

天线阵(扫频扫角)模式教学案例

目录

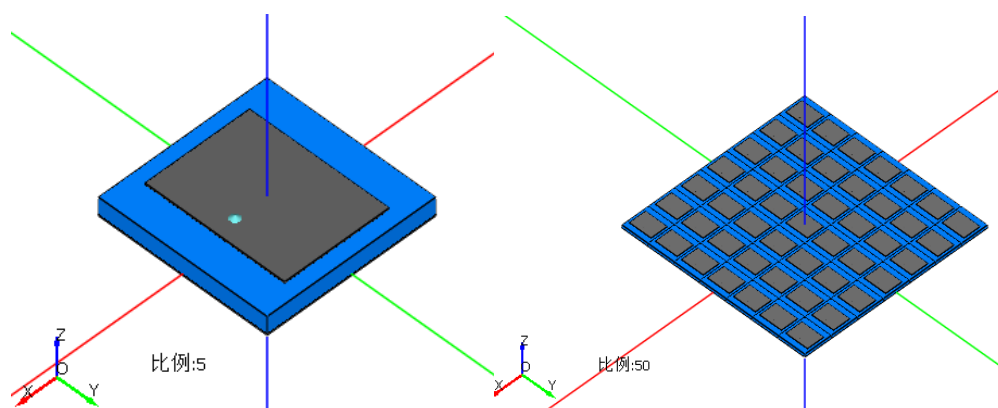
1. 概述	1
2. 设置计算模式及参数	2
3. 建模	4
4. 修改计算模式参数设置	11
5. 设置网格	14
6. 启动计算	16
7. 查看计算结果	18

关键字：贴片天线、[频域]远场记录器、辐射方向图、驻波比

1. 概述

本案例使用“天线阵（扫频扫角）”计算模式计算贴片天线阵的辐射特性，该计算模式可以计算相控天线阵列在不同角度下的方向图及相关结果，可一次完成宽频范围内多个频点计算。

模型示意图：



微带贴片天线是在一个薄介质上，一面附上金属薄层作为接地板，另一面用光刻腐蚀等方法作出一定形状的金属贴片，利用同轴或微带对贴片馈电。贴片可以是方形、矩


形、圆形或其他形状。微带贴片天线结构上的特点是体积小、重量轻、剖面低、能与飞行器共形、成本低；主要缺点是频带窄、效率低，这是因为微带贴片天线实质上接近封闭的谐振系统。

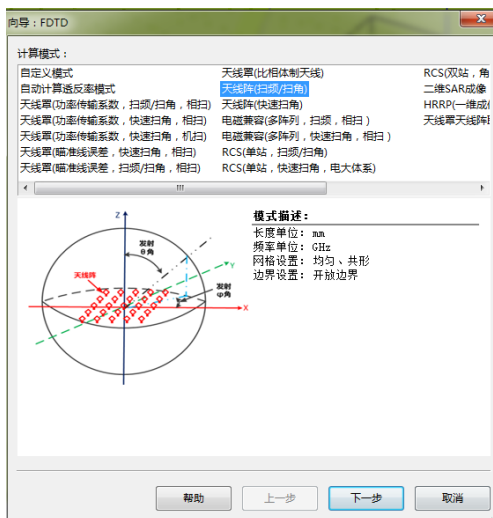
案例仿真流程如下：

- 设置计算模式及参数
- 建模
- 修改计算模式参数设置
- 设置网格
- 启动计算
- 查看计算结果

2. 设置计算模式及参数

2.1. 选择计算模式

由主菜单选文件-新建-FDTD 向导/由工具条选  插入 FDTD 工程，进入工作模式菜单，选择“天线阵（单角度，扫频）模式”：



□ 点击“下一步”，进入“天线阵（扫频扫角）”模式：



进行向导之后，一些参数不确定，先不修改整个模式参数，以默认值为主，等整个阵列建立完成之后再修改各个参数。

2.2. 查看向导报告

□ 点击“下一步”，显示计算模式参数设置报告：



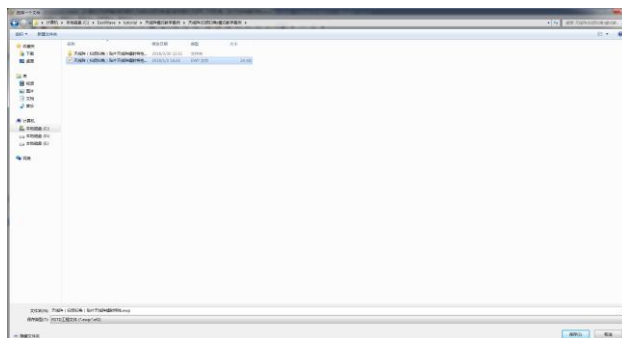
“天线阵（单角度，扫频）”模式里，默认长度单位设置为 mm，时间单位设置为自动关联，频率单位设置为 GHz。背景材料为空气，其他参数是默认值，点击“完成”即可开始建模。

注：“时间单位”默认和长度单位自动关联，高级用户可自己设置来控制 FDTD 仿真

对应的真实时间尺度。

2.3. 设置文件名和存储路径

- 点击“完成”，选择存储路径的文件夹：



设置文件名，点击“保存”即可开始建模。

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出来。具体变量参数的定义已经在变量表中给出，本案例变量表如下：

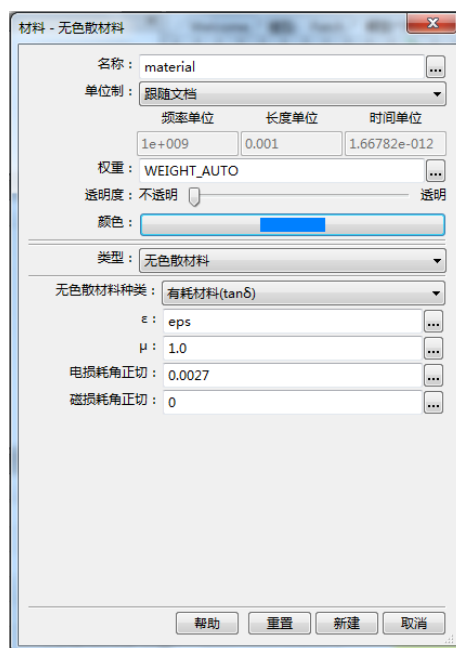
变量	表达式	值	详细描述
gnda	50	50	地板的长度
gndb	50	50	地板的宽度
gndh	1/2	0.5	地板的厚度
dica	50	50	介质基底的长
dicb	50	50	介质基底的宽
dich	5	5	介质基底的厚度
paha	31	31	贴片的长度
pahb	41.4	41.4	贴片的宽度
pahh	1/2	0.5	贴片的厚度
xf	9.5	9.5	馈线位置
dp	1/2	0.5	馈线的直径
dh	5.5	5.5	馈线的高度
eps	3.55	3.55	介质介电常数

3.2. 新建材料

新建材料可以通过以下四种操作方式：

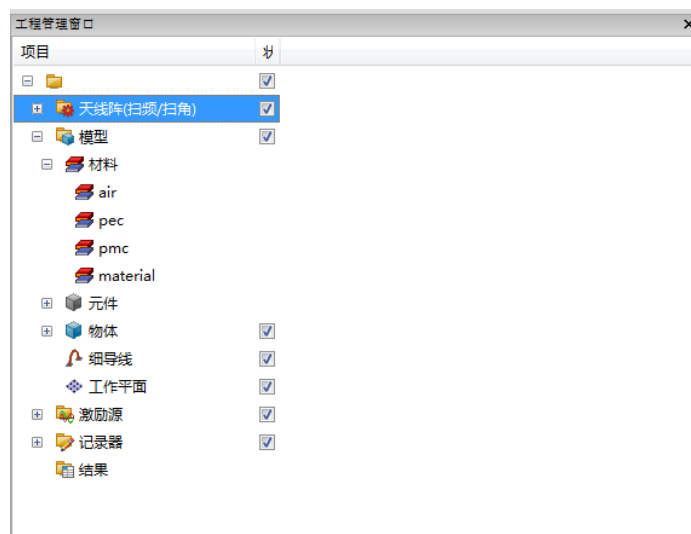
- 点击工具条“新建材料”图标；
- “模型”菜单 → “新建材料”；
- “工程管理窗口” → “材料”，鼠标右键 → “新建材料”；
- “智能助手” → “定义材料”；

新建材料窗口如下：




本案例需要使用无色散材料中的有耗材料($\tan\delta$)，材料介电常数设置为定义的变量 ϵ ，电损耗角正切为 0.0027，颜色和透明度可以根据自己喜好选取。更多复杂材料的设置说明请参看 EastFDTD 帮助手册“材料模块”。

材料完成后工程管理目录树如下：



3.3. 新建模型

本案例通过“立方体”建立模型，可以采用如下四种操作方式：

- ❑ 直接点击工具条“立方体”图标  ；
- ❑ “模型” 菜单 → “立方体” ；
- ❑ “工程管理窗口” → “模型” → “物体”，鼠标右键 → “新建物体” → 类型 “立方体” ；
- ❑ 智能助手：“定义物体” → 类型 “立方体” ；

3.3.1. 建立贴片天线金属地板

通过“立方体”建立贴片天线的地板，命名“Ground”。



“材料”下拉菜单中选择材料 pec，中心坐标为 $(0, 0, -gndh/2)$ ，宽度为 $(gnda, gndb, gndh)$ 。

3.3.2. 建立贴片天线介质板

通过“立方体”建立贴片天线的介质板，命名“Mat”。

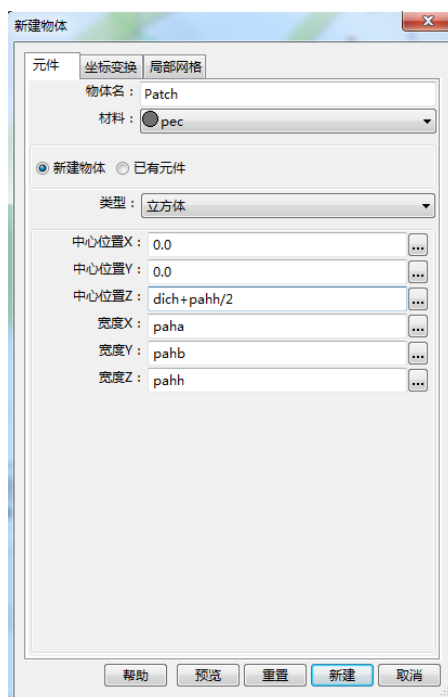


“材料”下拉菜单中选择材料 material，中心坐标为 $(0, 0, dich/2)$ ，宽度为 $(dica, dicb, dich)$ 。

dicb , dich)。

3.3.3. 建立贴片天线金属贴片

通过“立方体”建立贴片天线的金属贴片，命名“Patch”。



“材料”下拉菜单中选择材料 pec，中心坐标为 (0 , 0 , dich+pahh/2)，宽度为 (paha , pahb , pahh)。

3.3.4. 建立贴片天线的馈线

通过“立方体”建立连通贴片天线的金属贴片和金属地板之间的馈线，命名“Kuixian”。

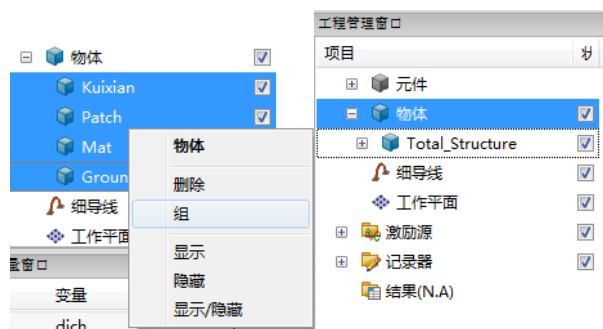


“材料”下拉菜单中选择材料 pec，中心坐标为 (xf , 0 , dh/2-gndh/2)，宽度为 (dp , dp , dh)。

3.3.5. 打包天线阵元

完成单个天线建模后，建议将组成天线的所有物体打包成组，以方便生成阵列。按住键盘 “Ctrl” 键，鼠标单击选中 “Ground”、“Mat”、“Patch” “Kuixian” 四个物体，右键选择 “组”：

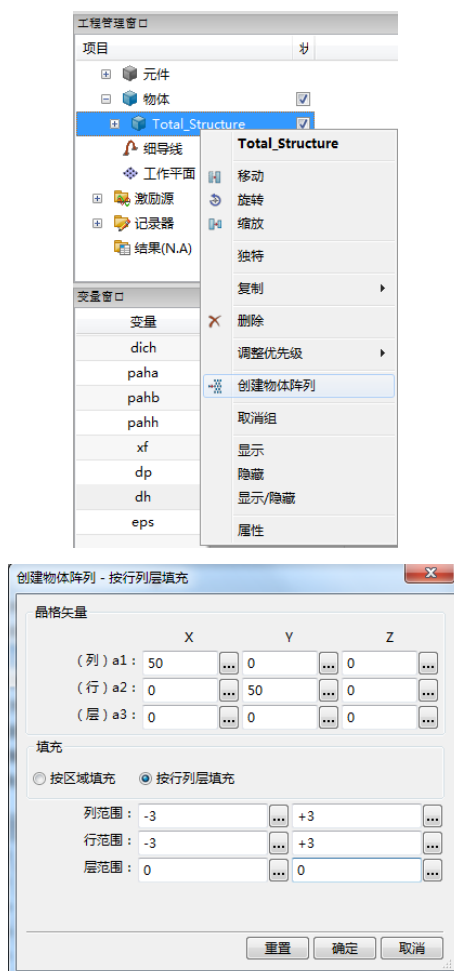
双击新建的组 “object_0”，打开 “修改物体” 对话框，修改组名称为 “Total_Structure”。



3.3.6. 建立天线阵列

EastWave 中可直接将物体扩展成周期阵列。新建阵列模型可以通过如下方式：

- “工程管理窗口” → “模型” → “物体” → “Total_Structure”，鼠标右键 → “创建物体阵列”；

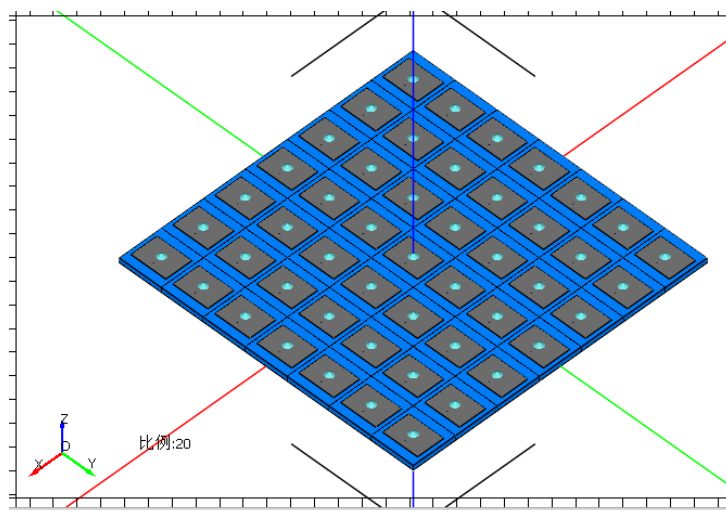


在 X 正负方向各扩展 3 个单元，Y 正负方向各扩展 3 个单元，创建 XY 平面内的 7×7 阵列，单元间隔为 50mm。

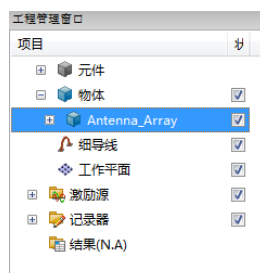
“晶格矢量”设置：取第一个延拓维度“列”的平移矢量为 $(50, 0, 0)$ ，即相邻周期单元在 X 方向相差 50mm，Y、Z 方向坐标相同；第二个延拓维度“行”的平移矢量为 $(0, 50, 0)$ ，即相邻周期单元在 Y 方向相差 50mm，X、Z 方向坐标相同。

“填充”设置：“列范围”设置为 $(-3, 3)$ ，表示按“列”矢量向矢量的负方向和正方向各扩展 3 个周期单元。“行范围”设置为 $(-3, 3)$ ，按“行”矢量正负扩展 3 个周期单元。此处仅需向两个维度扩展，无需使用“层”设置。

点击确定得到 7×7 阵列。



双击新建的阵列 “Total_Structure”，打开 “修改物体” 对话框，修改阵列名称为 “Antenna_Array”。



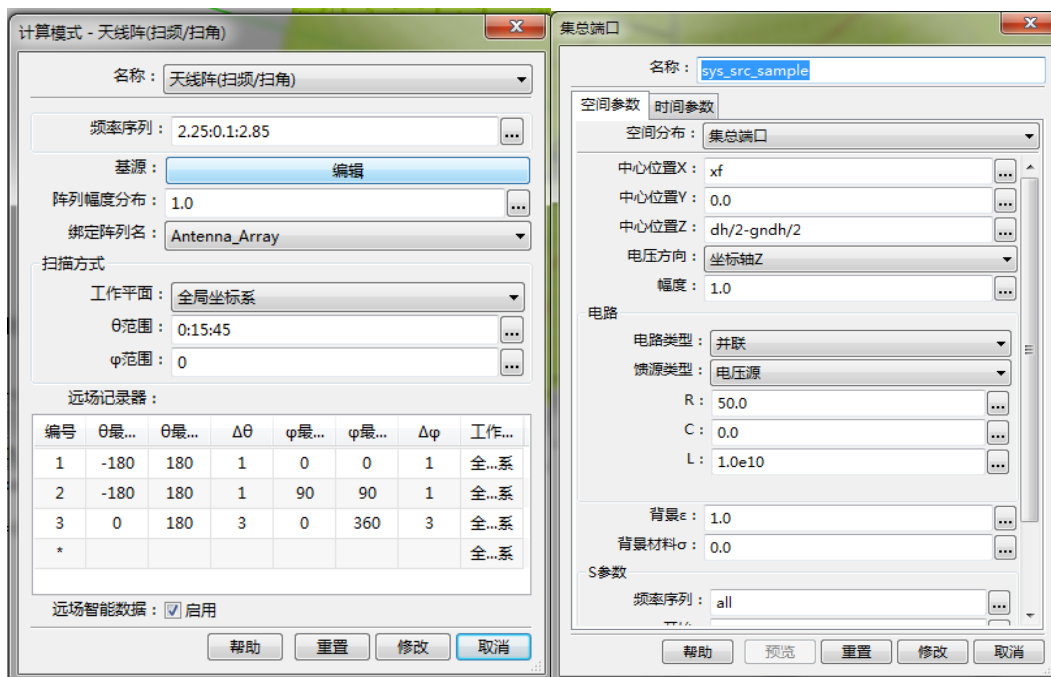
4. 修改计算模式参数设置

在 “工程管理窗口” 下→ 双击 “天线阵 (单角度, 扫频)”，修改参数如下；



频率序列设置为：(2.25:0.1:2.85) 表示从 2.25GHz 到 2.85GHz，频点间隔 0.1GHz，共 7 个频点。

点击“基源”，空间分布选择集总端口，基源位置的设置需根据初始单个天线单元(生成周期阵列之前)的“Kuixian”的中心位置来设定，中心位置为 (xf, 0, dh/2-gndh/2), 电压方向沿 Z 轴, 其他设置默认, “基源”类型和位置设置完成后, EastWave 自动根据已建立的“周期阵列模型”生成一份扩展方式相同的“周期阵列馈源”。



阵列幅度分布：1.0，阵列幅度分布可填写相控阵各阵元的馈源相对强度，默认值 1.0 表示各个单元等幅馈电，也可输入空间坐标的函数。比如输入 ($_x^2+_y^2$)，表示在幅度分布为二次曲面形式，中间阵元馈电幅度弱，边沿阵元馈电幅度强。

绑定阵列名：Antenna_Array

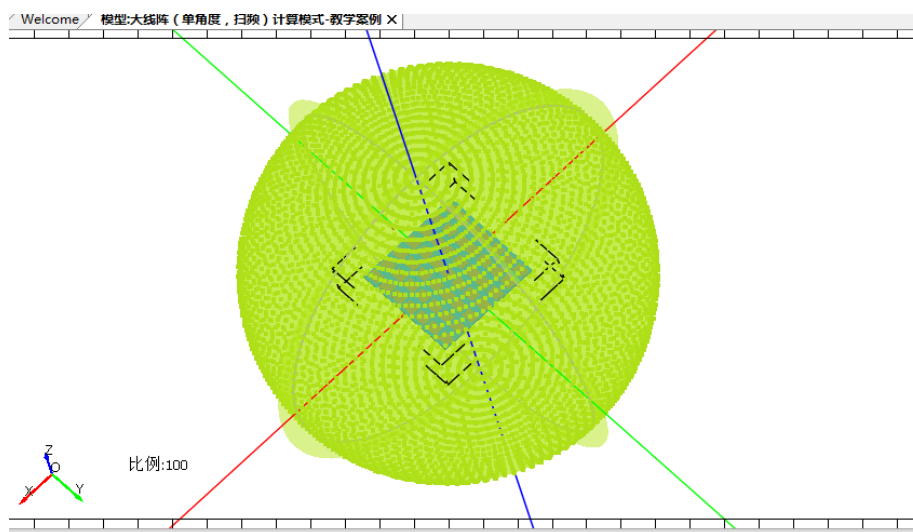
扫描方式：在全局坐标系下， θ 、 φ 为相控阵扫描角度，输入形式为单值： θ 设置 15° ， φ 设置为 0° 。

远场记录器：该计算模式默认有三个记录器，用户也可以根据需要自己设置。根据用户输入的参数“ θ 、 φ ”的角度范围，天线阵单角扫频模式“远场记录器”记录两个二维和一个三维方向图（对应输入“频率序列”所指定的频率，每个频点一个方向图），本例中修改第三个记录器，输入 θ 范围从 0° 到 180° ， φ 范围从 0° 到 360° ，间隔 3° 。

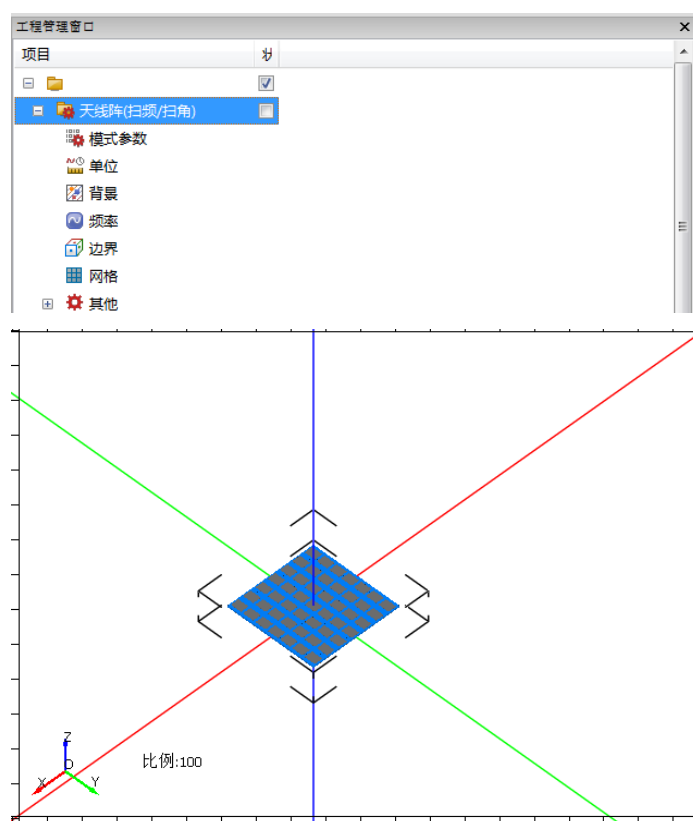
点击“修改”，即完成“天线阵（单角度，扫频）”模式的参数设置。

“远场记录器”设置完成后，界面上会显示用户设定的远场角度范围（半透明球壳），

如下图：



如果用户不想看到远场角度信息，可以勾除掉计算模式节点“天线阵（单频，扫角度）”模式，如下图：



5. 设置网格

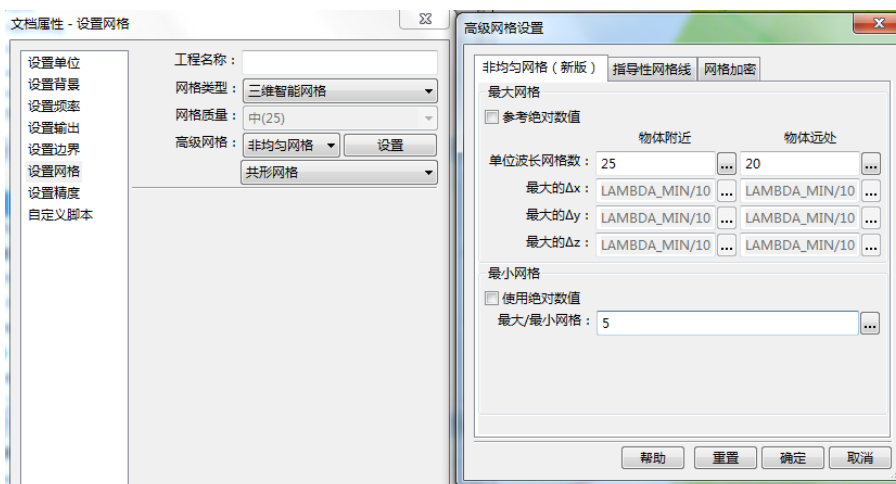
使用 FDTD 方法仿真，一般要求网格精度至少为关心频率对应波长的 1/15 以上，同时还要求网格能尽量识别模型的几何细节。一般情况下，默认选择“智能网格”，EastWave 会自动根据用户设置的工程频率范围划分网格，用户可以简单选择不同的网格精度即可完成划分。用户也可选择自定义网格，可以控制每个方向的计算范围和网格数，并可以修改仿真时间步长和总时间步数。

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“物体模块”部分，或咨询 EastWave 工程师。

5.1. 设置非均匀网格策略

网格精度可以通过如下三种操作方式设置修改：


- ❑ “求解器”菜单 → 选择“设置网格”；
- ❑ “工程管理窗口” → “自定义模式” → “网格”，鼠标右键 → “属性”；
- ❑ 智能助手：“定义网格”；
- ❑ 打开网格设置对话框，选择“非均匀网格策略二”
- ❑ 启用共形网格
- ❑ 点击非均匀网格的“设置”，进入参数设置
- ❑ 将最大网格的每波长格子数设置成 25（物体附近）/20（物体远处），最大最小网格比例设置为 5。



Δt 一般设置为最小网格的 0.8 倍。“时间步数* Δt *时间单位”为模拟过程对应的真实

时间长度，一般要求长于电磁波在物体尺度内来回 4 次所需的时间。对于脉冲型激励，也可以将时间步数设置得较大，并在“设置精度”部分（见 5.3 节）通过信号衰减 dB 值来控制仿真时间。当“步数”和“衰减 dB 值”中任意一个条件满足时，EastWave 结束仿真并开始后处理。

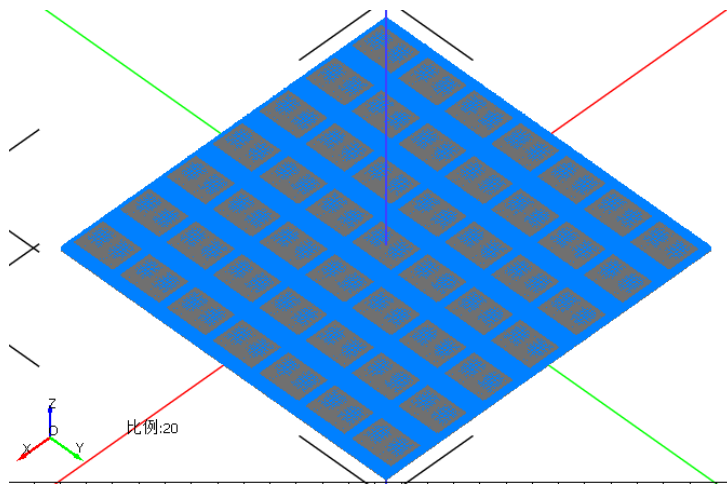
5.2. 网格剖分检查

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  可以隐藏模型而只显示网格。预览网格划分效果如下：



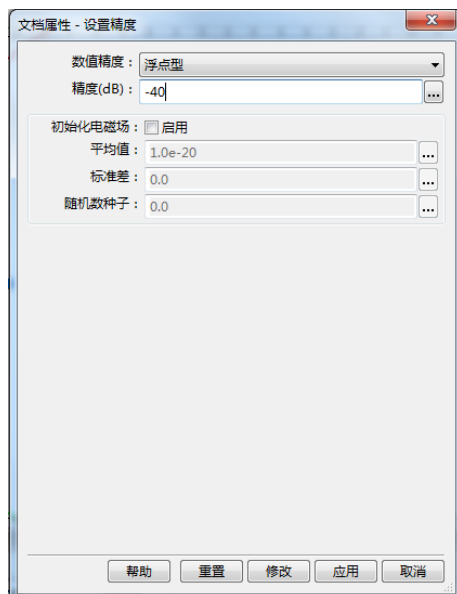
5.3. 设置数值精度

数值精度类型可以选择浮点型、双精度、复数浮点型、复数双精度。双精度型数据内存消耗为浮点型的两倍，复数型数据则分别相对于实数型内存消耗翻倍。绝大部分情况设置为浮点型即可满足计算精度，复数类型主要在使用 Bloch 边界条件时用到。

“精度 (dB)” 为 FDTD 仿真的收敛精度：对于脉冲类型激励，计算区域内电磁场总

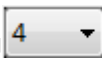

能量一般先增加后减小（能量在开放边界处衰减）。设置 dB 精度的情况下，若电磁场的总能量与峰值之比的 dB 值小于所设置的 dB 值，认为计算已经收敛，将提前结束计算。注意：dB 值应小于-20。如果不设置此 dB 精度（默认为 0），则按照网格设置中的总计算时间步数完成计算任务。设置精度可以通过如下方式设置修改：

- “工程管理窗口” → “天线阵（扫频扫角）” → “其他” → “精度”，鼠标右键 → “属性”；



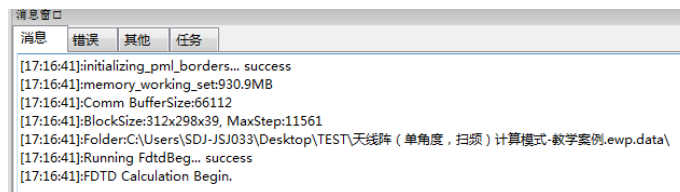
“数值精度”下拉菜单中选择“浮点型”，精度(dB)填写-40，即能量衰减到-40dB 时结束计算。点击“修改”，设置完成。

6. 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，任务窗口给出计算进度并且可右键管理任务。双击某个正在计算的计算任务或鼠标右键打开观察器以观察电磁波入射到物体上的实时变化情况。

6.1. 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 : 312×298×39 为 X、Y、Z 方向的网格数，MaxStep 为 FDTD 计算的总迭代步数（计算出的网格数和总迭代步数是在该版本下的结果，不同版本会有不同的小差异）。


网格的数量与内存的消耗直接相关，通常 200×200×200 的网格量（“浮点数”数值精度下）内存消耗约为 1GB，内存消耗随网格线性增长，一般建议 16GB 内存硬件条件，网格数量不要超过 500×500×500。此外，开放边界的 PML 层数、激励源与记录器的设置、特殊计算模式等对网格内存要求也有影响。

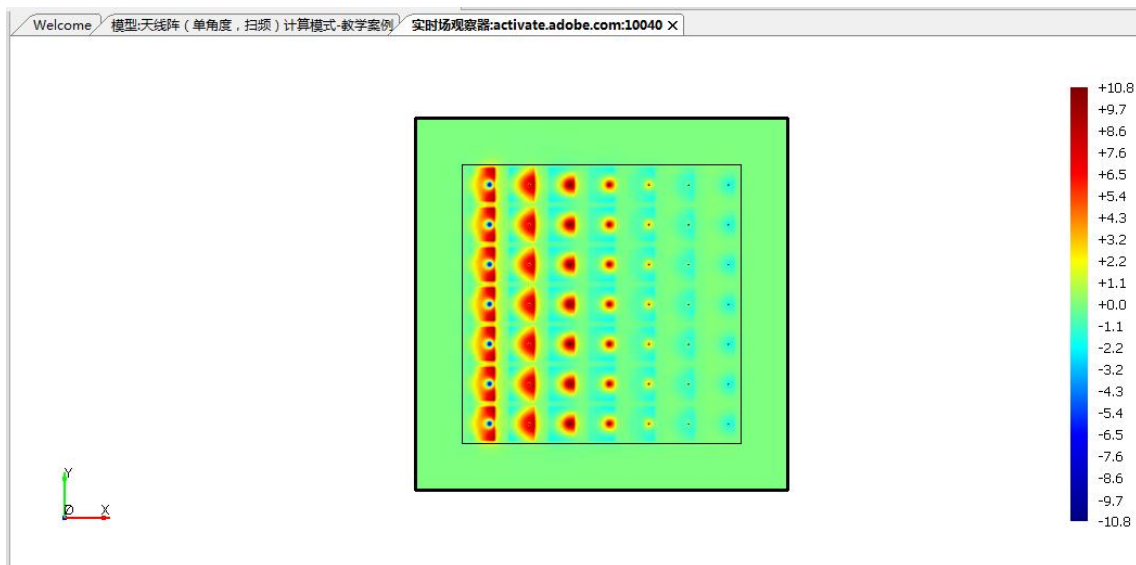
6.2. 计算进度

在界面下方消息窗口中点击“任务”，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：440/11561 表示预估总计算步数位 11561 步，因为设置了数值收敛精度，当前已计算 440 步，括号中 3.8% 为计算完成百分比。FPS 值 3.9 为当前时刻计算速度（每秒完成的计算步数），括号中 47.5m 为预估的剩余计算时间 47.5 分钟，因为设置了数值收敛，在场的总能量跟峰值之比对应的 dB 值低于 -40 时会自动结束计算。



6.3. 观察实时场

双击“任务”中的相应任务或点击工具条中 “”，可以观察电磁波的动态过程：

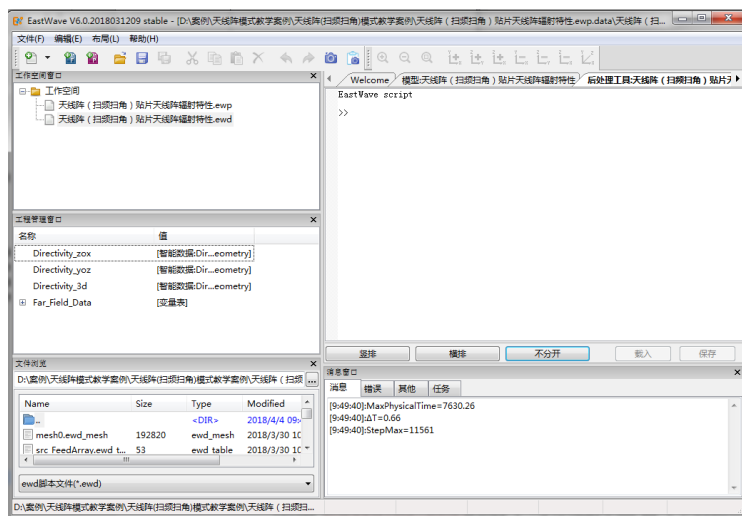


7. 查看计算结果

计算完成后,在“工作空间”生成“天线阵(单角度,扫频)贴片天线阵辐射特性.ewd”结果文件。可通过如下三种操作方式查看结果文件:

- ❑ 鼠标双击“天线阵(单角度,扫频)贴片天线阵辐射特性.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”;

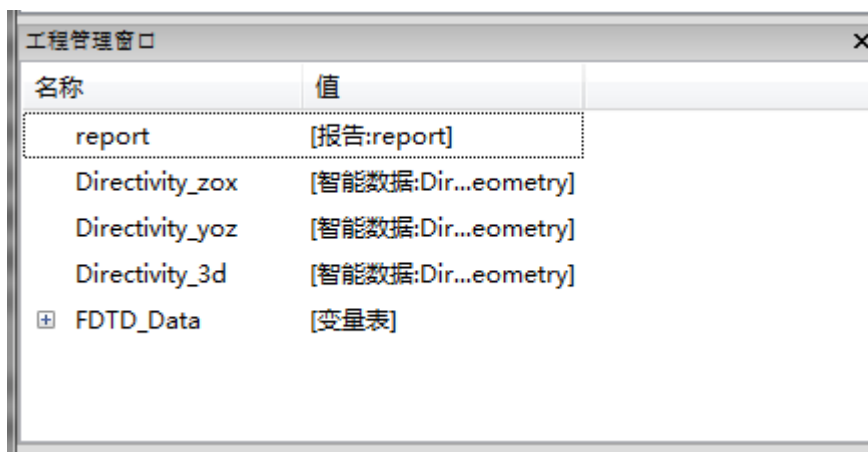
结果窗口如下。在结果窗口的右下角下挂仿真结果和数据。在结果窗口的右上角,工程师可以编辑后处理语言,对数据进行处理。



工程管理窗口下挂载数据树如下所示,工程师可以双击相应条目对计算结果或数据

进行查看：

工程管理窗口下挂载数据树如下所示，工程师可以双击相应条目对计算结果或数据进行查看：



report：屏幕输出信息记录；

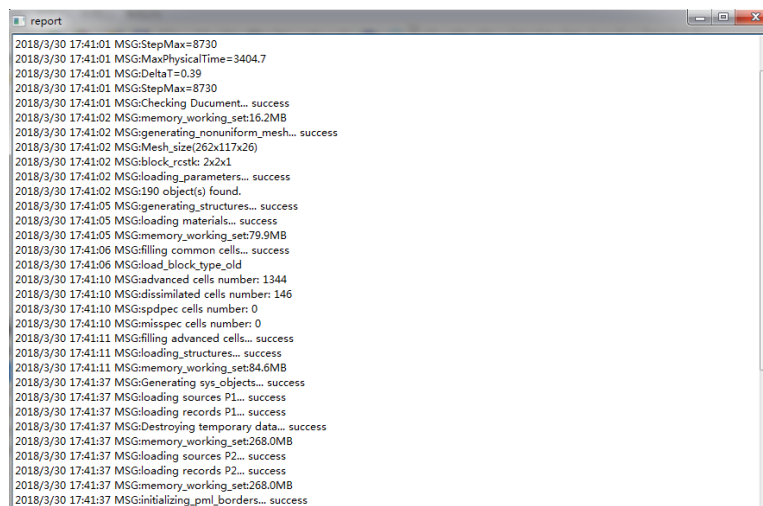
Directivity_zox：ZOX (Y=0) 面二维远场方向图。可选择不同频率，不同扫描角查看；

Directivity_yoz：YOZ (X=0) 面二维远场方向图。可选择不同频率，不同扫描角查看；

Directivity_3d：三维远场方向图，可选择不同频率，不同扫描角查看；

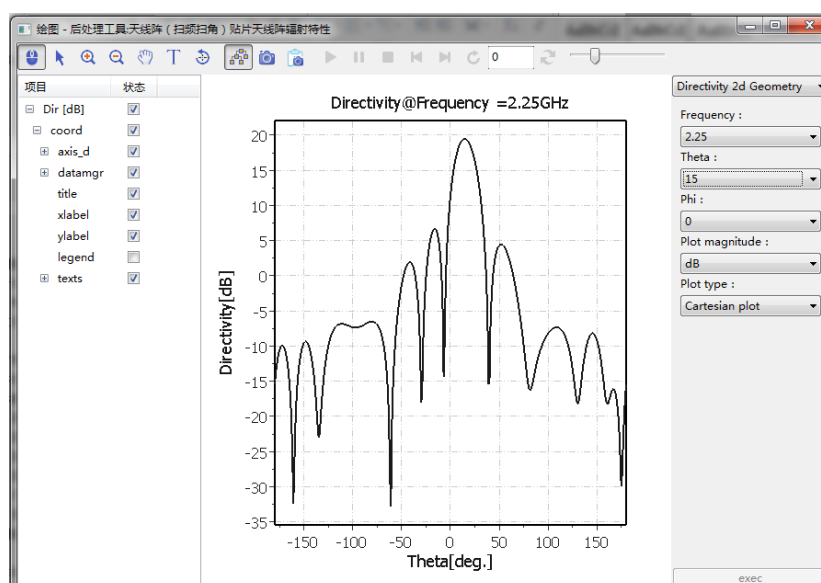
FDTD_data：高级用户脚本处理提供数据；

双击“report”，工程师可以查看计算进程，如下图



双击“Directivity_zox”，工程师可以查看不同频点不同扫描角度下的二维 ZOX 方向图。如下图，该图显示 2.25GHz，发射角 Theta=15 度，Phi=0 度的情况下，ZOX 二维方向图。该图形集成数据、数据处理和图形处理于一体，形成智能数据。在图形的左侧，

工程师可以对图中的线宽、图例、标题等进行设置。在图形的右侧，工程师可以选择发射角 Theta，发射角 Phi 等信息。



双击“Directivity_3d”，工程师可以查看不同发射角度下的三维方向图。如下图，该图显示 2.25GHz，发射角 Theta=0 度，Phi=0 度的情况下，三维方向图。该图形集成数据、数据处理和图形处理于一体，形成智能数据。在图形的左侧，工程师可以对图中的线宽、图例、标题等进行设置。在图形的右侧，工程师可以选择发射角 Theta，发射角 Phi 等信息。

