

## 矩形波导馈电的角锥喇叭天线 CST 仿真

### 喇叭天线概述

喇叭天线是一种应用广泛的微波天线，其优点是结构简单、频带宽、功率容量大、调整与使用方便。合理的选择喇叭尺寸，可以取得良好的辐射特性：相当尖锐的主瓣，较小副瓣和较高的增益。因此喇叭天线在军事和民用上应用都非常广泛，是一种常见的测试用天线。喇叭天线的基本形式是把矩形波导和圆波导的开口面逐渐扩展而形成的，由于是波导开口面的逐渐扩大，改善了波导与自由空间的匹配，使得波导中的反射系数小，即波导中传输的绝大部分能量由喇叭辐射出去，反射的能量很小。实际的矩形波导馈电的角锥喇叭天线如图 4-1 所示。



图 4-1 实际天线图

### 喇叭天线的分类

#### 1. 矩形波导馈电的喇叭天线

根据喇叭扩展的形式不同分为：E 面扇形喇叭，由扩展其窄边形成；H 面扇形喇叭，由扩展其宽边形成；角锥喇叭，由宽边、窄边同时扩展形成。三种类型的矩形波导馈电的喇叭天线示意图如图 4-2 (a) - (c) 所示。

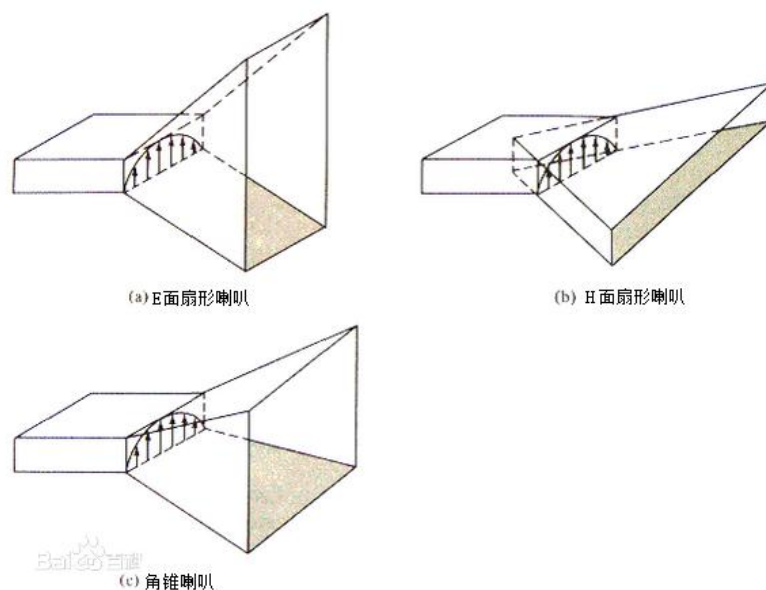


图 4-2 三种矩形波导馈电角锥喇叭天线的结构示意图

## 2. 圆波导馈电的喇叭天线

圆波导馈电的喇叭一般是圆锥喇叭，如图 4-3 所示

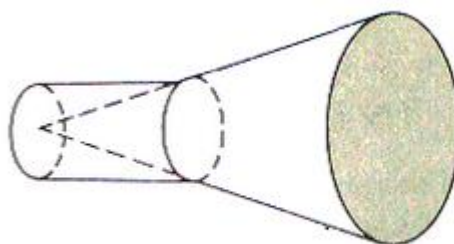


图 4-3 圆波导馈电圆锥喇叭天线结构示意图

实验中采用的是矩形波导馈电的角锥喇叭天线。

## 4. 2 矩形波导馈电角锥喇叭天线理论分析

### 1. 尺寸确定

角锥喇叭天线是对馈电的矩形波导在宽边和窄边均按一定的角度张开的，结构示意图如图 3 所示。矩形波导的尺寸为  $a \times b$ ，喇叭口径尺寸为  $D_H \times D_E$ ，喇叭高度为  $L$ ，其  $H$  面（ $xz$  面）内虚顶点到口径中点的距离为  $R_1$ ， $E$  面（ $yz$  面）内虚顶点到口径中心的距离为  $R_2$ 。

## 电磁场与电磁波实验

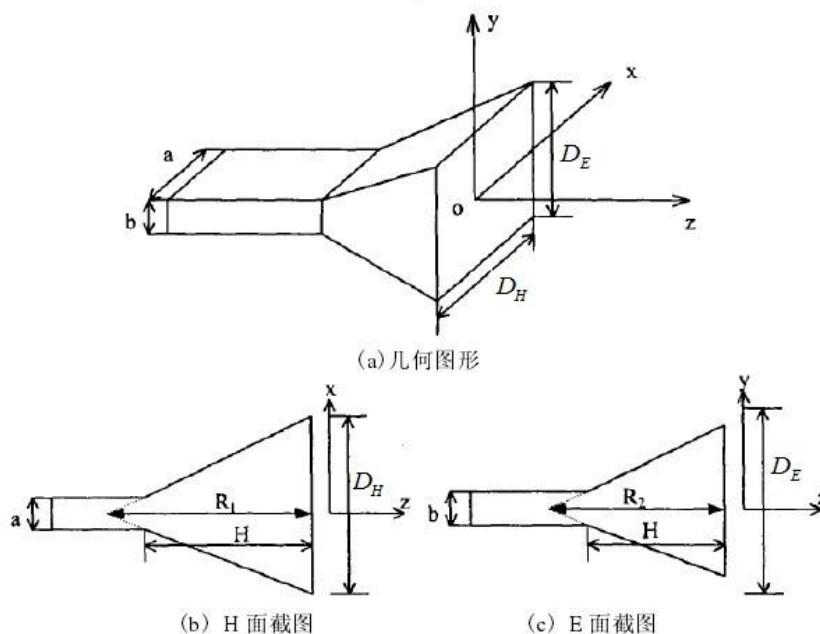


图 4-4 角锥喇叭天线的结构示意图

根据实际矩形波导馈电角锥喇叭天线，该天线工作在 X 波段，工作频段为 8.2-12.4GHz。

根据工作的频段，选择 X 波段的标准矩形波导作为馈电波导

$a = 22.86mm, b = 10.16mm$ 。同时选择合适的角锥参数

$D_H = 141mm, D_E = 105mm, L = 200mm$  获得较好的天线增益。

### 2. 矩形波导馈电的角锥喇叭天线的增益理论值

对于矩形波导的尺寸为  $a \times b$ ，喇叭口径面积  $A^2 = D_H \times D_E$ ，喇叭高度为  $L$  的角锥喇叭天线。可以用公式 1 来估算该天线的增益。

$$G = 10.8 + 10 \lg(D_H \times D_E / \lambda^2) - \Delta G_H - \Delta G_E (dB) \quad \text{式 1}$$

$\Delta G_H, \Delta G_E$  可以由表 1 得，其中参数  $\alpha, \beta$  可由公式 2-9 求得。

$$R_1 = \frac{L \times D_H}{D_H - a} \quad \text{式 2}$$

$$R_2 = \frac{L \times D_E}{D_E - b} \quad \text{式 3}$$

$$L_H = \sqrt{R_1^2 + \frac{D_H^2}{4}} \quad \text{式 4}$$

$$L_E = \sqrt{R_2^2 + \frac{D_E^2}{4}} \quad \text{式 5}$$

## 电磁场与电磁波实验

$$S_H = A^2 / (8\lambda L_H) \quad \text{式 6}$$

$$S_E = A^2 / (8\lambda L_E) \quad \text{式 7}$$

$$\alpha = 8S_H \quad \text{式 8}$$

$$\beta = 8S_E \quad \text{式 9}$$

表 1  $\Delta G_H, \Delta G_E$  数值表 ( $\alpha, \beta$  分别对应  $\Delta G_H, \Delta G_E$ )

| $\alpha, \beta$ | $\Delta G_H$ | $\Delta G_E$ | $\alpha, \beta$ | $\Delta G_H$ | $\Delta G_E$ |
|-----------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
| 0.1000          | 0.0011       | 0.0024       | 1.6000          | 0.2919       | 0.6157       |
| 0.2000          | 0.0046       | 0.0095       | 1.7000          | 0.3292       | 0.6960       |
| 0.3000          | 0.0103       | 0.0214       | 1.8000          | 0.3688       | 0.7813       |
| 0.4000          | 0.0184       | 0.0381       | 1.9000          | 0.4105       | 0.8718       |
| 0.5000          | 0.0287       | 0.0596       | 2.0000          | 0.4544       | 0.9675       |
| 0.6000          | 0.0413       | 0.0858       | 2.1000          | 0.5003       | 1.0683       |
| 0.7000          | 0.0562       | 0.1169       | 2.2000          | 0.5485       | 1.1744       |
| 0.8000          | 0.0733       | 0.1528       | 2.3000          | 0.5987       | 1.2858       |
| 0.9000          | 0.0928       | 0.1935       | 2.4000          | 0.6510       | 1.4025       |
| 1.0000          | 0.1145       | 0.2391       | 2.5000          | 0.7054       | 1.5247       |
| 1.1000          | 0.1384       | 0.2895       | 2.6000          | 0.7618       | 1.6522       |
| 1.2000          | 0.1646       | 0.3448       | 2.7000          | 0.8203       | 1.7853       |
| 1.3000          | 0.1931       | 0.4051       | 2.8000          | 0.8807       | 1.9240       |
| 1.4000          | 0.2238       | 0.4703       | 2.9000          | 0.9431       | 2.0682       |
| 1.5000          | 0.2568       | 0.5405       | 3.0000          | 1.0074       | 2.2180       |

### 4.3 矩形波导馈电角锥喇叭天线 CST 仿真示例

#### 1 仿真步骤

##### a. CST 初始设置

打开 CST 软件，选择 New Project->MICROWAVES&RF->Antennas->Waveguide (Horn,Cone,etc.)->Time Domain->Dimensions:mm;Frequency:GHz;

## 电磁场与电磁波实验

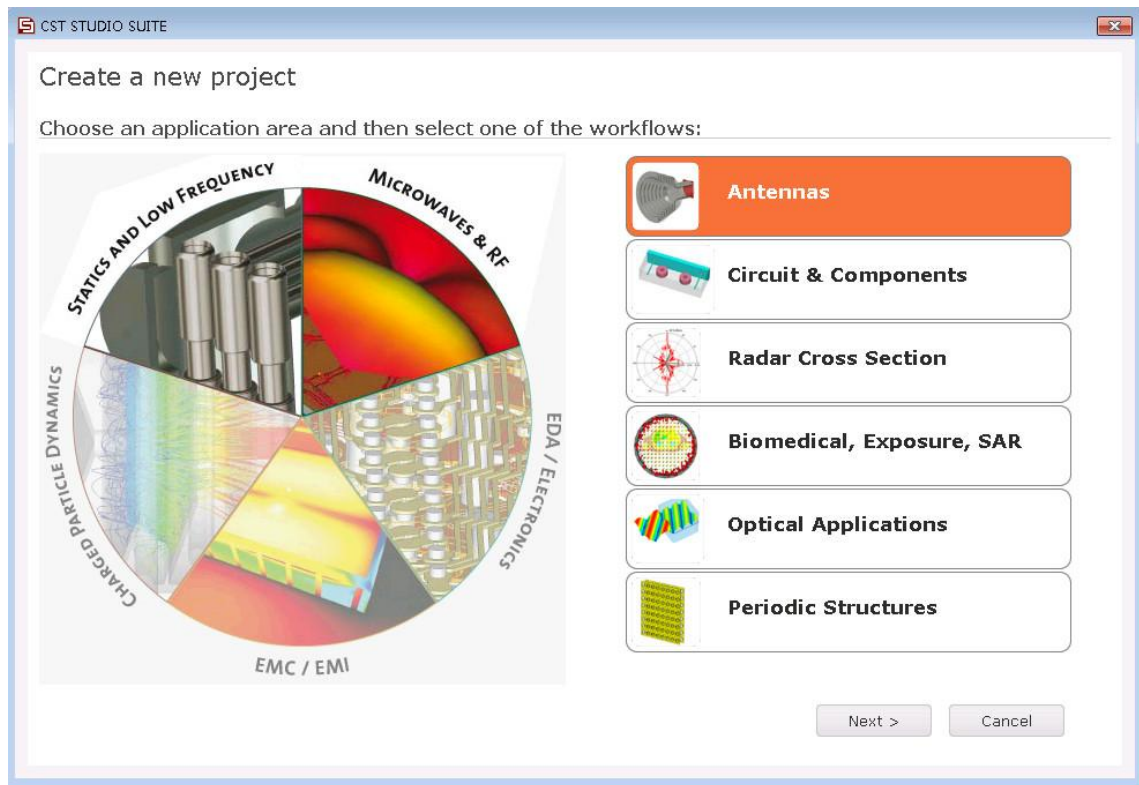


图 4-5

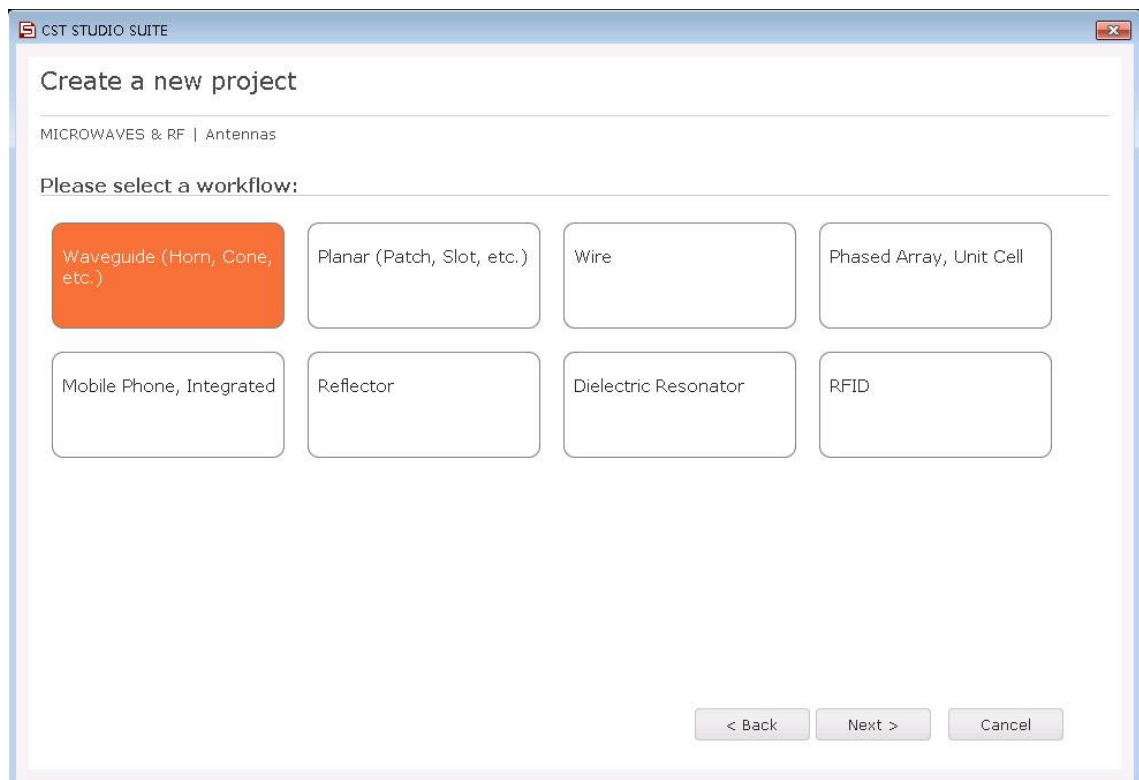


图 4-6

## 电磁场与电磁波实验

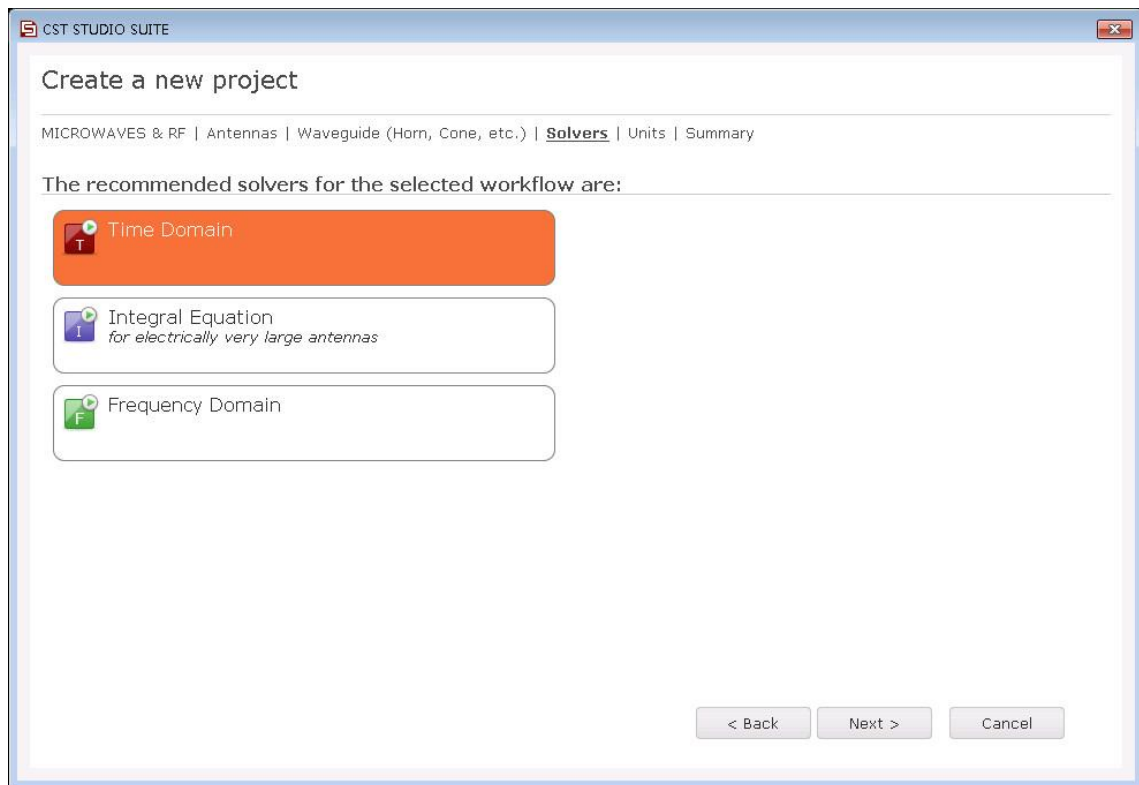


图 4-7

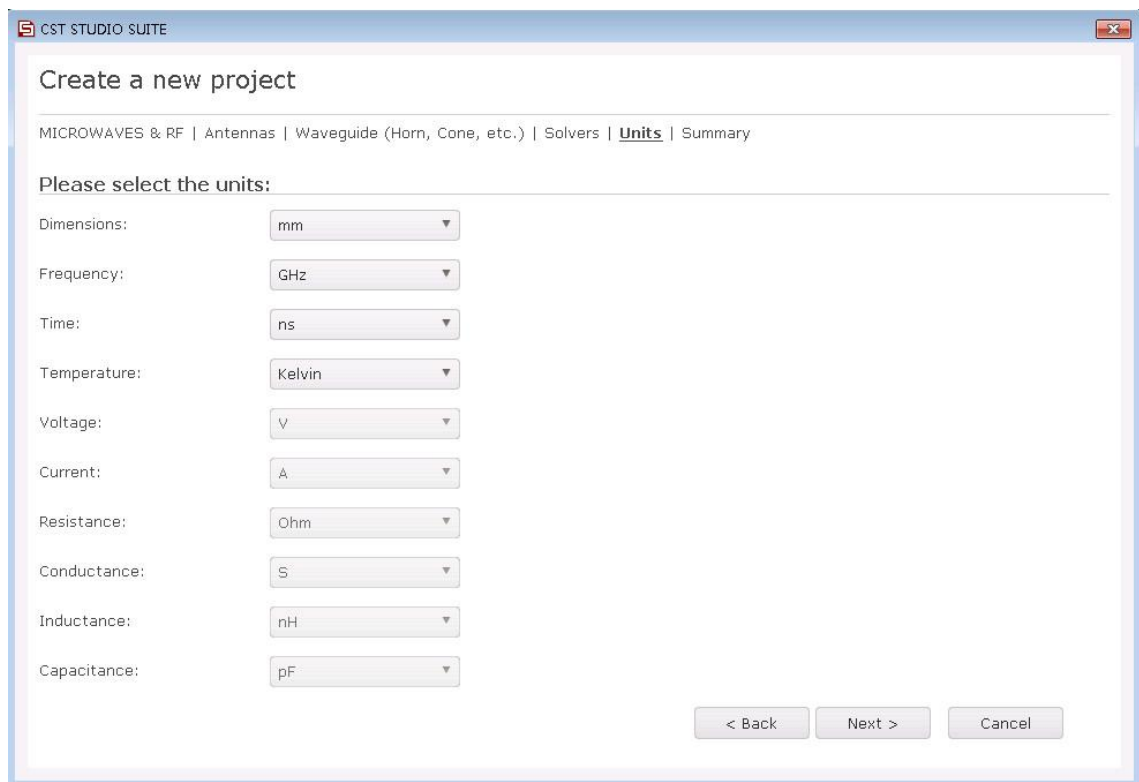


图 4-8

## 电磁场与电磁波实验

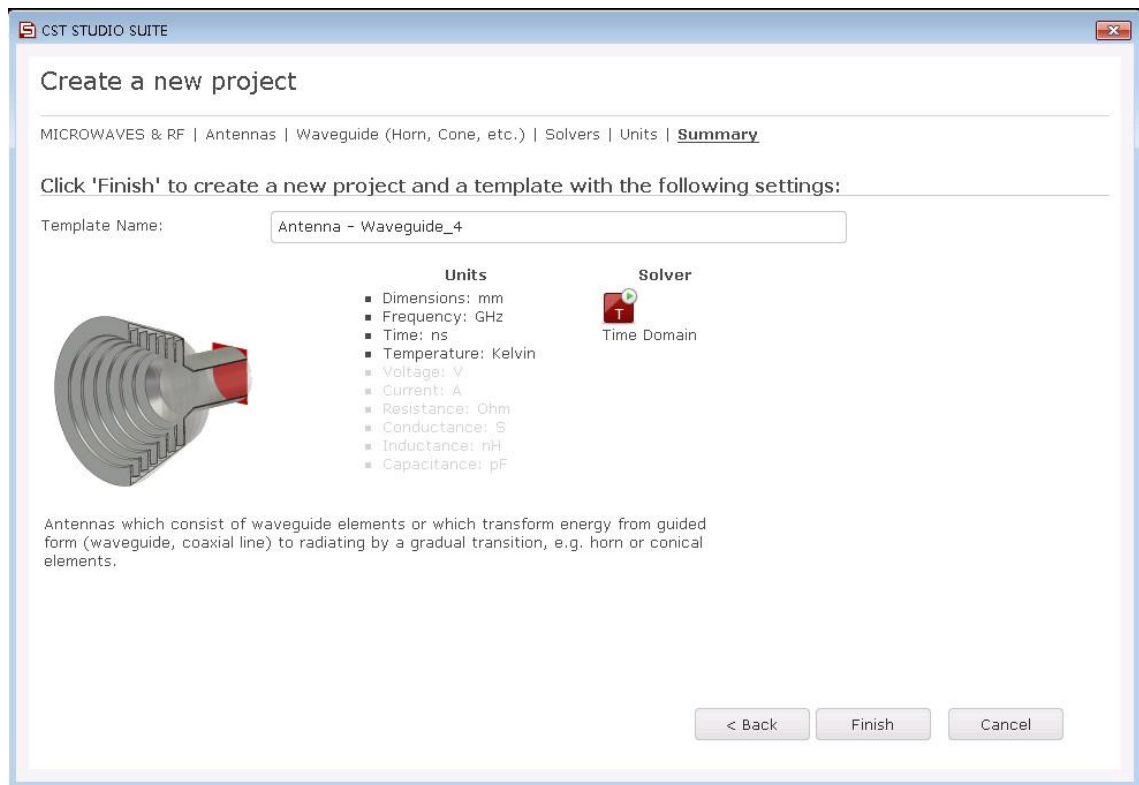


图 4-9

### b. 建立模型

#### ① 参数设置

表 2

| <i>Parameter</i> | <i>Value</i> |
|------------------|--------------|
| DE               | 104.46       |
| DH               | 138.46       |
| F                | 10.3         |
| L                | 200          |
| Lambda           | 29.1         |
| a1               | 22.86        |
| b1               | 10.16        |
| t                | 2.54         |

#### ② 创建矩形

点击 Modeling->Shape->Brick, 直接按 Esc 键, 弹出窗口, 输入表 2 中的数据, Layer 选择 PEC, 创建完成后如图 4-10 所示。

## 电磁场与电磁波实验

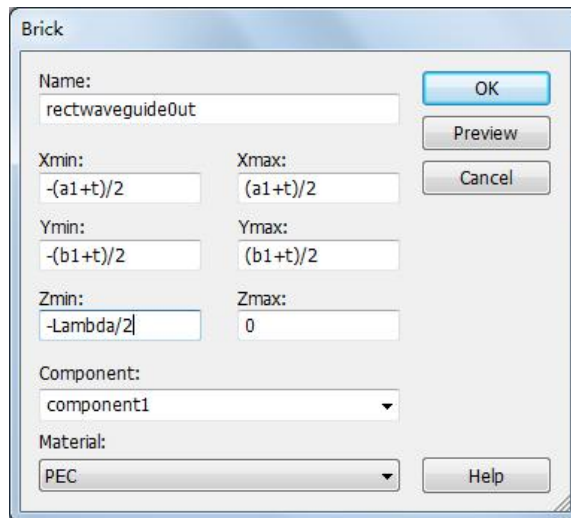


图 4-10 矩形波导的结构参数设置图

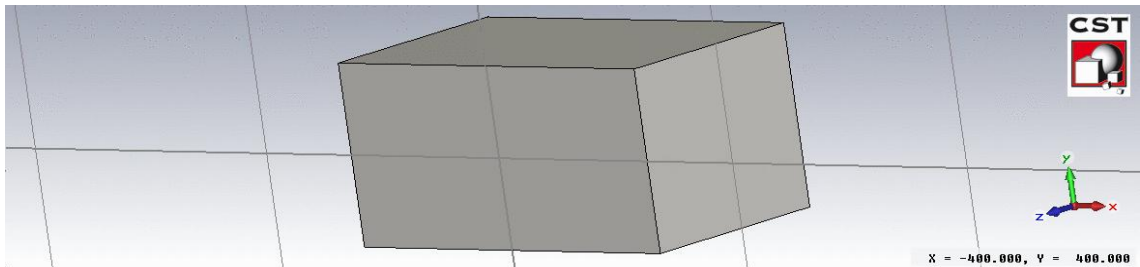


图 4-11 矩形波导 CST 模型

### ③ 建立喇叭模型

- ◆ 喇叭口径面：Modeling->Curves->Rectangle；Modeling->Curve Tools->Cover Planar Curve；

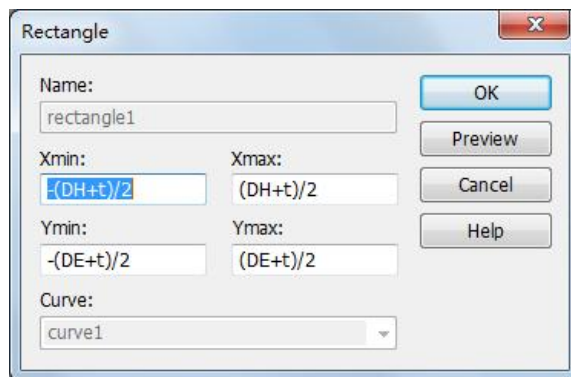


图 4-12

## 电磁场与电磁波实验

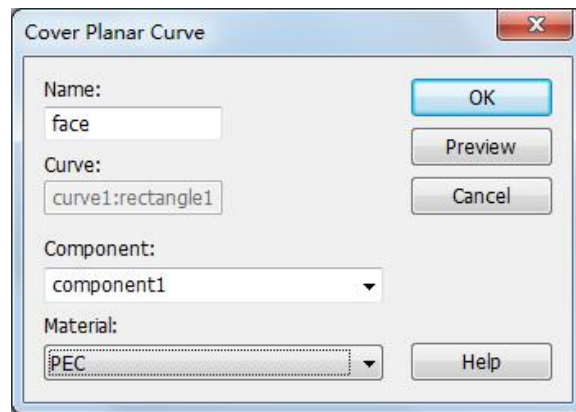


图 4-13

### ◆ 设置喇叭口径面的空间位置

选中口径面：Modeling->Picks->Pick Face;

设置口径面的位置：Modeling->Transform->Translate，创建完成后如图 4-14 所示。

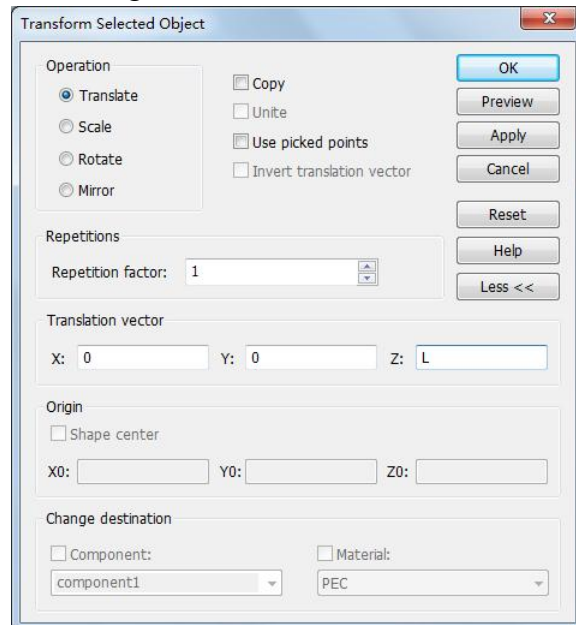


图 4-14

图 4-15 喇叭口径面 CST 模型

### ◆ 创建喇叭侧壁

分别选中波导和喇叭的口径面，Modeling->Shapes->Loft，侧壁创建完成后如图 4-18 所示。

## 电磁场与电磁波实验



图 4-16

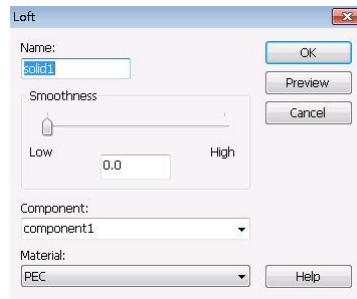


图 4-17

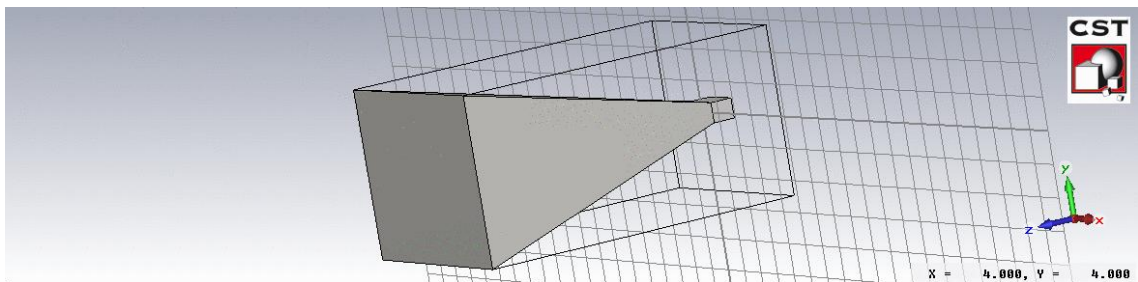


图 4-18 喇叭侧壁的 CST 模型

### ◆ 全层相加

用 **Modeling->Boolean->Add** 命令使整个 PEC 层变成一个物体。

### ◆ 掏空

选择面：分别选取物体前后两个面

掏空生成喇叭：**Modeling->Shape tools->Shell Solid or Thicken Sheet**;

完成整个天线的 CST 建模，如图 4-20 所示。

## 电磁场与电磁波实验

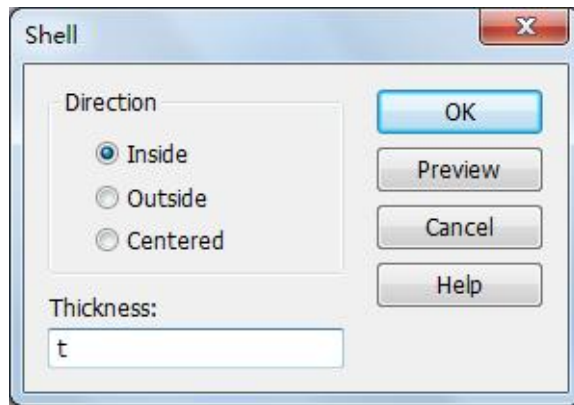


图 4-19

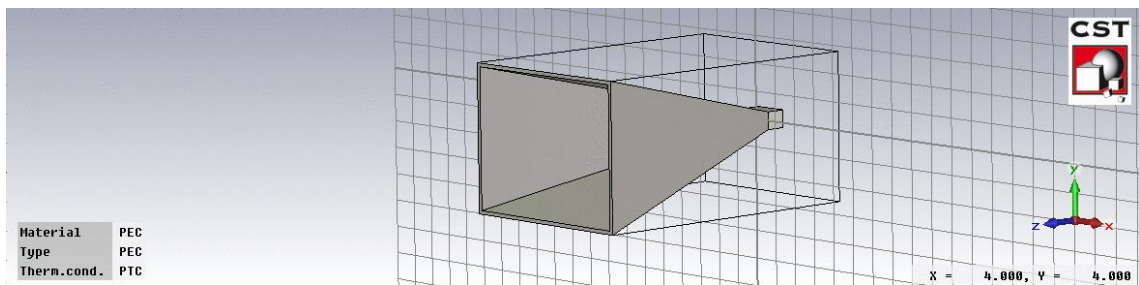


图 4-20 矩形波导馈电的角锥喇叭天线 CST 模型

c. 设置仿真条件

① 仿真频率设置:

Simulation->Frequency(仿真的频率范围: 8.2GHz-12.4GHz);

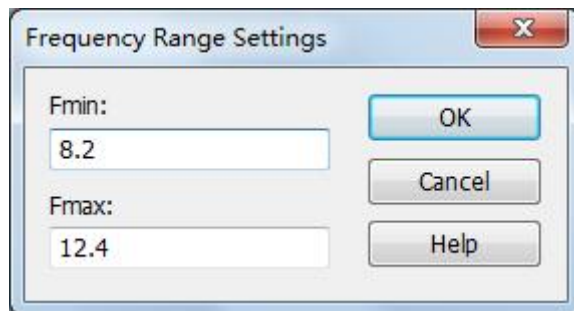


图 4-21

② 仿真边界条件设置:

Simulation->Background(设置为 Normal);

## 电磁场与电磁波实验

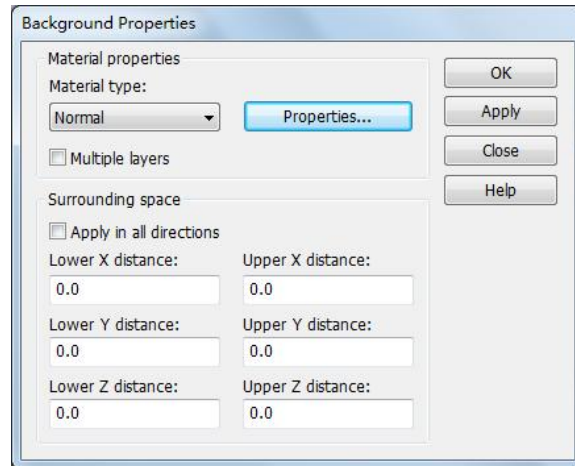


图 4-22

Simulation->Boundaries(设置为 open (add space));

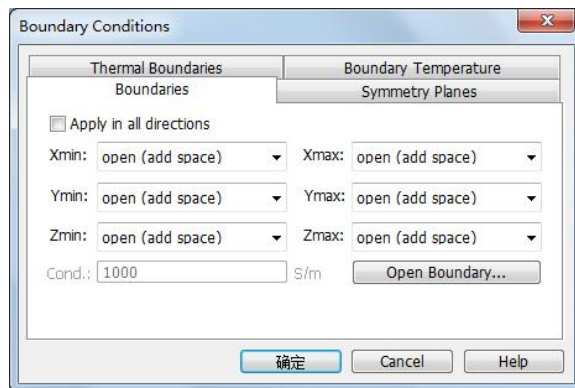


图 4-23

### ③ 端口设置

选取波导口面: Modeling->Picks->Pick Face;

设置波导端口, 输入参数后确定模式吸收数 (Number of modes =5):

Simulation->Waveguide Port;

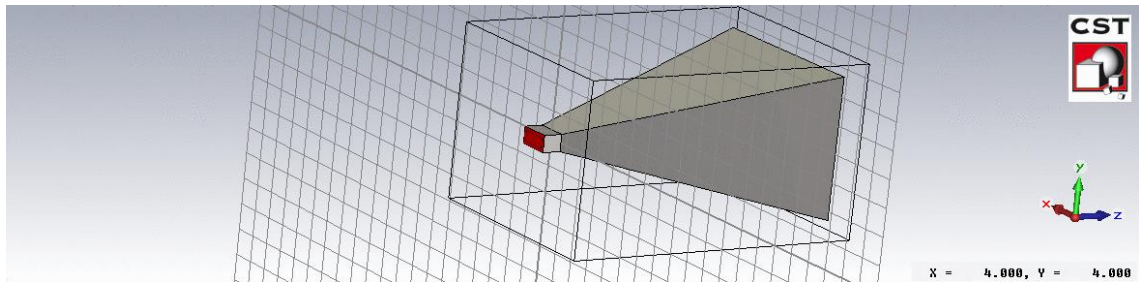


图 4-24

### ④ 设置监视器

Simulation->Field Monitor->Farfield (RCS) (中心频率: 10.3GHz)。

## 电磁场与电磁波实验

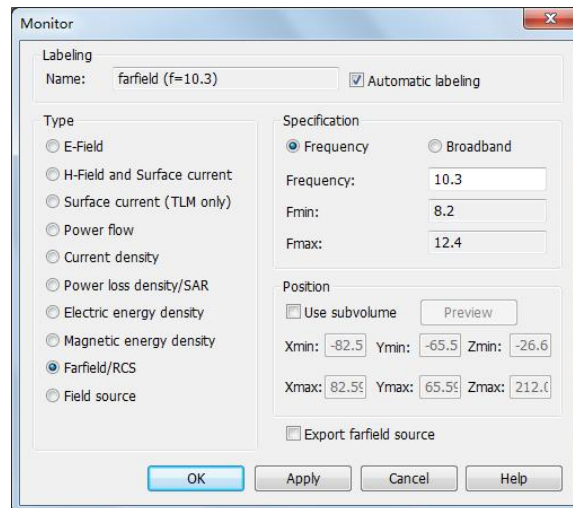


图 4-25

### 2. 模式分析

#### a. 模式分析设置

Simulation->Start Simulation->Source type: All Ports Modes: All

选中 Calculate modes only 选中此选项，只计算端口模式不执行整个时域仿真，可预先了解模式分布。

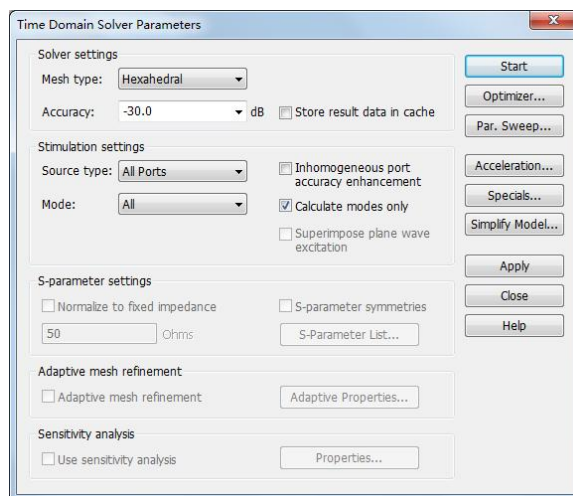
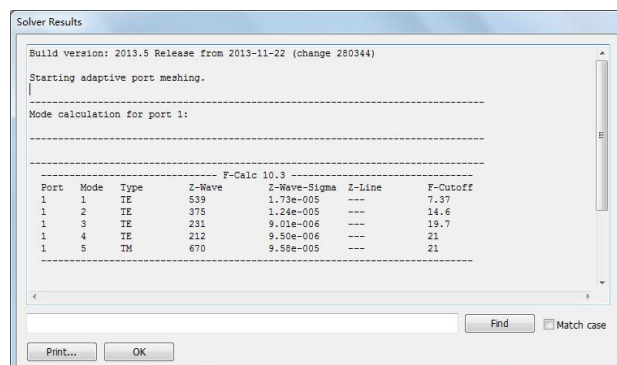


图 4-26

#### b 模式仿真分析

Simulation->Logfile->Solve Logfile;



## 电磁场与电磁波实验

图 4-27

由于仿真最高频率为 12.4GHz, 所以在这种结构的喇叭天线中只传输 1 种模式的波, 设置的吸收的模式数只要大于 1 就可以了。

### 3 仿真及仿真结果

#### a 仿真设置

Simulation->Start Simulation->Stimulation settings (Source type :Port 1;Mode :1)

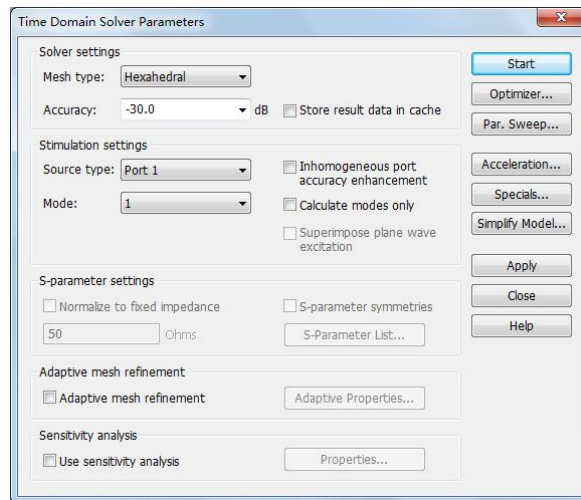


图 4-28

#### b 1D Results

在 1D Results 中  $S_{11}$  和驻波曲线

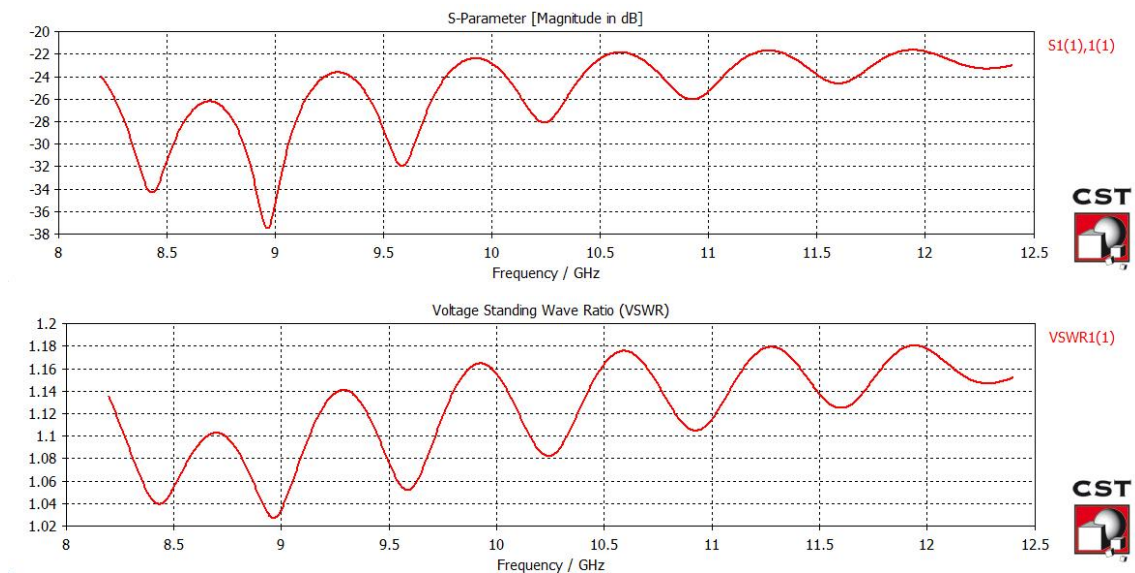


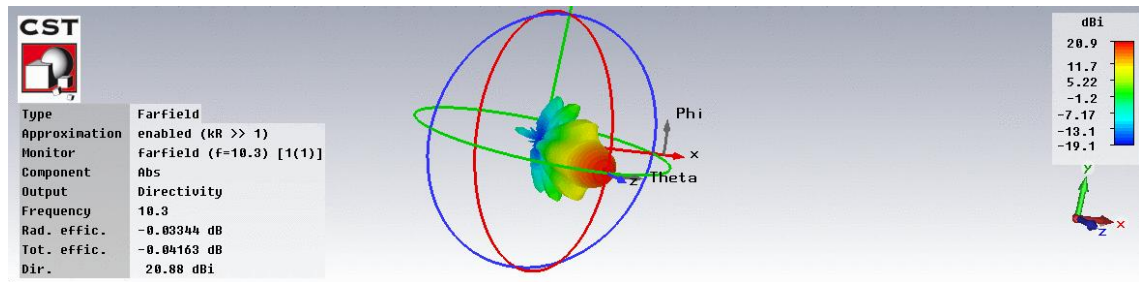
图 4-29

#### c. Farfield

①方向图:Farfield->Abs

Farfield Plot->Directivity

## 电磁场与电磁波实验



Farfield Plot->Polar(Cut angle: 90 (phi); Step Size: 1)

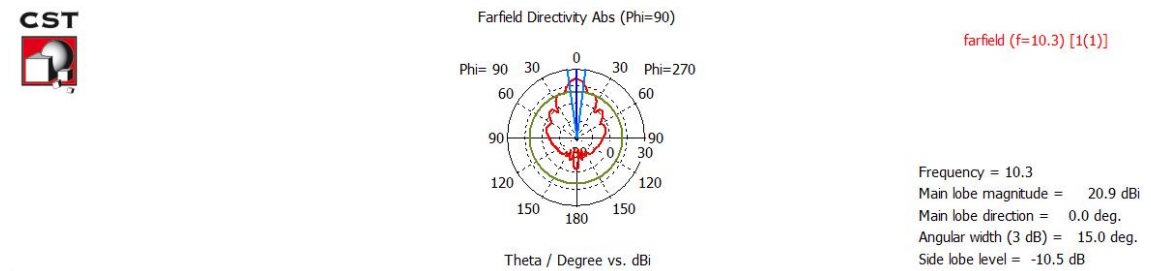


图 4-30

②增益: Farfeild->Abs

Farfeild Plot->Gain(IEEE)

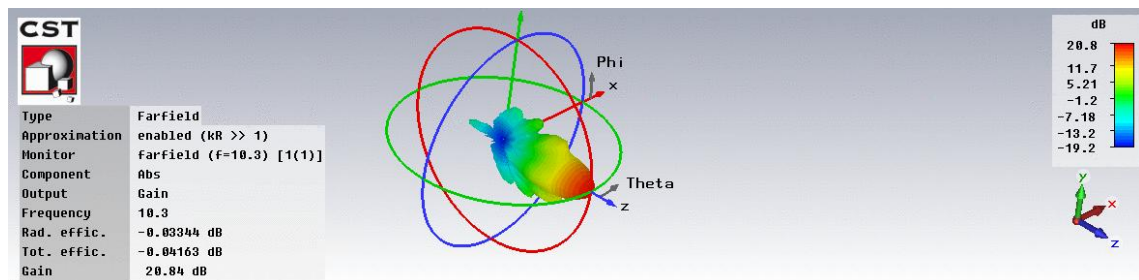


图 4-31

Farfield Plot-> Polar(Cut angle: 90 (phi); Step Size: 1)

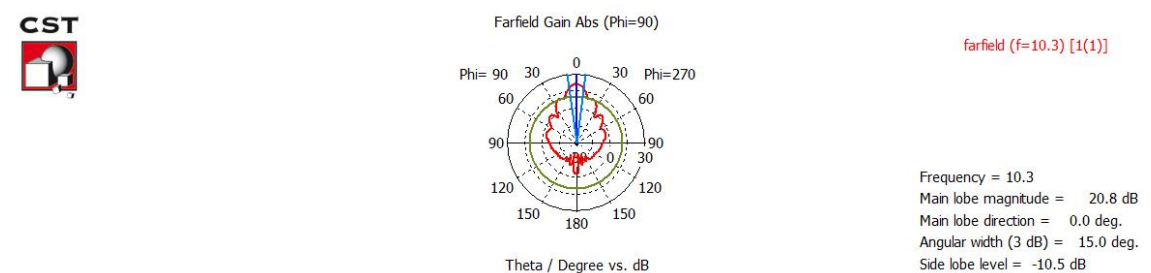


图 4-32

d. E-field, H-field

设置 E-field, H-field and surface current 监视器，表面电流的仿真结果如图 4-33 所示。

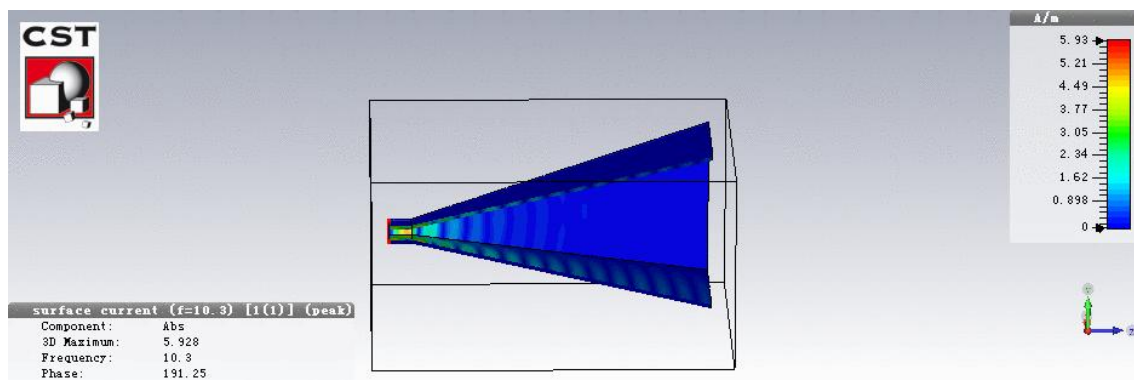


图 4-33 矩形波导馈电的角锥喇叭天线的表面电流仿真结果

**结论：**从仿真结果来看，该矩形波导馈电的角锥喇叭天线的主瓣方向为  $\varphi = 0^\circ, \theta = 0^\circ$ ，主瓣宽度为  $15^\circ$ ，主瓣的最大增益为  $20.8dB$ ，最大增益的仿真值与理论估计值相近。同时，该天线输入端口的反射系数在工作频段内均在  $-20dB$  以下，能够较好的工作。当然仿真结果与实际天线的测量结果还是有一定的偏差的，这里我们主要是要通过仿真，了解矩形波导馈电的角锥喇叭天线的结构，以及其方向性。

## 4.4 实验内容

角锥喇叭天线尺寸数据如下： $D_H = 80mm, D_E = 38mm, L = 80mm$ ，波导尺寸  $a = 22.86mm, b = 10.16mm$ ， $\lambda = 29.1mm$ ，铜壁厚  $t = 1mm$ ，用 CST 软件建模并仿真，观察方向图和喇叭中电场等情况。

## 4.5 实验报告内容要求

- 记录建模步骤和仿真结果图和曲线。
  - 分析喇叭天线 S11 和驻波比特性曲线。
  - 分析喇叭天线的水平、垂直方向图。
  - 比较理论增益和仿真结果的异同。
  - 分析说明喇叭天线和波导口的电场情况。
- 实验的收获与体会。