

球形鼻锥罩透波率计算及参数优化

目录

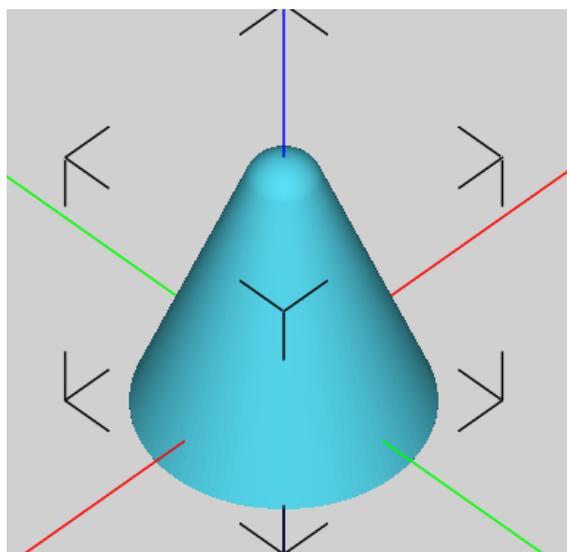
1. 概述	1
2. 设置计算模式及参数	2
3. 建模	4
4. 设置网格	6
5. 启动计算	9
6. 查看计算结果	10
7. 参数优化	13

关键字：球形鼻锥罩、功率传输系数/透波率、参数化建模、参数优化

1. 概述

本案例使用“天线罩（功率传输系数，快速扫角）”计算球形鼻锥天线罩的功率传输系数（简称“透波率”），并使用“参数优化”功能来优化厚度来提高天线罩透波率。天线罩透波率定义为发射天线加罩前后在发射方向上的远场辐射能量比值。

天线罩介电常数 3.3，天线罩厚度 5mm，天线罩尺寸：224mm*224mm*250mm。计算 10GHz 处天线罩在 0~60 度内的透波率角度响应，“参数优化”优化天线罩的最低透波率。模型示意如下：



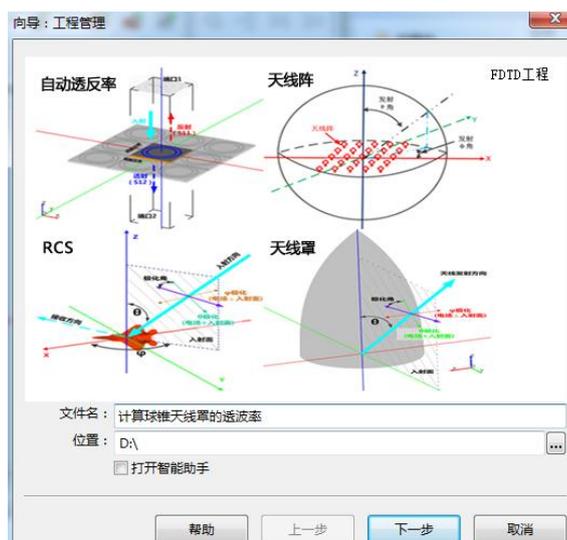
本案例仿真流程：

- 设置计算模式及参数
- 建立模型
- 设置网格
- 启动计算
- 查看计算结果
- 透波率参数优化

2. 设置计算模式及参数

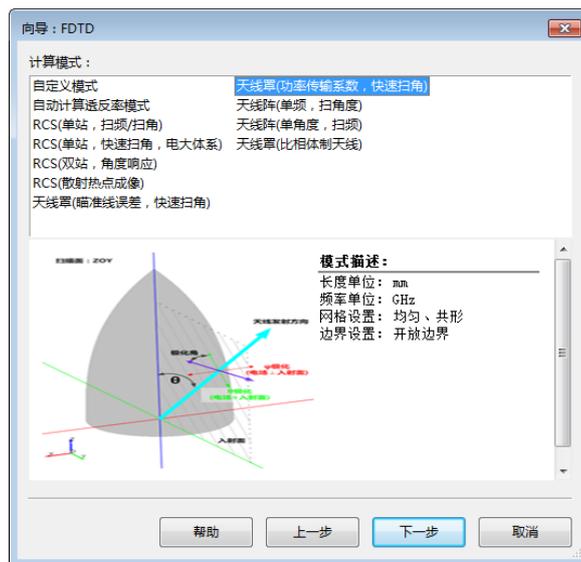
2.1. 新建工程文档

由主菜单选文件-新建-FDTD 向导/由工具条选  插入 FDTD 工程，设置文件名和存储路径，首次计算默认点开路径下方智能助手。



2.2. 选择计算模式

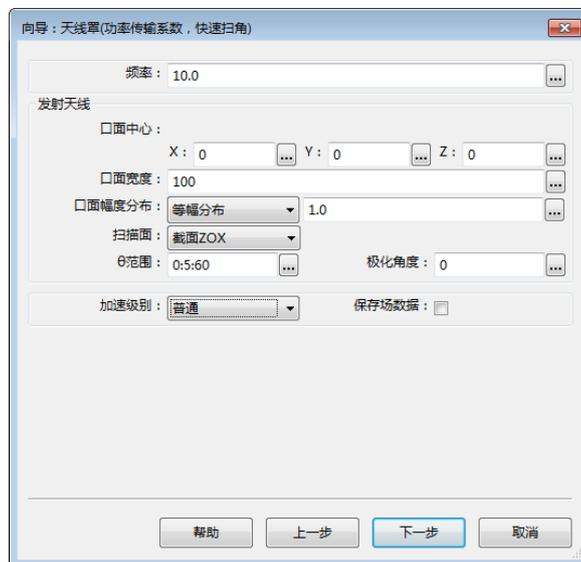
点击“下一步”，进入工作模式菜单，选择“天线罩（功率传输系数，快速扫角）”：



此模式默认长度单位：mm，频率单位：GHz。网格默认为均匀网格，开启共形。如果需要修改网格设置可在完成工程文档后在“网格设置”中修改。天线罩相关的计算一般都在开放空间中，所以边界设置默认为开放边界。

2.3. 设置单位及计算参数

□ 点击“下一步”，设置模式参数：



本案例中对天线罩透波率所关心的**频率**为 10GHz。此处只能设置为单个频率值，对应的波长尺寸将作为自动划分 FDTD 网格的参照。

发射天线口面设置：X、Y、Z 为发射天线口面中心坐标，此案例中设为原点。**口面宽度**设为 100mm，电尺寸约为 3 倍波长。**口面强度分布**有三种：等幅分布、按坐标指定强度分布、按泰勒函数指定强度分布。本案例中天线口面分布均匀分布，所以选择等幅

分布，幅度值填 1（其他口面分布设置参考 FDTD 帮助手册）。

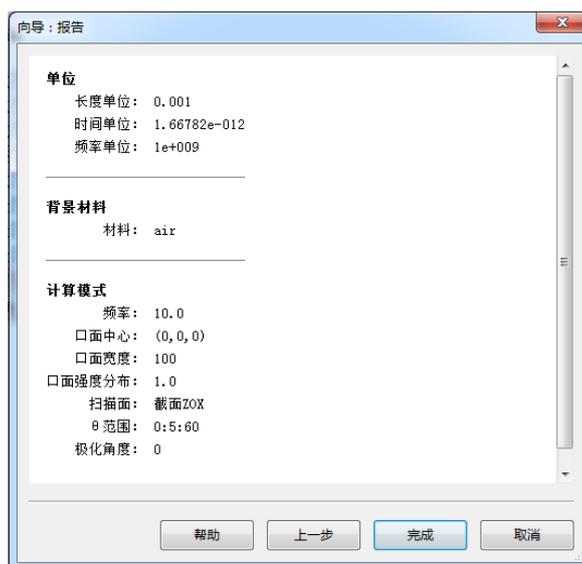
扫描面为天线口面的发射角度扫描面，由于计算模式锁定口面发射方向为 Z 正方向，只能选择 ZOY ($\phi=0$) 或 YOZ ($\phi=90$) 面，这里选择 ZOY 面。**theta 范围**为扫描角度范围，输入形式：起始角度：角度间隔：终止角度，例如输入 0:5:60，表示从 0° 到 60° ，间隔 5° ，计算的角度越多计算时间越长。

极化角度定义为发射天线的极化方向与扫描面的夹角，0 度为 theta 极化，90 度为 phi 极化，本案例选择 0° 极化。

加速级别为普通，当扫描角度数量多时建议提高加速级别。在“保存场数据”后的方框打 \checkmark 可以保存各个天线发射角下，扫描面所在截面上的近场电磁场分布数据。

2.4. 查看向导报告

- 点击“下一步”，显示计算模式参数设置报告：



确认参数无误后，点击“完成”即可开始建模。若参数设置错误，可返回修改，也可点击“完成”，然后在“求解器”菜单中修改对应项的参数。

3. 建模

3.1. 定义常用变量

为方便参数调节和优化，建议将建模中用到的参量尽量在变量表中定义为变量。本案例变量表如下：

变量	值	详细描述
T	10	天线罩壁厚
H	230	天线罩高度
theta	20	天线罩锥半角
R	30	天线罩头部球半径
D	200	天线罩顶点离原点距离
eps	3.3	天线罩材料的介电常数

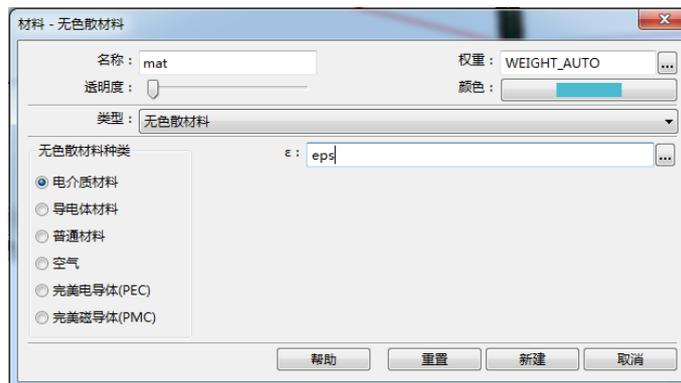
其中 T、theta、H、R、D 为天线罩模型参数（具体意义将在下文建模中介绍），eps 为材料参数。

3.2. 新建材料

新建材料可以通过如下方式：

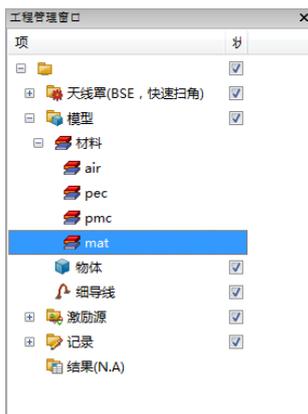
- 点击工具条“新建材料”图标 ；
- “模型”菜单 → “新建材料”；
- “工程管理窗口” → “材料”，鼠标右键 → “新建材料”；
- “智能助手” → “定义材料”；

新建材料窗口如下：



本案例需要使用电介质材料，从材料类型下拉菜单中无色散材料，选择电介质材料，材料 ϵ 为变量 eps，材料名称为 mat（material）。

材料完成后工程管理目录树如下：



3.3. 新建模型

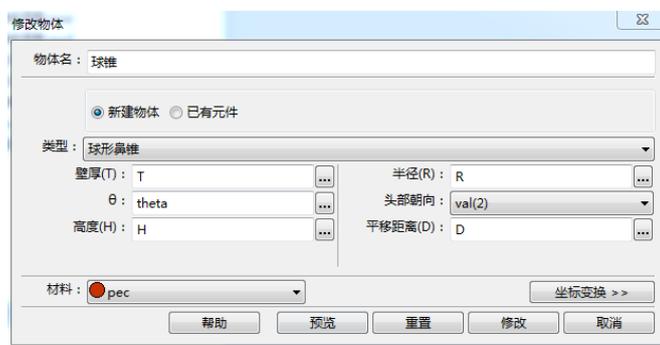
新建模型可以通过如下方式：

- 直接点击工具条“立方体”/“圆柱体”/“球体”等相应图标

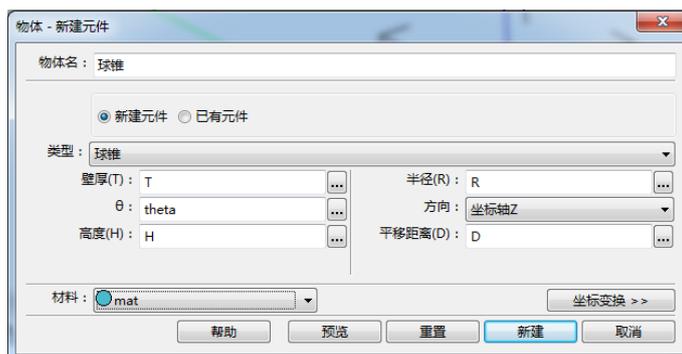


- “模型”菜单 → 选择“立方体”/“圆柱体”/“球体”等相应选项；
- “工程管理窗口” → “模型” → “物体”，鼠标右键 → “新建结构”；
- “智能助手” → “定义物体”；

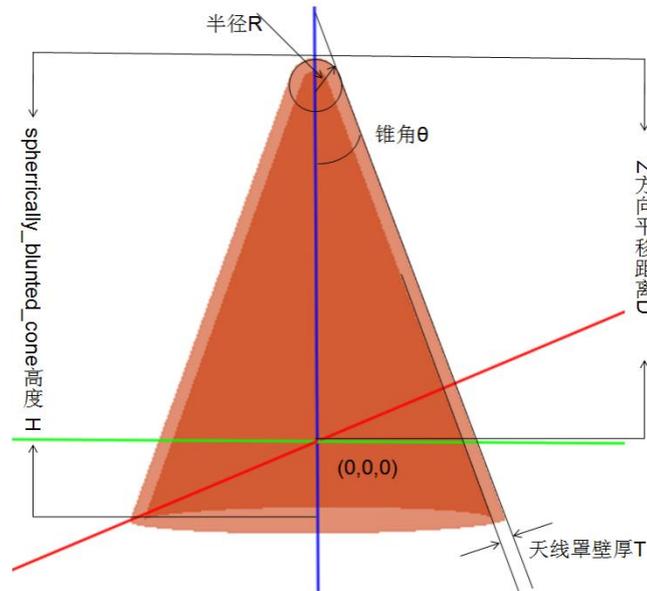
本案例通过“天线罩” → “球形鼻锥”建立球形鼻锥天线罩结构：



物体名：球形鼻锥，物体参数依次填写之前设置的变量，“材料”下拉菜单中选择前面新建的材料 mat，设置后如下：



内置球形鼻锥天线罩各个参数意义见下图：



其中球形鼻锥锥体外形线：

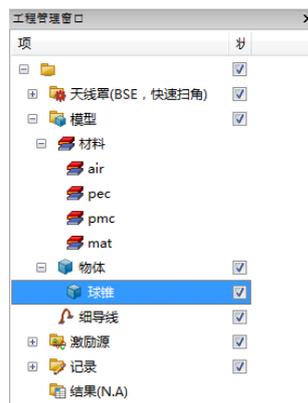
$$y = x \tan(\theta)$$

头部球和锥体切点坐标：

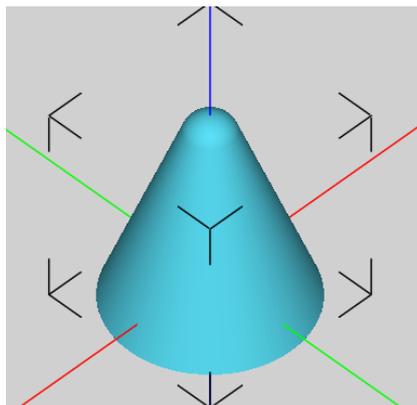
$$x_t = R - R \sin(\theta)$$

$$y_t = R \cos(\theta)$$

点击新建，模型完成后界面如下：



模型如下：



4. 设置网格

使用 FDTD 方法仿真，一般要求网格精度至少为关心频率对应波长的 1/15 以上，同时还要求网格能尽量识别模型的几何细节。一般情况下，默认选择“智能网格”，EastWave 会自动根据用户设置的工程频率范围划分网格，用户可以简单选择不同的网格精度即可完成划分。用户也可选择自定义网格，可以控制每个维度的计算范围和网格数，并可以修改仿真时间步长和总时间步数。

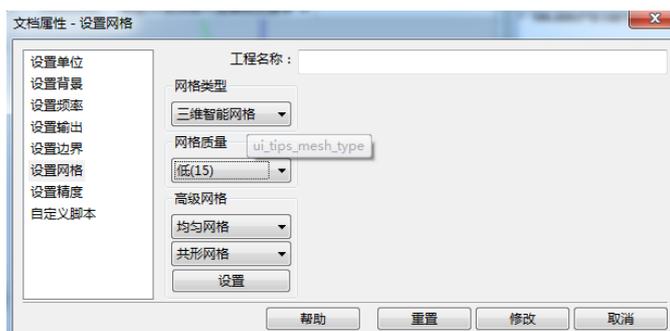
对于有特别精细结构（比如 1/100 波长以下）的模型，网格往往需要特别处理，EastWave 提供共形网格、非均匀网格、指定网格面、指定网格区域等高级控制手段，详细请参看 EastWave 操作指南 5.3 节，或咨询 EastWave 工程师。

4.1. 设置网格精度

网格精度可以通过如下方式设置修改：

- 在模型界面背景处右键→“属性”→“设置网格”；
- “求解器”菜单→“设置网格”；
- “工程管理窗口”→展开“天线罩（功率传输系数，快速扫角）”→“网格”；

设置对话框如下：



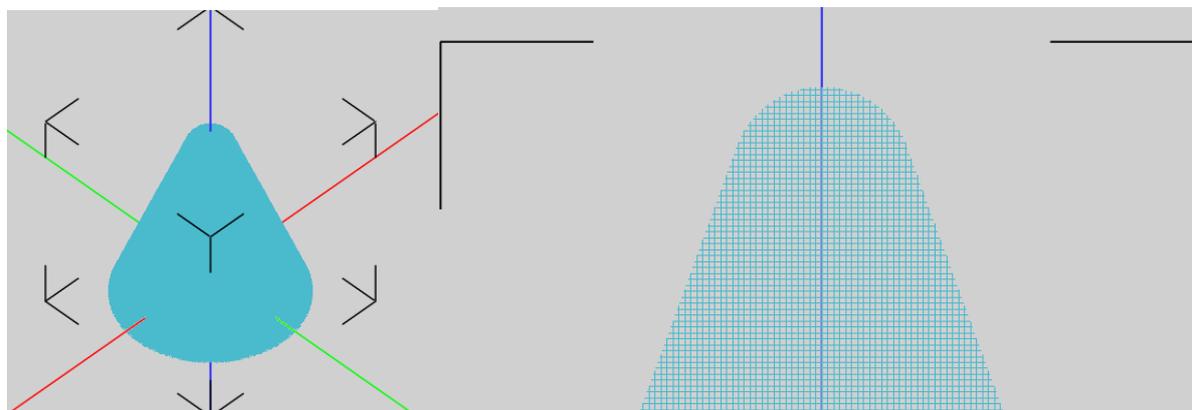
本案例球形鼻锥天线罩结构简单，使用均匀网格，网格精度默认低（15）即可，网格精度 15 表示网格尺寸为中心波长的 1/15。对于天线罩，一般要求网格尺寸小于天线罩厚度 1/2。对于特别薄（电尺寸）的天线罩，建议做网格收敛判断，网格收敛即用不同网格精度计算得到一致结果。

4.2. 网格剖分检查

网格精度设置完后，启动计算前可预览网格划分情况，点击 ：



该对话框用于设置预览网格区域的范围，可以指定预览模型空间的一个子区域。点击确定开始划分。点击工具栏  可以隐藏模型而只显示网格。预览网格划分效果如下(右图为局部放大)：

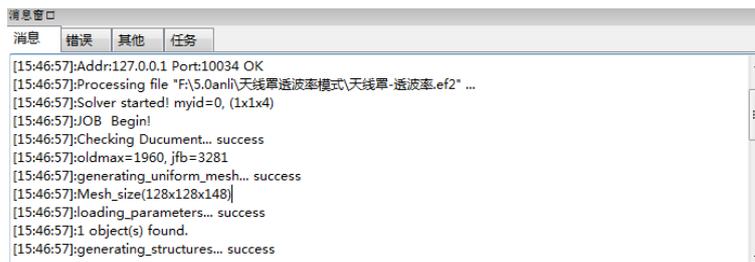


5. 启动计算

工具条中  下拉选项可设置并行计算的进程数，点击  开始计算。计算开始以后，消息窗口给出提示/警告/报错信息，计算任务管理窗口给出计算进度并且可右键管理任务。

5.1. 消息窗口

计算开始和进行过程中，右下角的消息窗口显示出计算初始化的状态，出现 FDTD calculation begins 表示初始化已经成功，计算开始进行。

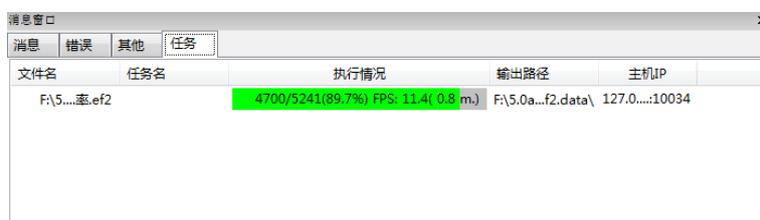


其中 BlockSize : 128×128×148 为 X、Y、Z 方向的网格数。计算电大尺寸物体时，需要根据网格数估算内存要求，一般单精度数值精度下，200×200×200 网格所需内存为 1GB 左右，16G 内存可计算 2e8 左右（约 600×600×600）网格体系。

5.2. 计算进度

在界面下方消息窗口中点击“进度条”，可以观察计算任务的完成情况，或右键管理任务。例如下图进度条中：4700/5241 表示预估总计算步数位 5241 步，当前已计算 4700 步，括号中 89.7% 为计算完成百分比。FPS 值 11.4 为当前时刻计算速度（每秒完成的计算步数），括号中 0.8m 为预估的剩余计算时间 0.8 分钟。

注意：天线罩模式需要计算两次，此处 0.8m 为第一次计算的剩余时间。结束后将自动进行第二次计算，进度条将重新更新一次，计算时间和第一次相同。

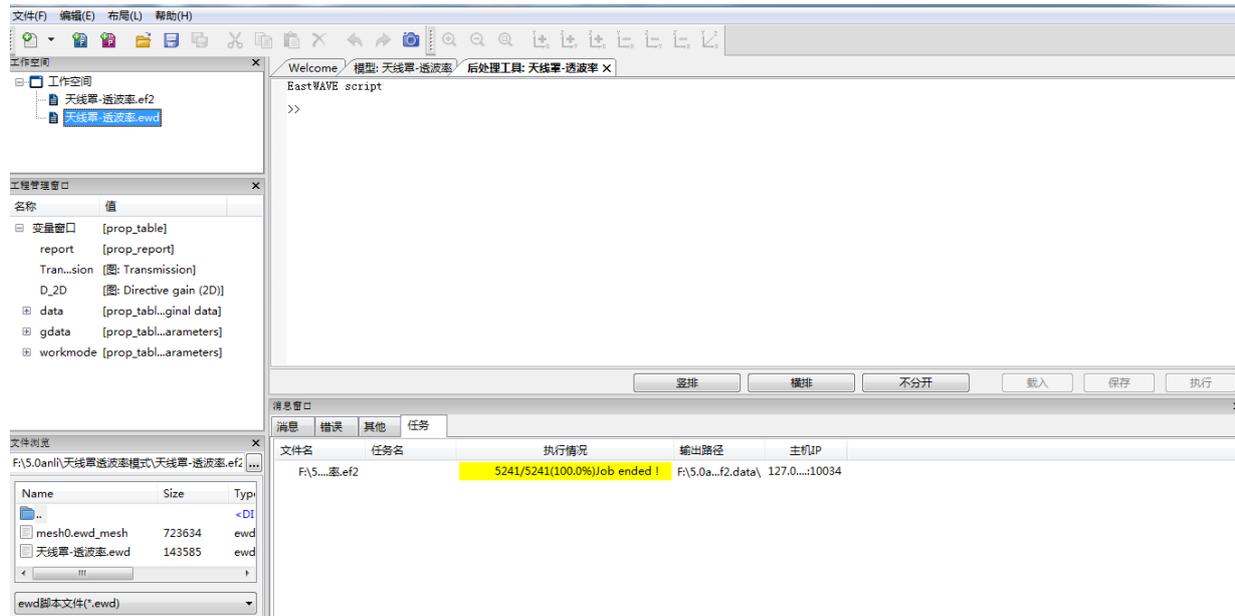


6. 查看计算结果

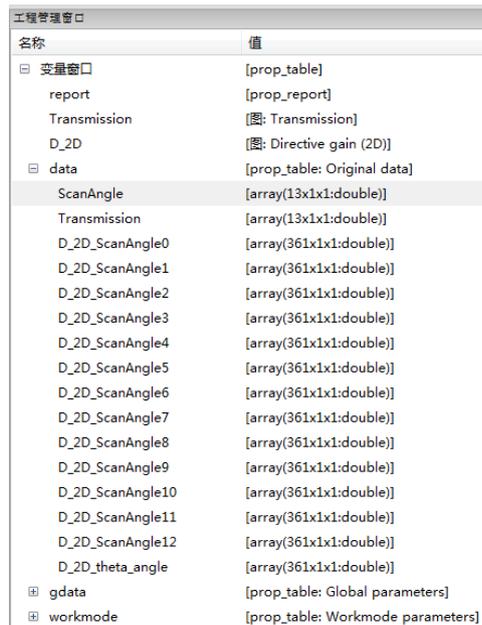
计算完成后，在“工作空间”生成“天线罩-透波率.ewd”结果文件。可通过如下方式查看结果文件：

- ❑ 鼠标双击天线罩-透波率.ewd 文件；
- ❑ 菜单栏：求解器→ 分析结果”；
- ❑ 智能助手：分析结果；
- ❑ 工程管理窗口：双击“结果”；

后处理窗口如下：



结果目录树展开如下：

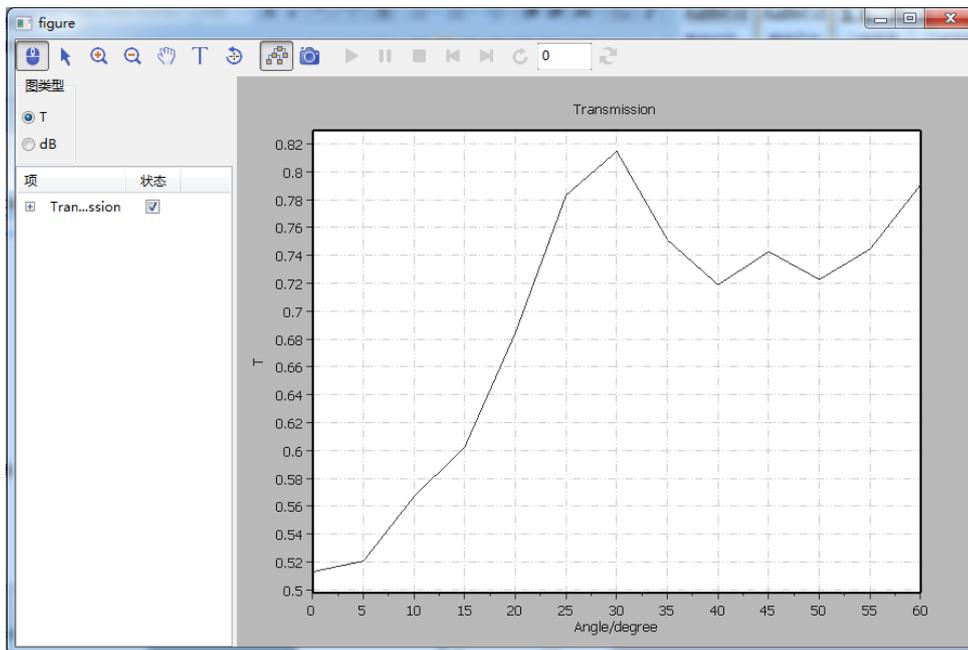


输出项具体意义如下表：

输出项	说明	备注
report	屏幕输出信息记录。	
Transmission	天线罩透波率（功率传输系数）随扫描角的变化。	
D_2D	各个天线发射角下的二维方向图（三维方向图在扫描面内的截面）。	和波束方向图。

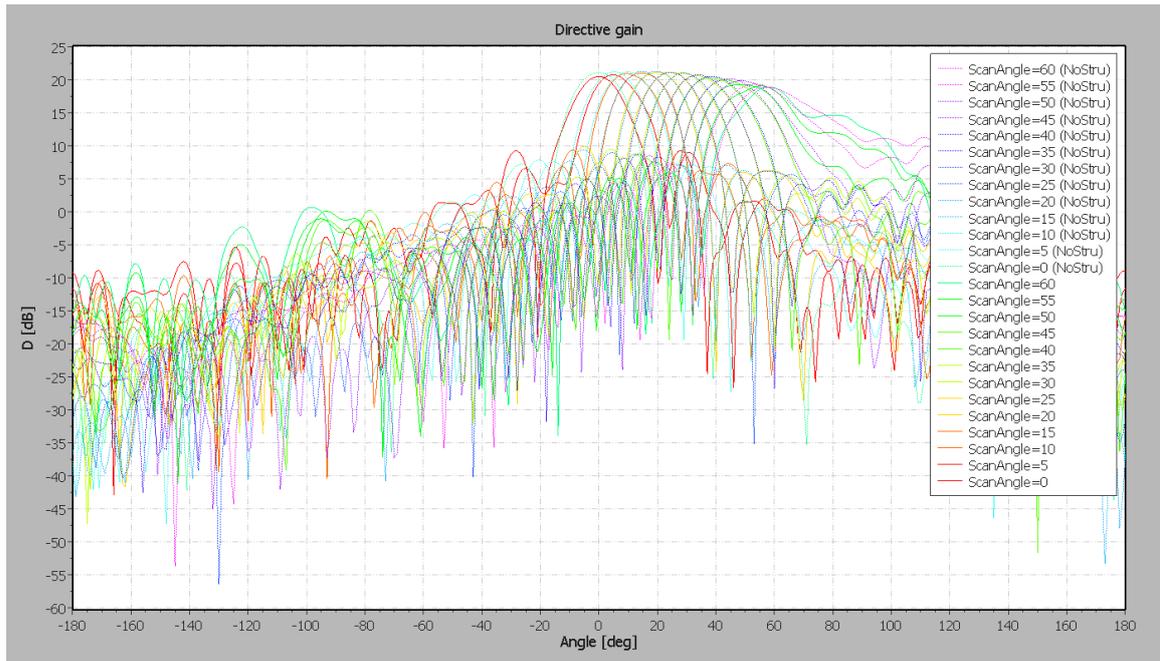
输出项	说明	备注
data	各个天线发射角下，扫描面所在截面上的近场电磁场分布（如扫描面为ZOX，则为Y=0面上的近场分布）。	
workmode	计算模式输入参数和相关参数。	
gdata	全局变量。	

双击 transmission 查看天线罩的透波率随角度的变化情况：



选中数据曲线后，可右键选择“保存并导出”将数据保存为文本文件。导出文件含两列数据：第一列为天线发射角度，第二列为对应角度下的透波率。

双击 D_2D 查看天线各角度的方向图：



选中数据曲线后，可右键选择“保存并导出”将数据保存为文本文件。导出文件含两列数据：第一列为天线发射角度，第二列为对应角度下的方向性系数。

注：图形属性修改和数据编辑等操作详见 FDTD 帮助文档。

7. 参数优化

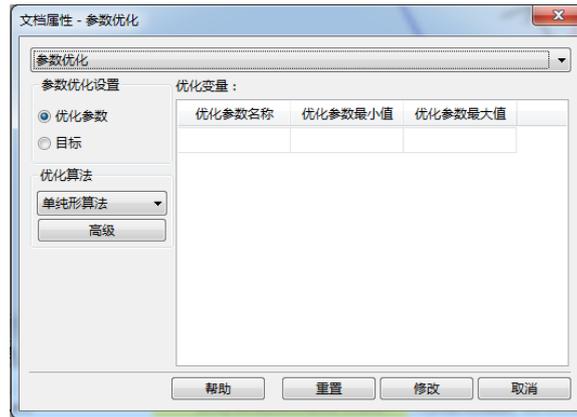
从上述结果可以看到，发射角度为 0 度时，天线罩透波率较低，约为 0.52。此时天线口面发射的电磁波束直接入射到球形鼻锥头部，散射较为复杂。为提高 0 度发射角时天线罩的透波率，下面演示使用“参数优化”功能来优化天线罩厚度 T ，以提高头部透波率。

7.1. 参数设置

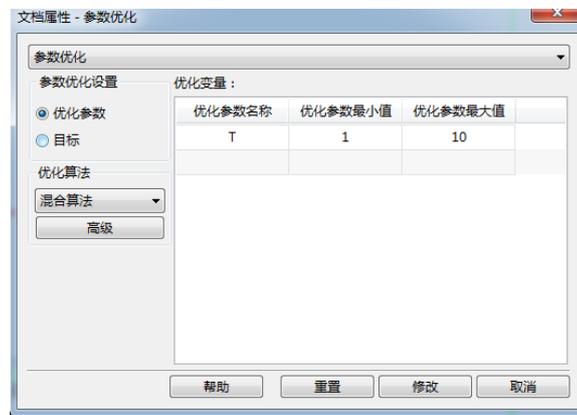
参数优化可以通过如下方式设置：

- 右击图标  ；
- “求解器”菜单→“参数优化”；

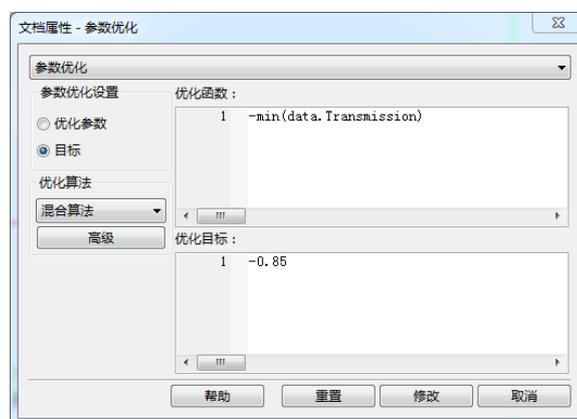
设置对话框如下：



“优化参数”页：将优化变量设置为天线罩厚度 T，变化范围在 1mm 到 10mm 之间，优化算法选择混合算法（单纯形算法一般在参数范围比较明确时使用，详见 EastWave 帮助手册）：



“优化目标”页：此处将目标设置为使 transmission 的最小值越大越好，所以优化目标函数设置为： $-\min(\text{data.Transmission})$ 。目标使 transmission 最小值大于 0.85，目标设置为 -0.85（目标函数为 -）。这样当天线罩各角度透过率的最小值大于 0.85 时，优化停止。优化算法有单纯形算法、混合算法，这里选择混合算法。（两种算法的区别和高级设置见 FDTD 帮助手册）

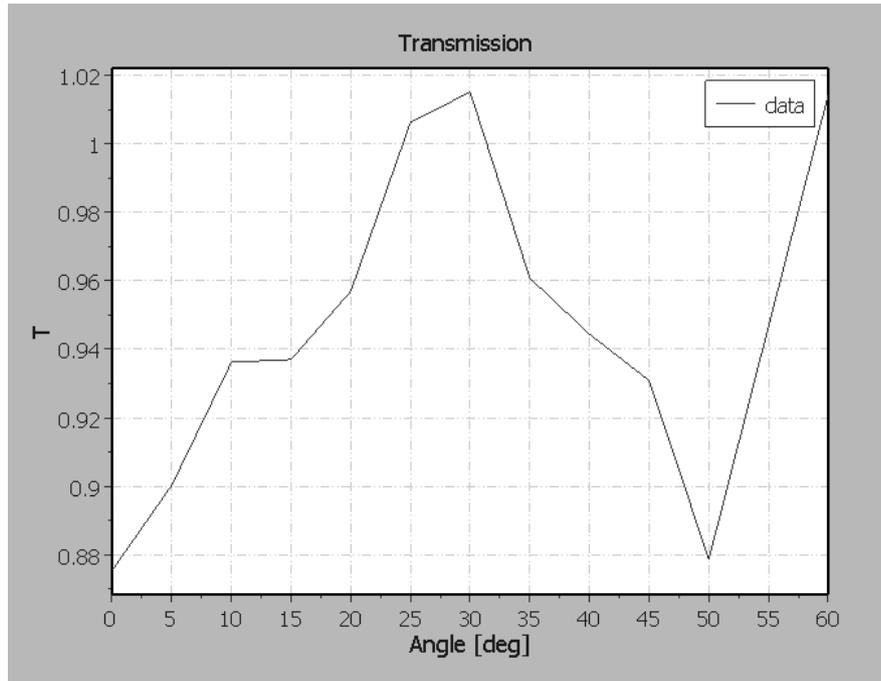


点击修改完成优化设置。

7.2. 启动计算和查看结果

按照本案例第五章和第六章启动计算并查看结果。

优化过后的天线罩透波率随角度变化的响应：



可以看出透波率的最小值是 0.87，满足优化目标。此时 T 为 9.29853mm。

优化过后天线各角度的方向图：

