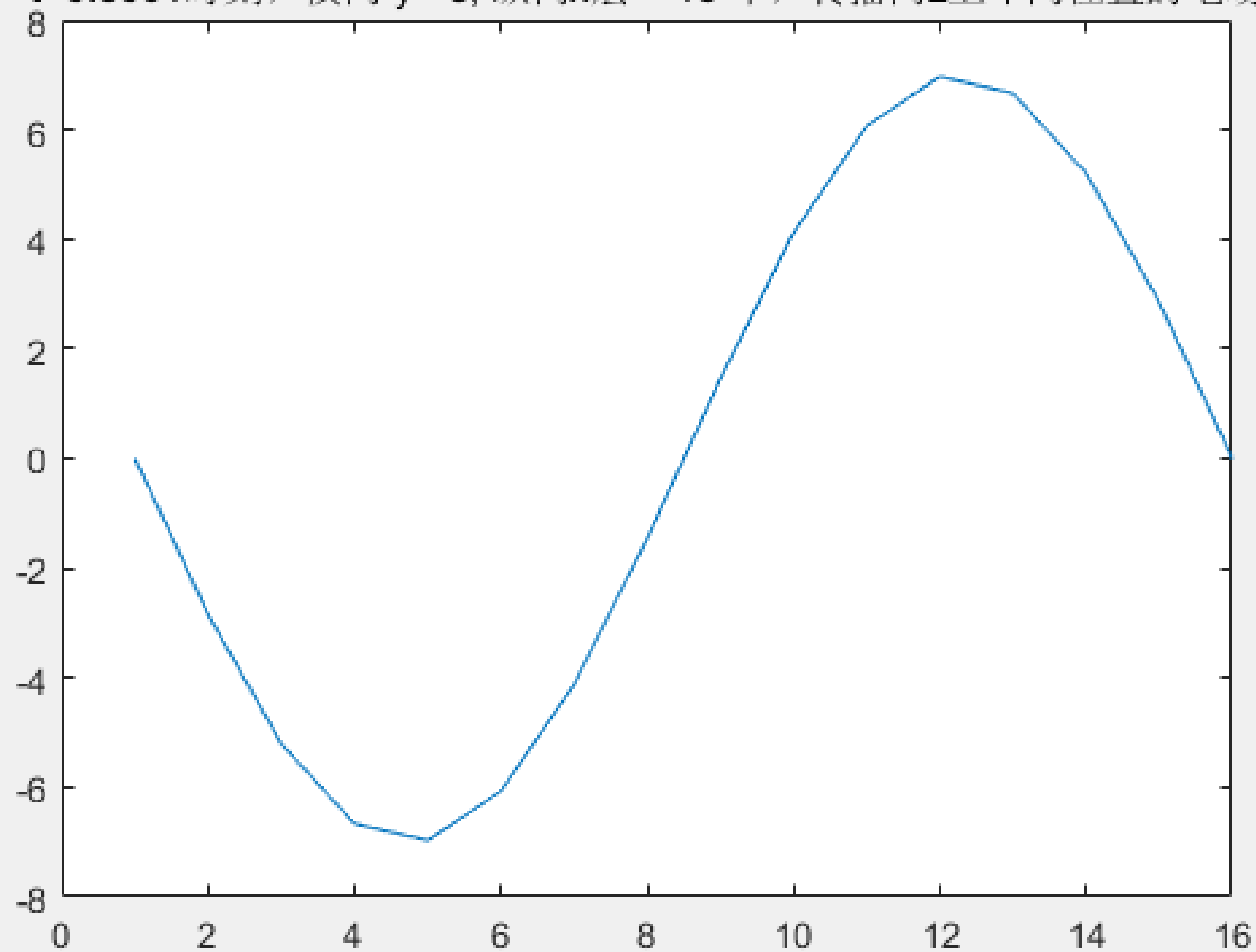
波导横截面和纵剖面上的场分布如图2-4(c)和(d)所示。由图可见,  $H_x$ 和 $E_y$ 最大值在同一截面上出现, 电磁波沿 $z$ 方向按行波状态变化;  $E_y$ 、 $H_x$ 和 $H_z$ 相位差为 $90^\circ$ , 电磁波沿横向为驻波分布。

此页留空





t=0.0001时刻, 横向 y= 3, 纵向x层 = 16 下, 传播向z上不同位置的电场



传播方向z

按键继续...

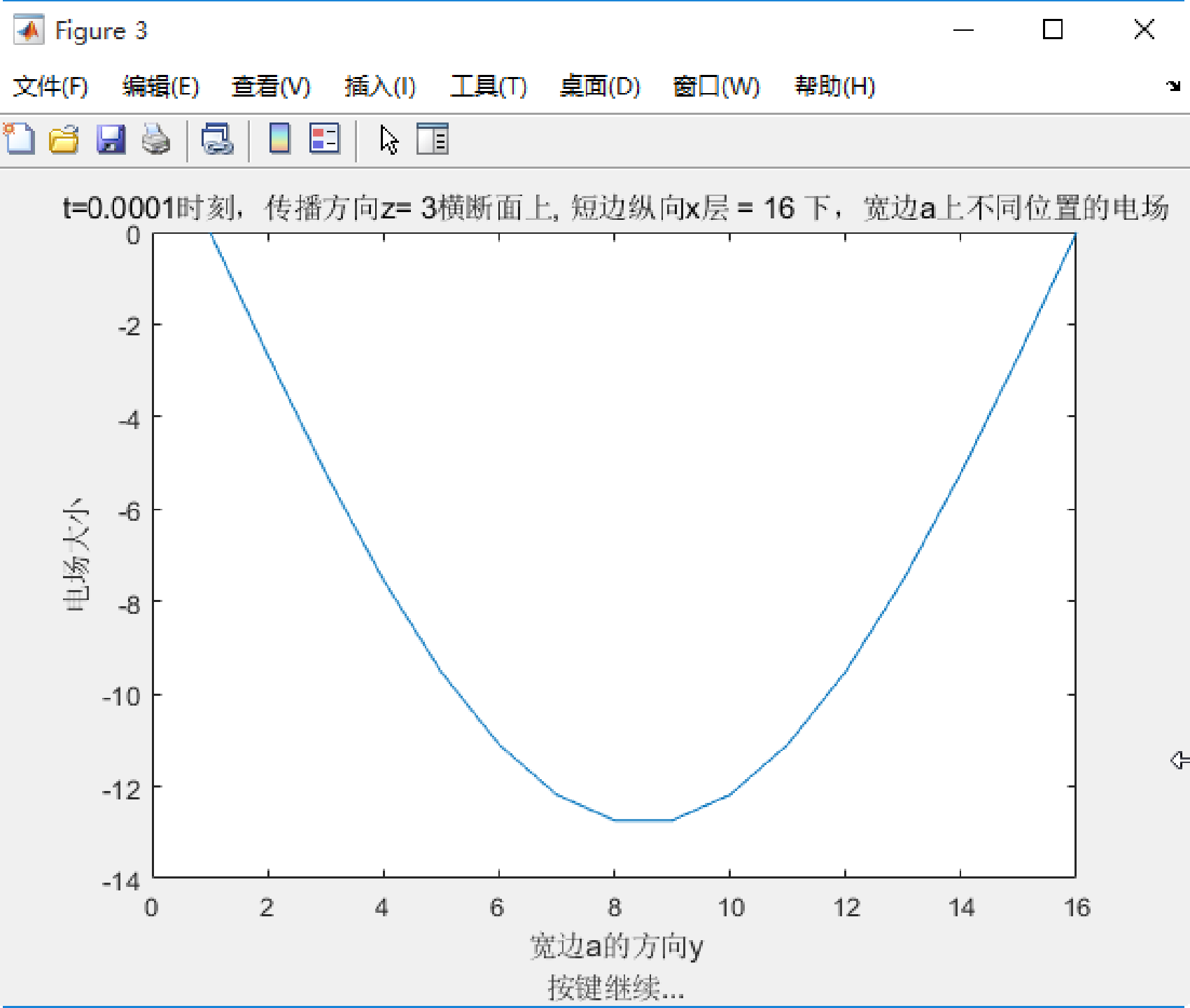


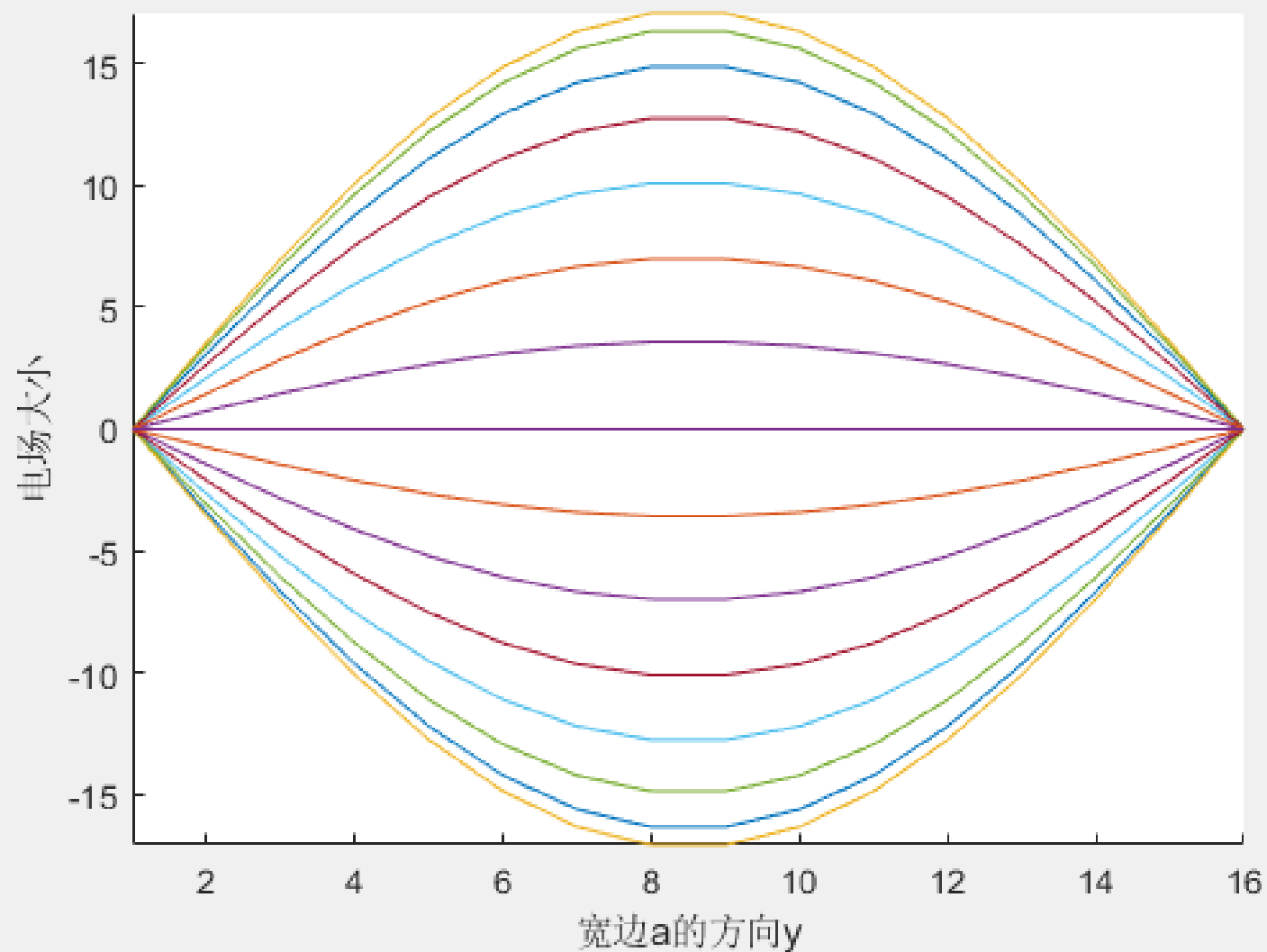


Figure 4

文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)



t=0时刻, 传播方向z= 16横断面上, 短边纵向x层 = 16 下, 宽边a上不同位置的电场



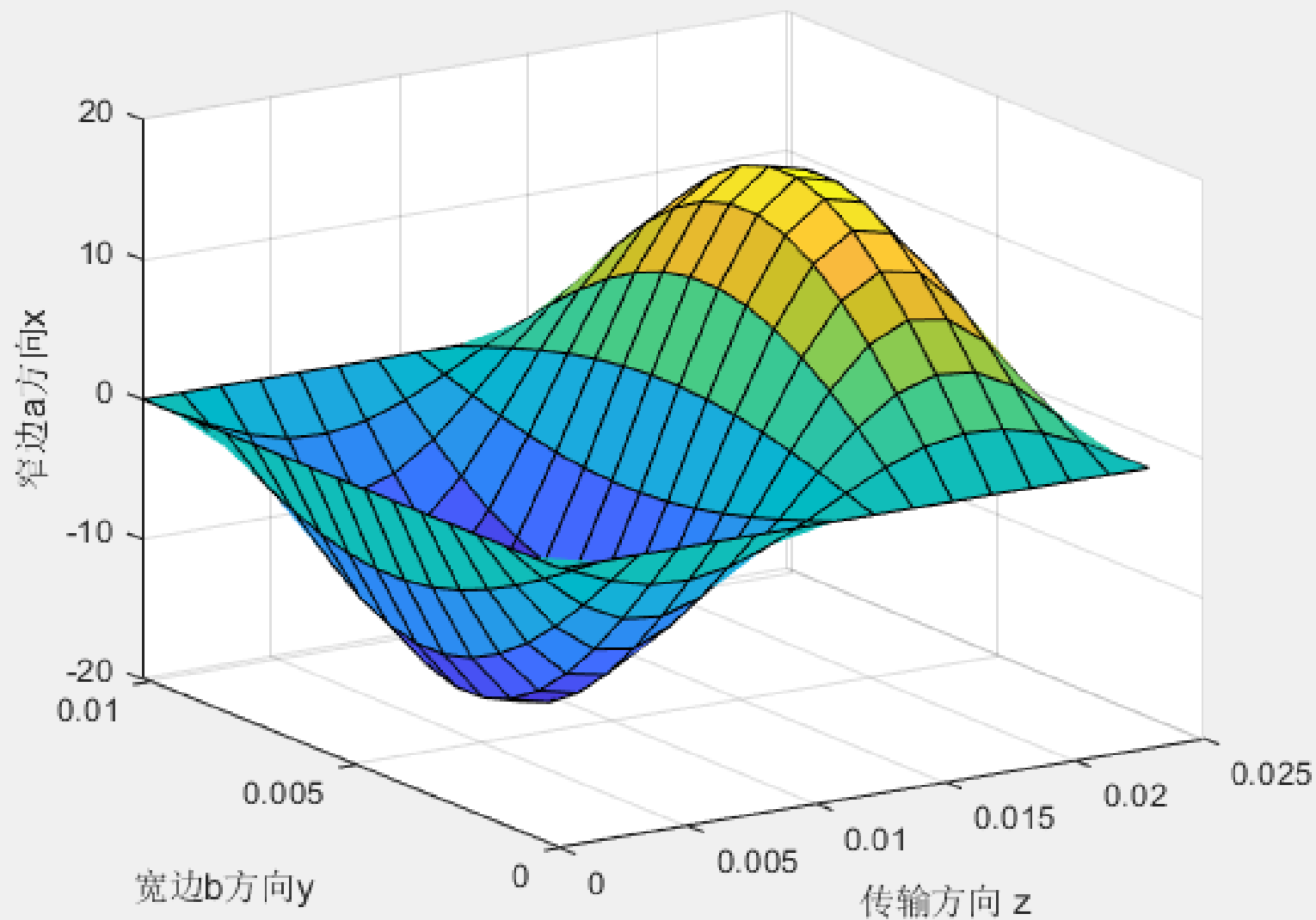
按键继续...

Figure 5

文件(F) 编辑(E) 查看(V) 插入(I) 工具(T) 桌面(D) 窗口(W) 帮助(H)



取任意x平面的电场强度



## 常用函数：

函数	描述
<code>linspace(a, b, n)</code>	在a, b之间取n个点
<code>contour()</code>	画等高线
<code>clabel()</code>	标注等高线值
<code>gradient()</code>	求梯度
<code>quiver()</code>	画矢量图箭头
<code>quiver3()</code>	画矢量图箭头

%BJ-100波导场结构传输特性

%静态

% aleko 2020.05.18

示例1:

%% 清空环境

clear

clc

close all

%% 初始化

$u_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ ;

$e_0 = 1 / (36 \cdot \pi) \cdot 10^{-9}$ ;

$u = u_0$ ;

$e = e_0$ ;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 9.375 \cdot 10^9$ ;

$a = 22.86 \cdot 10^{-3}$ ;

$c = 299792458$  ;

$\beta = \omega / c$ ;

$k = \omega \cdot \sqrt{u \cdot e}$ ;

$\lambda = 2 \cdot \pi \cdot c / \omega$ ;

$H_{10} = 1$ ;

示例:

```
%% 描绘
%% 多次
figure,hold on

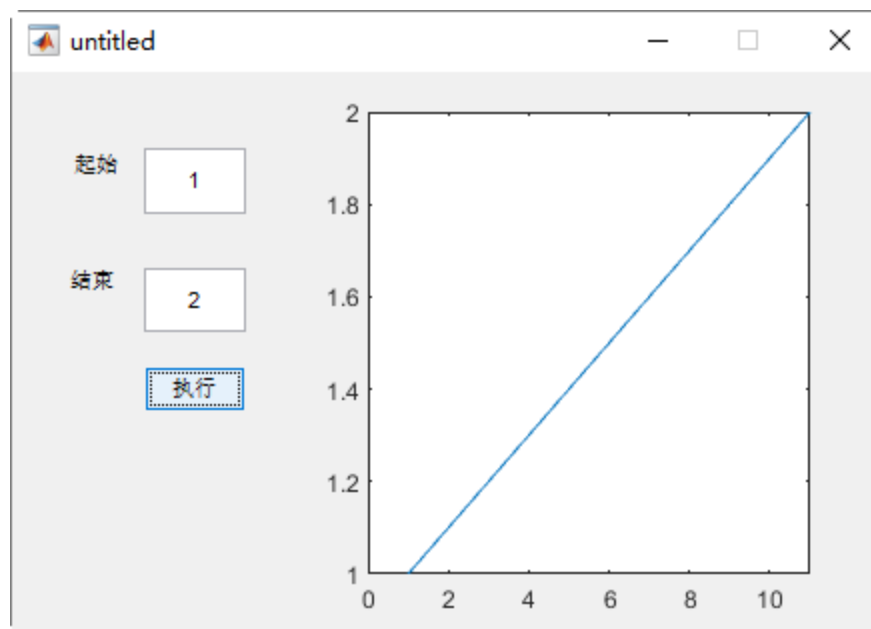
x = -a:lambda/10:0;
p=1;
for z =0: 0.001:0.1
    for t = 0:0.0001:0.0001
        Ey = omiga*u*a/pi*H10* sin(pi*x/a).*cos(omiga*t-beta*z-pi/2);
        plot(x,Ey);
        axis([ -a,0,-inf,inf])
        title('波导内Ey电场强度波形')
        pause(0.05)
        hold on
    end
    pause(0.05)
    z;
    M(p) = max(abs(Ey));
    p=p+1;
end
figure,plot(M)
```

## 示例2:

```
% 波导管内电场3维分布
% aleko 2020.05.22
%% 清空环境
Clear;clc
close all
%% 初始参数
ao = 22.86;bo = 10.16;
d = 15;H0 = 1;
f = 9.375*10^9;
t=0;
% t=0:1:2 ;
%% 计算数据并显示
%d 采样精度
%t t时刻的场结构图
a=ao/1000;b=bo/1000;
lc=2*a; %TE10截止频率
l0=(3*10^8)/f;
u=4*pi*10^(-7);
if(l0>lc)
    return;
else
    lg=l0/((1-(l0/lc)^2)^0.5);
    c=lg;
    B=2*pi/lg;
    w=2*pi*(3*10^8);
    x=0:a/d:a;y=0:b/d:b;z=0:c/d:c;
    [x1,y1,z1]=meshgrid(x,y,z);
    ex=zeros(size(x1));
    ey=w.*u.*a.*H0.*sin(pi./a.*x1).*sin(w*t-B.*z1)./pi;
    ez=zeros(size(z1));
    quiver3(z1,x1,y1,ez,ex,ey,'r');title('波导管内电场分布图')
    axis equal
    xlabel('传输方向');ylabel('波导宽边a');zlabel('波导窄边b');
end
```



GUI: 只需要输入一行代码



```
plot(handles.axes1,str2num(handles.edit1.String):0.1:str2num(handles.edit2.String))
```

- 全部实验结束后，  
交实验报告电子版到： [jiaobaogao@qq.com](mailto:jiaobaogao@qq.com)