

矩形波导馈电的角锥喇叭天线 CST 仿真

电科 0000 班

SZX

0000000000

2023 年 6 月 25 日



1 实验目的

- (1) 学习使用 CST 仿真软件进行建模及仿真
- (2) 对喇叭天线原理及相关参数进行初步了解
- (3) 根据所给参数，对喇叭天线进行建模，并对其进行仿真分析

2 实验要求

- (1) 根据实验参数要求对矩形波导角锥喇叭天线进行正确建模
- (2) 在要求的频段对天线进行仿真
- (3) 将仿真结果与理论计算进行对比分析

3 实验原理

3.1 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。

3.2 矩形波导馈电的喇叭天线

3.2.1 简介

矩形口径喇叭天线通常称为角锥喇叭天线，由矩形波导 E 面和 H 面的两壁张开而成的，其辐射特性基本上是 E 面和 H 面扇形喇叭的结合。这里分别用 a 和 b 表示矩形波导的宽和高，用 a_1 和 b_1 表示喇叭口径在 E 面和 H 面的边长，用 p_e 和 p_h 表示喇叭口径在 E 面和 H 面的斜径，用 p_1 和 p_2 表示喇叭口径在 E 面和 H 面的半径，用 R_e 和 R_h 表示喇叭上、下两个口径面之间的距离。

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 1。

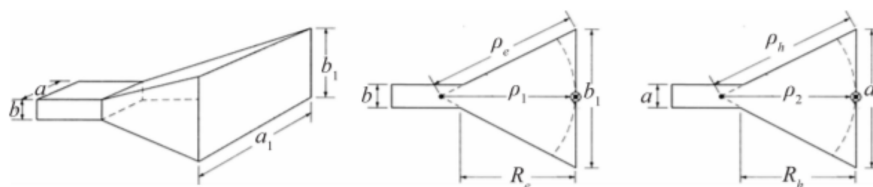


图 1: 角锥天线示意图

3.2.2 理论分析

对于矩形波导的尺寸为 $a \times b$ ，喇叭口径尺寸为 $A_p = a_1 \times b_1$ ，喇叭高度为 L 的角锥喇叭天线。可以用来式子 1 估算该天线的最佳增益：

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \epsilon_{ap} a_1 b_1 \quad (1)$$

其中， ϵ_{ap} 表示矩形喇叭的口径效率，在最佳增益设计时，该值约为 0.5。在本次仿真实验中，我们将其设为 0.51，可得到：

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

根据理论可以给出 E 面和 H 面扇形喇叭最佳方向性系数对应的 a_1 和 b_1 值，其中：

$$a_1 \approx \sqrt{3\lambda p_1} \quad (3)$$

$$b_1 \approx \sqrt{2\lambda p_2} \quad (4)$$

对于实际制成的喇叭，有：

$$R_e = R_h \quad (5)$$

推导出：

$$R_e = R_h = \frac{a_1 - a}{3\lambda} a_1 \quad (6)$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(b + \sqrt{b^2 + 8\lambda R_e}) \quad (7)$$

$$a_1^4 - aa_1^3 + \frac{3bG\lambda^2}{8\pi\epsilon_{ap}} a_1 = \frac{3G^2\lambda^4}{32\pi^2\epsilon_{ap}^2} \quad (8)$$

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：

$$a = 22.86mm \quad (9)$$

$$b = 10.16mm \quad (10)$$

$$\lambda = 29.1mm \quad (11)$$

$$t = 1mm \quad (12)$$

同时选择合适的角锥参数：

$$D_H(a_1) = 80mm \quad (13)$$

$$D_E(b_1) = 38mm \quad (14)$$

$$L = 80mm \quad (15)$$

4 实验步骤

4.1 模型搭建

(1) 参数设置如图 2所示

Name	Expression	Value	Description	Type
a	= 22.86	22.86		Undefined
b	= 10.16	10.16		Undefined
h	= 22	22		Undefined
h1	= 80	80		Undefined
l	= 29.1	29.1		Undefined
l2	= 80	80		Undefined
t	= 1	1		Undefined

图 2: 参数设置

(2) 矩形波导搭建如图 3所示

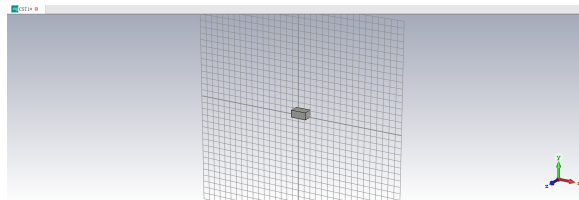


图 3: 矩形波导搭建

(3) 设置角锥喇叭截面参数，并进行平移得到喇叭界面空间位置，结果如图 4 所示

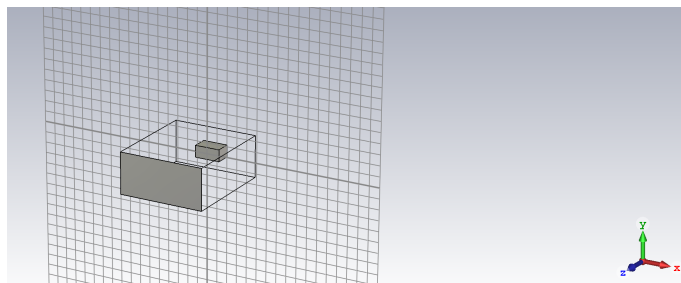


图 4: 喇叭空间位置

(4) 创建喇叭侧壁，并将三部份合并为同一部分，结果如图 5 所示

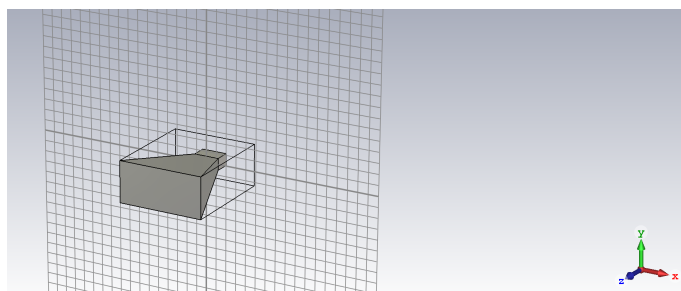


图 5: 喇叭侧壁

(5) 掏空使喇叭结构成型，结果如图 6 所示

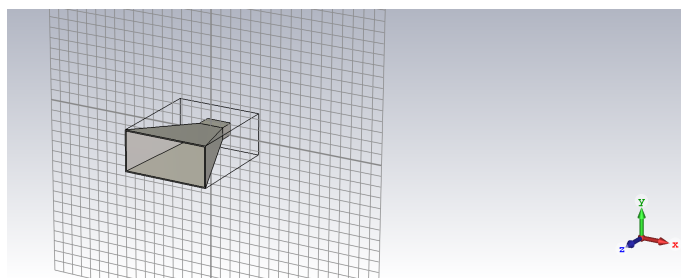


图 6: 喇叭天线最终结构

4.2 仿真设置

(1) 仿真频率设置，设为 X 频段 (8.2GHz 12.4GHz)，如图 7所示。

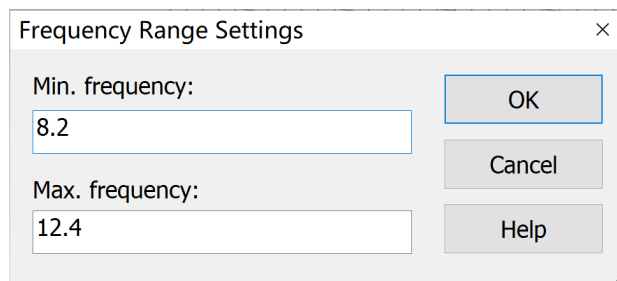


图 7: 频率设置

(2) background 设置，设置为 nomal 如图 8所示。

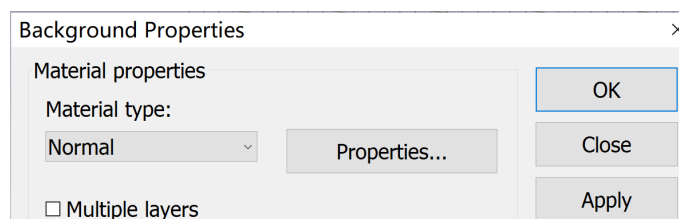


图 8: background 设置

(3) 边界条件设置，设置为 open(add space)，如图 9所示。

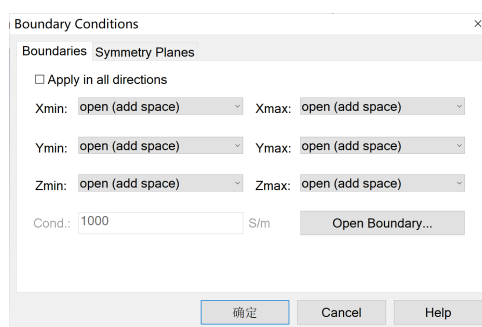


图 9: 边界条件设置

(4) 监视器设置，设置为 Farfield(RCS)，中心频率为 10.3GHz，如图 10所示。

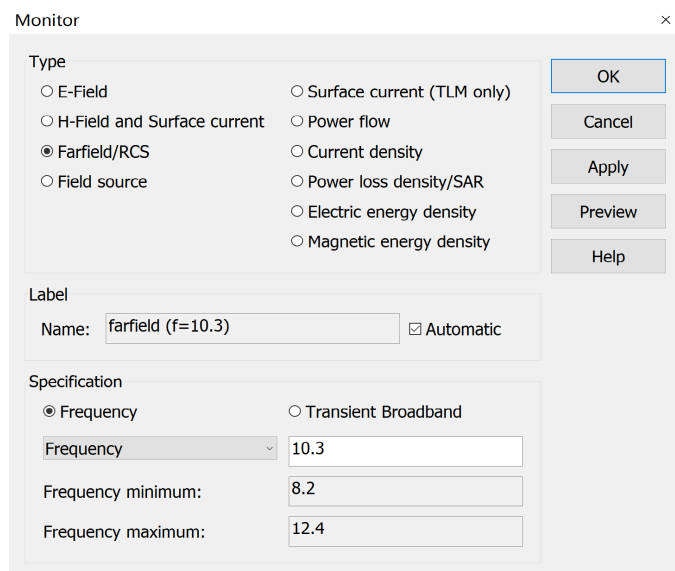


图 10: 监视器设置

(5) 求解器设置，在模式仿真时，勾选 Calculate port mode only，在时域仿真时，设置如图 11所示。

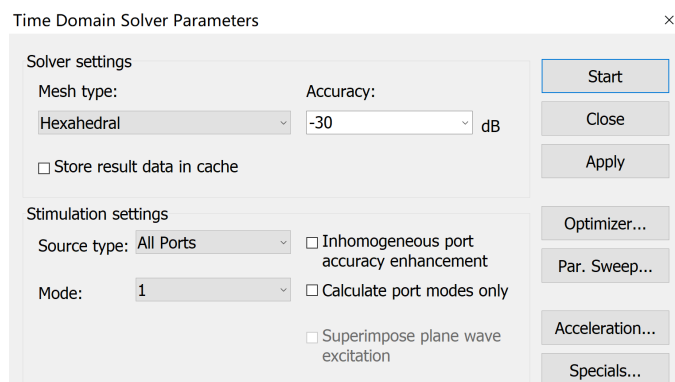


图 11: 求解器设置

5 仿真结果及分析

5.1 模式仿真分析

F-Calc 10.3						
Port	Mode	Type	Z-Wave	Z-Wave-Sigma	Z-Line	F-Cutoff
1 1	TE	505	1.07e-005	—	6.853	
1 2	TE	433	8.94e-006	—	13.66	
1 3	TE	305	9.39e-006	—	16.39	
1 4	TE	268	1.36e-005	—	17.77	
1 5	TM	529	7.06e-005	—	17.77	

由上表所示，我们仿真的频段是 X 频段 (8.2GHz 12.4GHz)，而上表中处在这一区间的只有一个，所以，我们在时域仿真时，只需要设置 mode 为 1 即可。

5.2 波导电场仿真

波导截面电场分布情况如图 12所示。

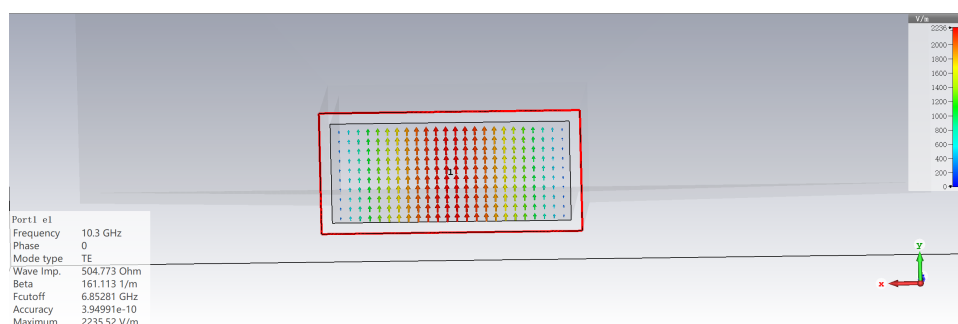


图 12: 波导电场情况

由该仿真结果可以看出，模式为 TE 波，截止频率为 6.85GHz，最大电场强度为 2235.52V/m

5.3 S11 仿真结果

仿真得到的 S11 图如图 13所示。

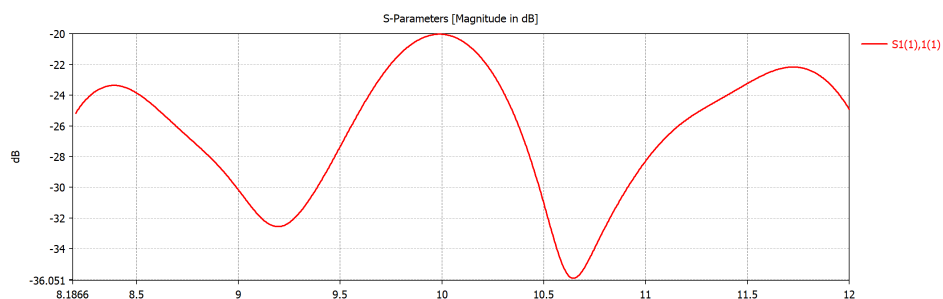


图 13: S11 仿真

从上图的仿真结果，可以看出，在 10.7GHz 附近，该天线有最小的增益，此处增益为 36dB。

5.4 驻波仿真

仿真所得的示意图如图 14所示。

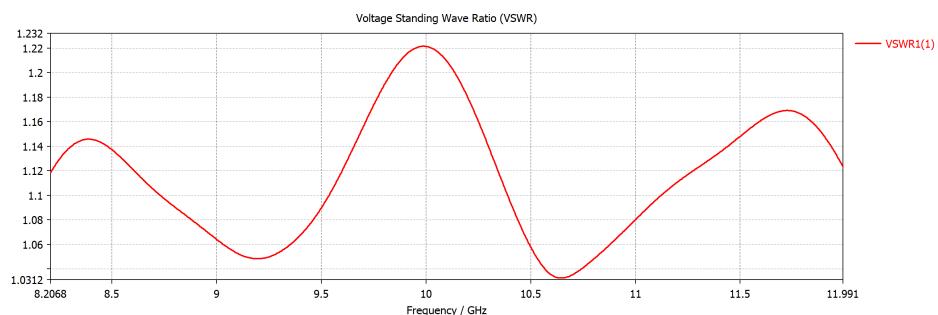


图 14: 驻波仿真

从仿真结果中我们可以看到，在频率为 10.7GHz 和 9.2GHz 的位置，反射是最接近 1 的，因此，在使用此频率的波反射效果最好。

5.5 方向图仿真

(1)3D 方向图如图 15所示。

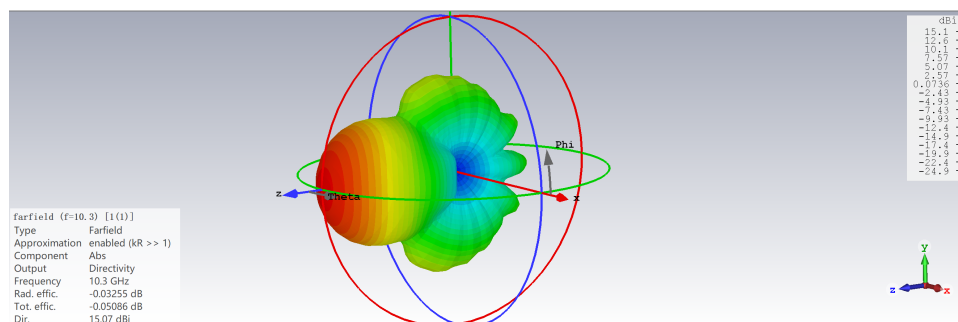


图 15: 3D 方向图仿真

(2)2D 方向图如图 16所示。

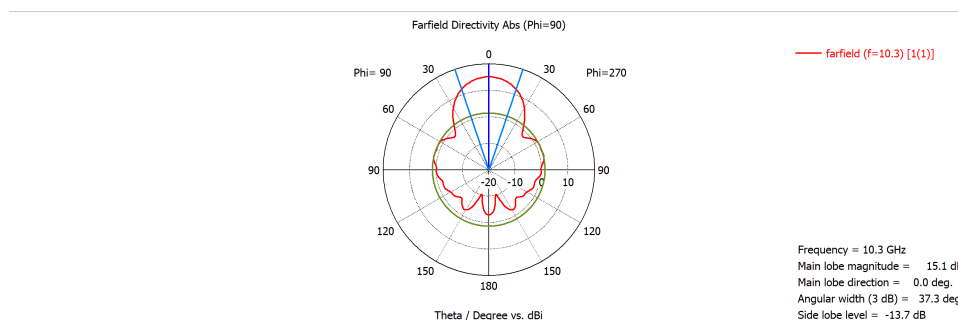


图 16: 2D 方向图仿真

仿真结果表明，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 $\phi = 0^\circ, \theta = 0^\circ$ ，主瓣宽度为 37.3° ，主瓣最大增益为 15.1dB。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。

6 收获与体会

在本次实验中，我首次使用了 CST 仿真软件，并对其余类似的软件有了初步的了解，对电磁场仿真的原理及步骤有了基本的认识。同时，通过仿真，我对理论课程中的许多问题有了更加直观的认识，电磁波的传导过程不再过于抽象。CST 仿真带给我更好的实践和理论的理解。