

# 天线阵（快速扫角）模式教学案例

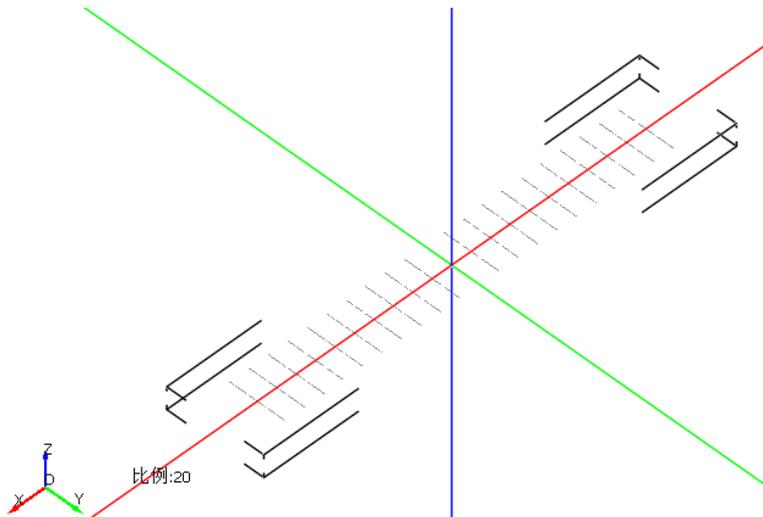
## 目录

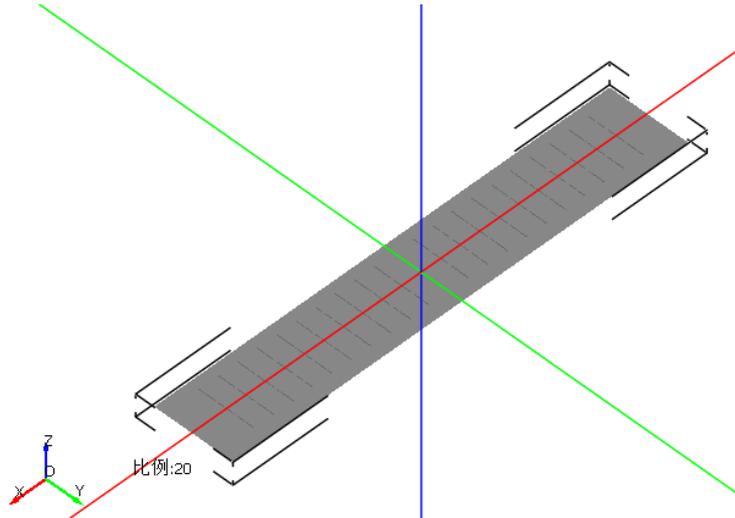
1. 概述 .....	1
2. 设置计算模式及参数 .....	2
3. 建立模型 .....	5
4. 修改计算模式参数设置 .....	10
5. 设置网格 .....	13
6. 启动计算 .....	17
7. 查看计算结果 .....	19

关键字：偶极子天线阵、辐射特性、方向图

## 1. 概述

本案例使用“天线阵（快速扫角）”计算模式计算偶极子天线阵的辐射特性，该计算模式计算相控天线阵列在指定频率下，不同发射角的方向图及相关结果，可一次计算完成多个角度扫描。模型示意如下：





21x3 偶极子天线阵由 63 个偶极子天线单元组成，单个偶极子天线的工作频率为 10GHz，偶极子天线阵元长度约等于半个波长，宽度等于 0.5mm，材料为 pec，振子沿 Y 轴方向，偶极子下面方块是金属底板，材料也为 pec。在 FDTD 仿真中，用细金属棒连通偶极子天线两金属臂，使用集总端口馈电。

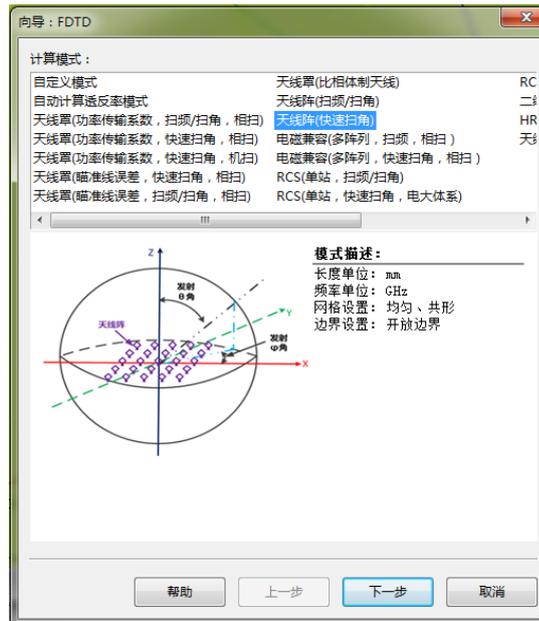
案例仿真流程如下：

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

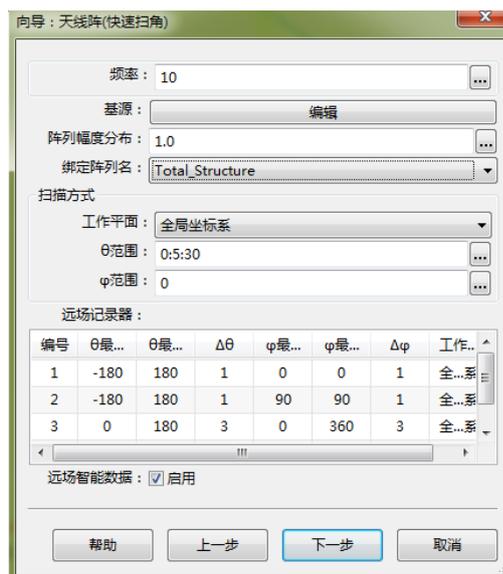
## 2. 设置计算模式及参数

### 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（快速扫角）模式”：



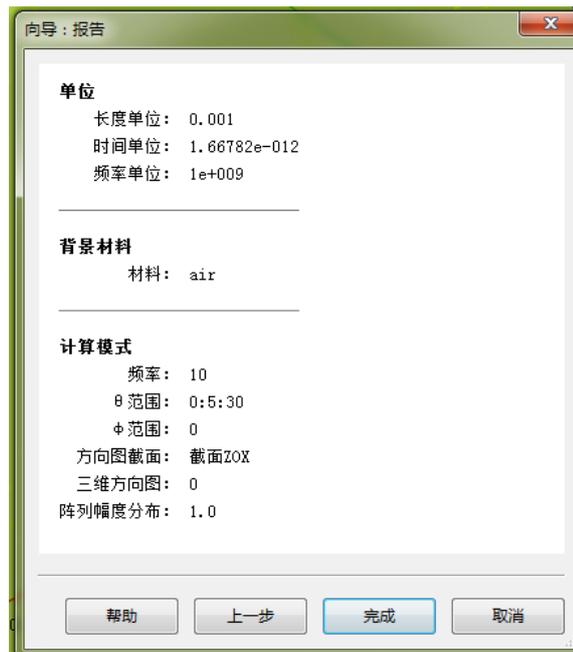
□ 点击“下一步”，进入“天线阵（快速扫角）”模式：



进行向导之后，频率为 10GHz，其他一些参数不确定，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：

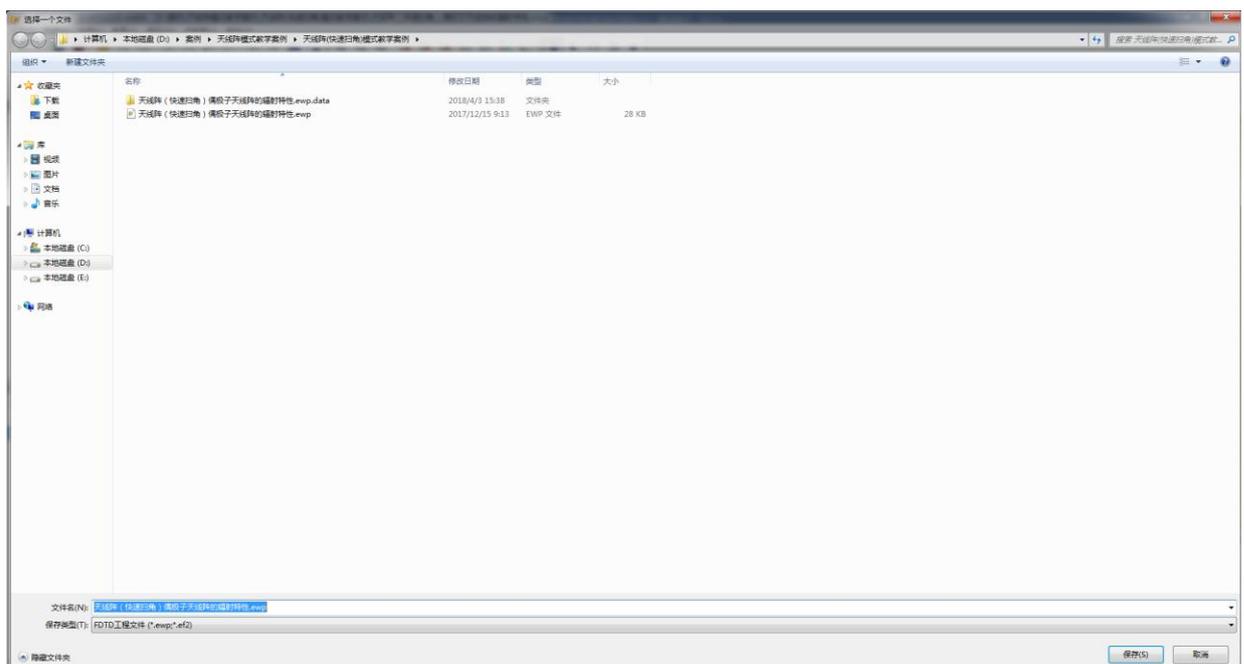


“天线阵（单频，扫角度）”模式里，默认长度单位设置为 mm，时间单位设置为自动关联，频率单位设置为 GHz。背景材料为空气，其他参数是默认值，点击“完成”即可开始建模。

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. 建立模型

#### 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
f	10	10	偶极子工作频率
lam	$C0/(f*UF)/UL$	29.9792	波长
l	$0.41*lam$	12.2915	偶极子长度
w	0.5	0.5	偶极子宽度
h1	0.5	0.5	馈电中心距离
w1	0.1	0.1	馈线宽度
gx	350	350	金属地板长度
gy	60	60	金属地板宽度
gh	1	1	金属地板厚度
		---	

#### 3.2. 建立偶极子天线单元

本案例通过“圆柱体”建立偶极子天线的直导线，可以采用如下四种操作方式：

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

一根直导线命名为“Light”：



“材料”下拉菜单中选择材料 pec，中心坐标为  $(0, h1/2+l/4, 0)$ ，宽度为  $(w, l/2, w)$ ，轴向沿 Y 轴。

按同样的方式，建模另外一根直导线，命名 “Right”：



“材料”下拉菜单中选择材料 pec，中心坐标为  $(0, -h1/2-l/4, 0)$ ，宽度为  $(w, l/2, w)$ ，轴向沿 Y 轴。

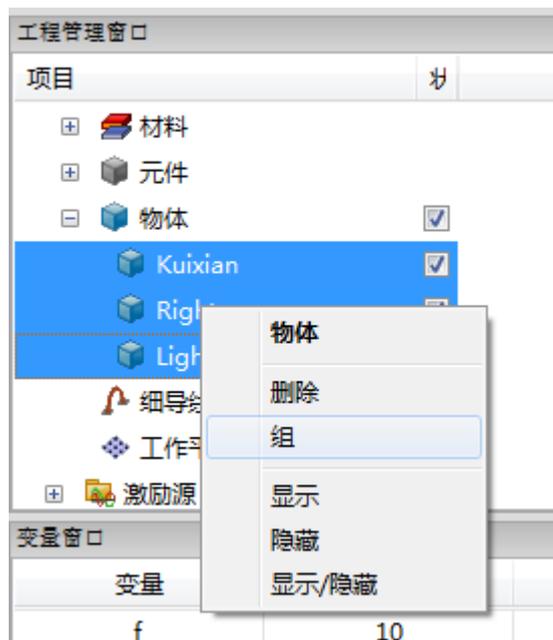
通过 “圆柱体” 建立偶极子天线两个直导线中间两端点之间的馈线，命名 “Kuixian”



“材料”下拉菜单中选择材料 pec，中心坐标为  $(0, 0, 0)$ ，宽度为  $(w1, h1, w1)$ ，轴向沿 Y 轴。

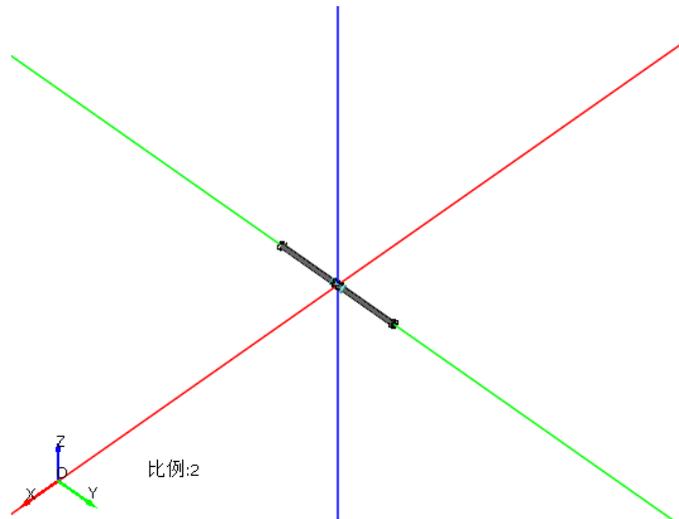
### 3.3. 打包天线阵元

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。按住键盘“Ctrl”键，鼠标单击选中“Light”、“Right”、“Kuixian”三个物体，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”。

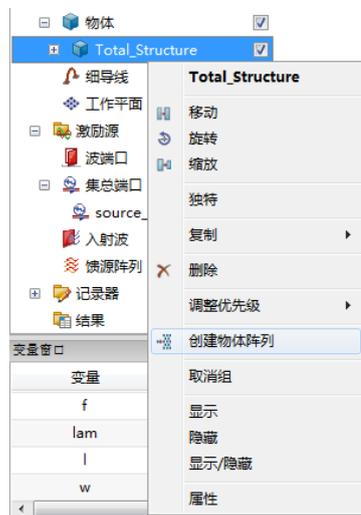
沿 Y 轴向的偶极子天线建立完成后如下图所示：



### 3.4. 创建阵列模型

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 10 个单元，Y 正负方向各扩展 1 个单元，创建 XY 平面内的  $21 \times 3$  阵列，单元间隔 15mm（约为半波长）。

“晶格矢量”设置：取第一个延拓维度“列”的平移矢量为  $(15, 0, 0)$ ，即相邻周期单元在 X 方向相差 15mm，Y、Z 方向坐标相同；第二个延拓维度“行”的平移矢量为  $(0, 15, 0)$ ，即相邻周期单元在 Y 方向相差 15mm，X、Z 方向坐标相同。

“填充”设置：“列范围”设置为  $(-10, 10)$ ，表示按“列”矢量向矢量的负方向和正方向各扩展 10 个周期单元。“行范围”设置为  $(-1, 1)$ ，按“行”矢量正负扩展一个周期单元。此处仅需向两个维度扩展，无需使用“层”设置。

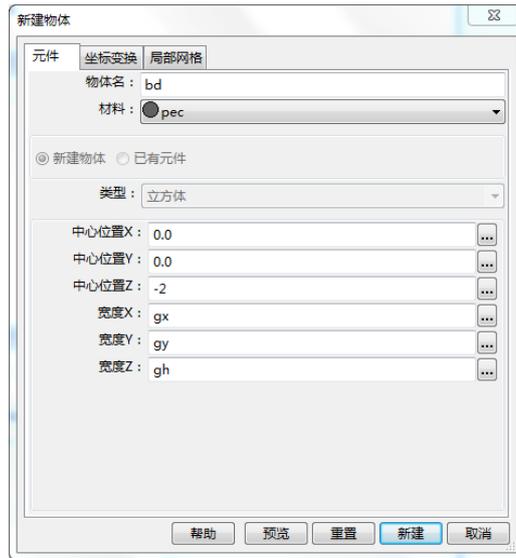
点击确定得到  $21 \times 3$  阵列。

### 3.5. 创建金属底板

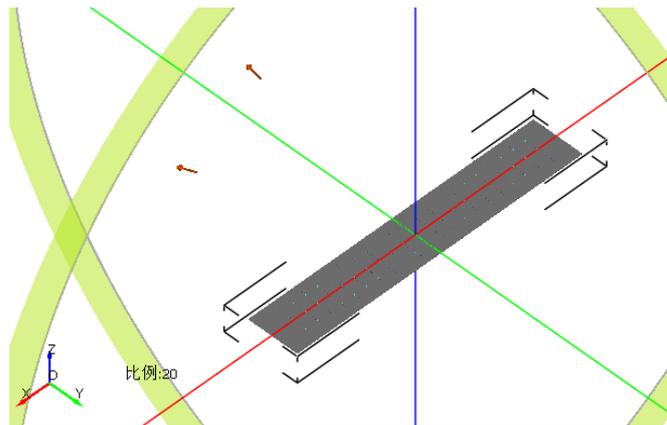
在偶极子阵列下面加上金属底板，具体操作如下：

- “工程管理窗口” → “结构”，鼠标右键 → “新建结构”，类型 → “立方体”；

本案例通过“立方体”建立偶极子天线阵列下面的金属底板，命名“bd”：



“材料”下拉菜单中选择材料 pec，中心坐标为  $(0, 0, -2)$ ，宽度为  $(gx, gy, gh)$ 。模型完成后界面如下：



## 4. 修改计算模式参数设置

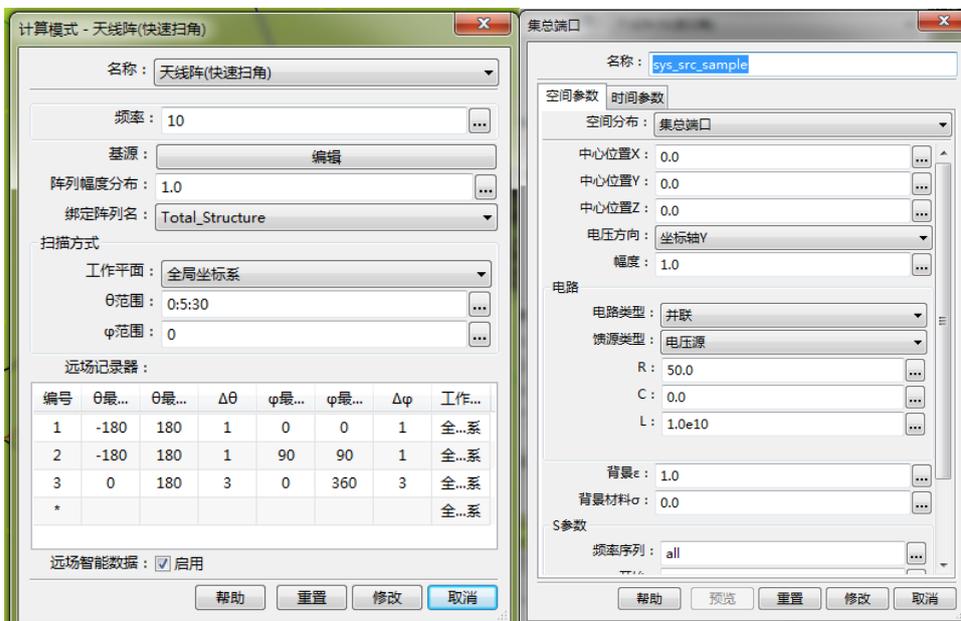
### 4.1. 修改模式参数

在“工程管理窗口”下→ 双击“天线阵（快速扫角）”模式，修改参数如下；



频率：10（单位为 GHz）

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（0，0，0），电压方向沿 Y 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”。



相控天线阵模型需要设定伴随阵列的阵列馈源，并且可通过调节阵列馈源的相位分布实现相控阵角度扫描。若逐一设置馈源单元将非常繁琐，EastWave 天线阵模式中，可以根据用户设置的“基源”和“天线模型阵列”自动生成阵列馈源，并根据扫描角自动设

置阵列馈源上的相位分布，大大简化天线阵的仿真。

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。

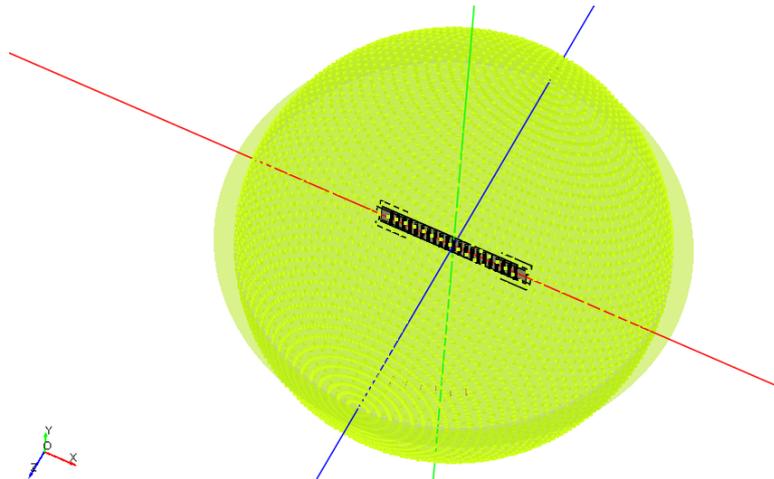
绑定阵列名：Total\_Structure

$\theta$ 、 $\varphi$  范围为相控阵扫描角度范围，输入形式为：起始角度：角度间隔：终止角度。例如  $\theta$  范围 (0:5:30) 表示从  $0^\circ$  到  $30^\circ$  度，扫描间隔  $5^\circ$  度。 $\varphi$  角度设置为单个角度  $0^\circ$ 。根据用户输入的模式参数“ $\theta$ 、 $\varphi$ ”的角度范围，控制馈源阵元单元间的相对相位实现定向发射

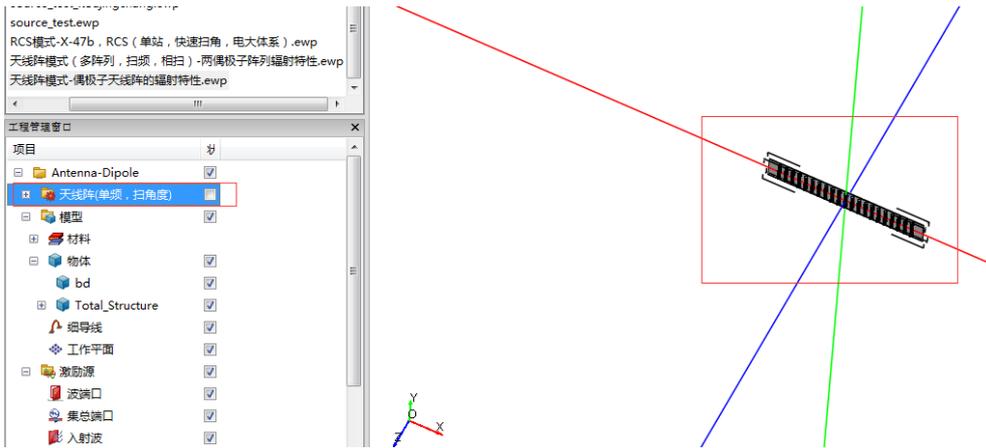
远场记录器：该计算模式默认有三个记录器，用户也可以根据自己需要自己设置。根据用户输入的参数“ $\theta$ 、 $\varphi$ ”的角度范围，天线阵单角扫频模式“远场记录器”记录两个二维和一个三维方向图（对应输入“角度序列”所指定的角度，每个角度一个方向图），本例中修改第三个记录器，输入  $\theta$  范围从  $0^\circ$  到  $180^\circ$ ， $\varphi$  范围从  $0^\circ$  到  $360^\circ$ ，间隔  $3^\circ$ 。

点击“修改”，即完成“天线阵（单频，扫角度）”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：

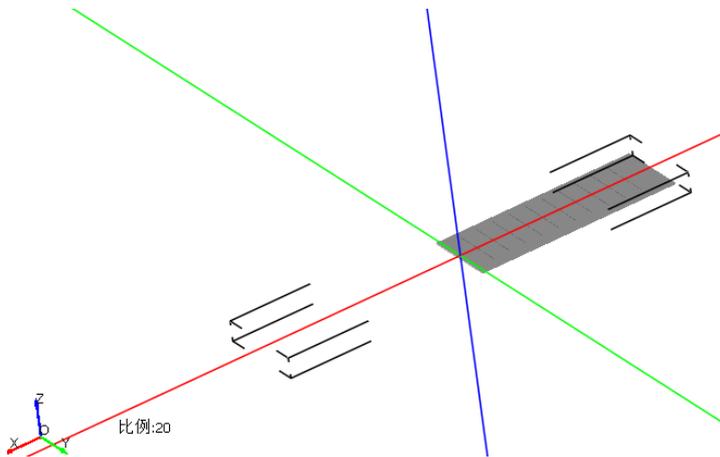
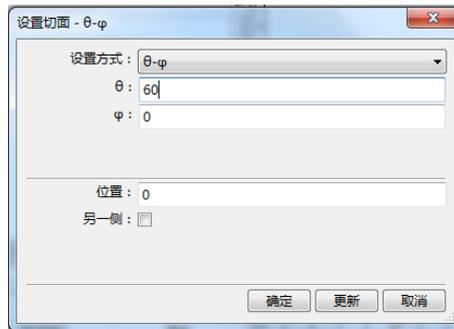


如果用户不想看到远场角度信息，可以勾除掉计算模式节点“天线阵（单频，扫角度）”模式，如下图：



## 4.2. 模型切面查看

- 直接点击工具条中的 ，设置切面，点击“确定”即可用来查看模型截面特性；



## 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

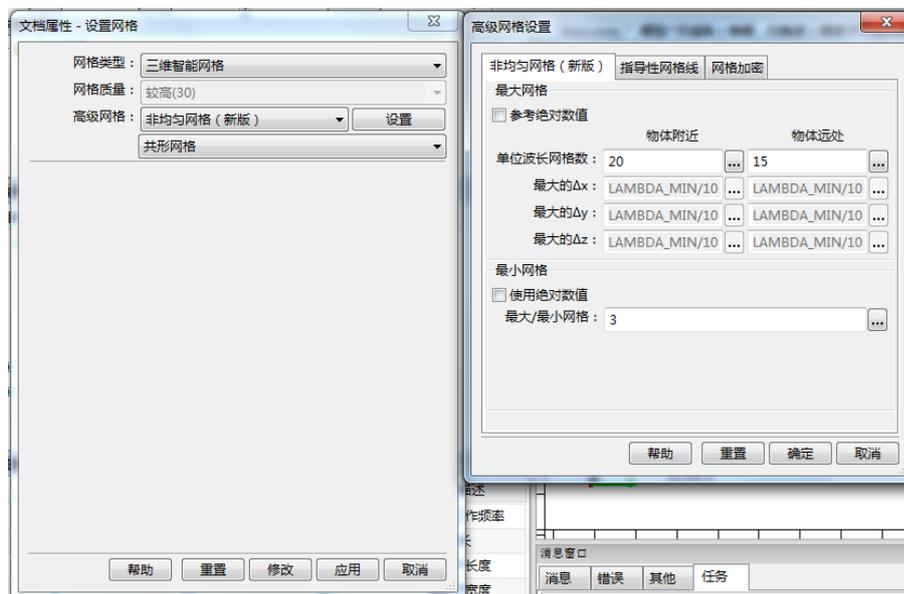
完成划分。用户也可选择自定义网格，可以控制每个维度的计算范围和网格数，并可以修改仿真时间步长和总时间步数。

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“元件模块”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：

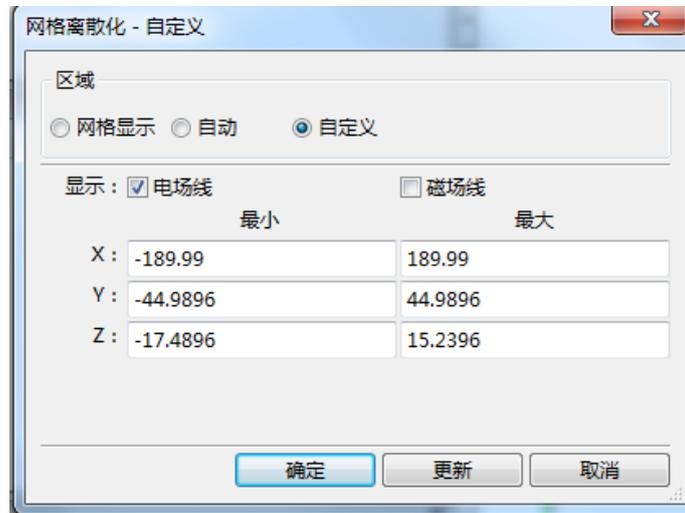
- “求解器” 菜单 → 选择 “设置网格”；
- “工程管理窗口” → “自定义模式” → “网格”，鼠标右键 → “属性”；
- 智能助手：“定义网格”；
- 打开网格设置对话框，选择 “非均匀网格策略二”
- 启用共形网格
- 点击非均匀网格的 “设置”，进入参数设置
- 将最大网格的每波长格子数设置成 20（物体附近）/15（物体远处），最大最小网格比例设置为 3。



该计算模式根据计算区域和物体自动生成频域远场记录器。默认的“智能网格”设置下计算区域边界以物体最大包围框向外延拓  $\lambda/2$ ，若选择了“自定义网格”修改了计算区域边界，建议不要使物体超出计算区域边界，否则可能引起计算错误。

## 5.2. 网格剖分检查

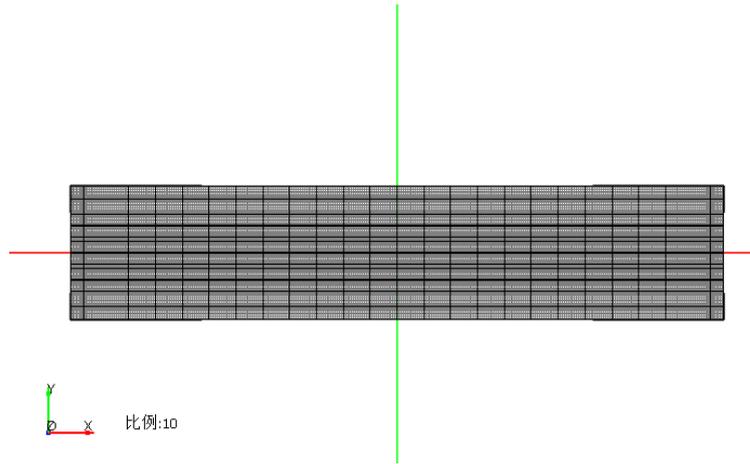
网格精度设置完后，启动计算前可预览网格划分情况，点击 ：



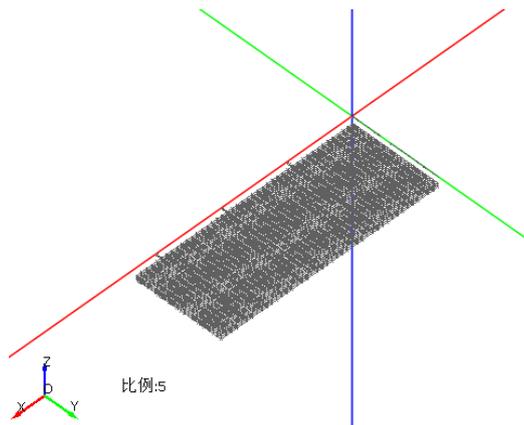
该对话框用于设置预览网格区域的范围，可以指定预览模型空间的一个子区域。

网格显示：可以选择显示不同位置的不同截面（截面 XOY、截面 YOZ、截面 ZOX）网格划分情况。

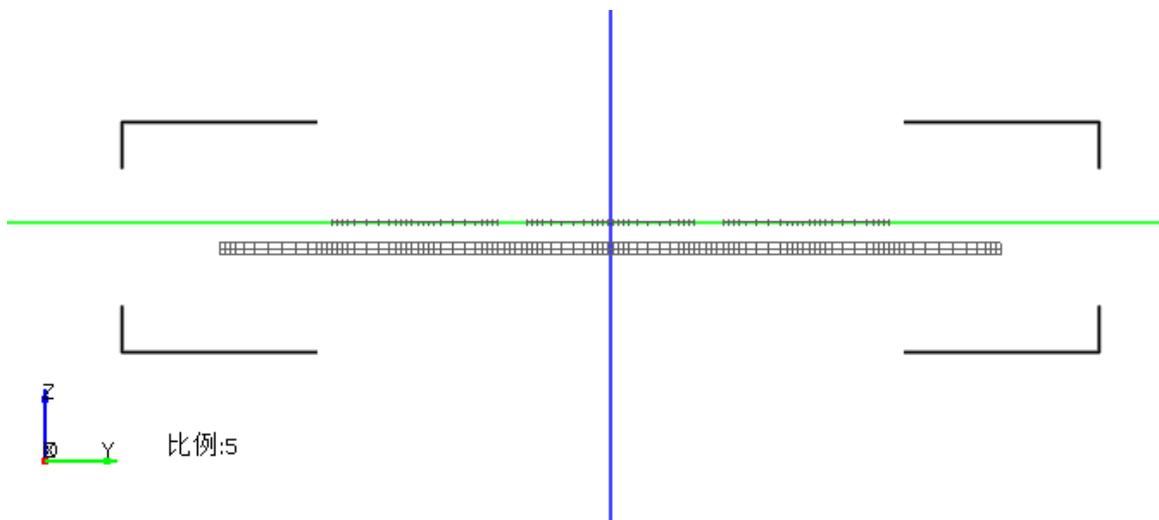




自定义：可以选择一个子区域显示网格划分情况，点击可以隐藏模型而只显示网格



自动：显示整个计算区域的网格，点击可以隐藏模型而只显示网格。预览网格划分效果如下：



可见每个偶极子天线单元都已有效识别。对于天线阵，需要特别注意网格，保证每个天线单元的馈源处网格划分正确正常馈电。特别复杂的天线阵，网格划分需要一定技巧，建议联系 EastWave 工程师协助。

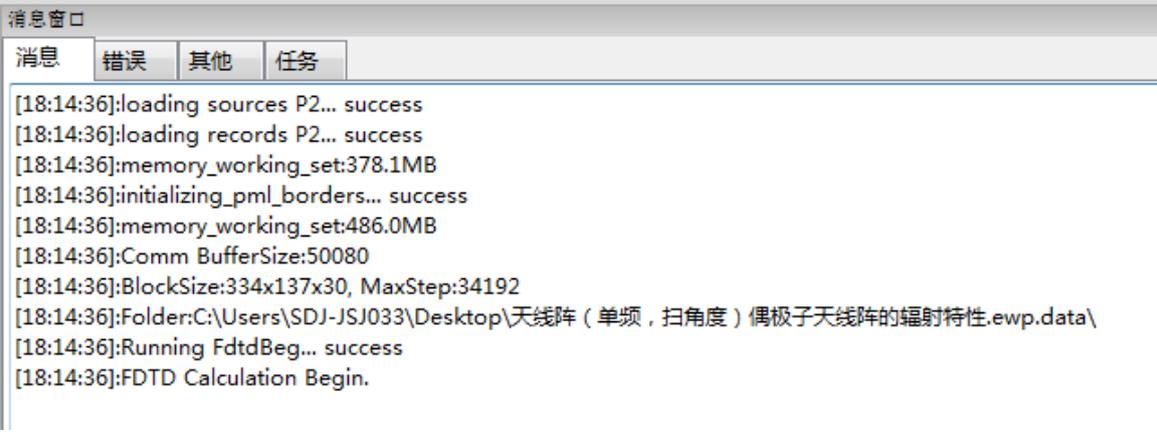
## 6. 启动计算

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，计算任务管理窗口给出计算进度并且可右键管理任务。双击指定的计算任务或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。



```

消息窗口
消息 错误 其他 任务
[18:14:36]:loading sources P2... success
[18:14:36]:loading records P2... success
[18:14:36]:memory_working_set:378.1MB
[18:14:36]:initializing_pml_borders... success
[18:14:36]:memory_working_set:486.0MB
[18:14:36]:Comm BufferSize:50080
[18:14:36]:BlockSize:334x137x30, MaxStep:34192
[18:14:36]:Folder:C:\Users\SDJ-JSJ033\Desktop\天线阵(单频,扫角度)偶极子天线阵的辐射特性.ewp.data\
[18:14:36]:Running FdtdBeg... success
[18:14:36]:FDTD Calculation Begin.

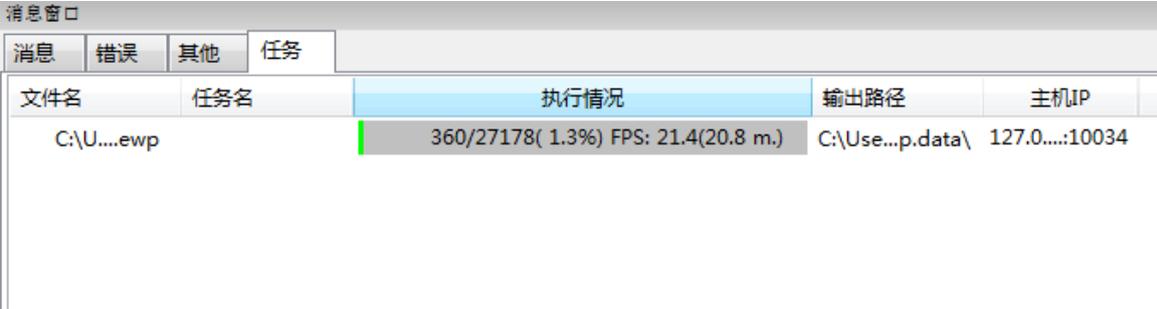
```

其中 BlockSize : 226x117x36 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）。

需要注意：网格的数量与内存的消耗直接相关，通常 200x200x200 的网格量(单精度数值精度下)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 x 500 x 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

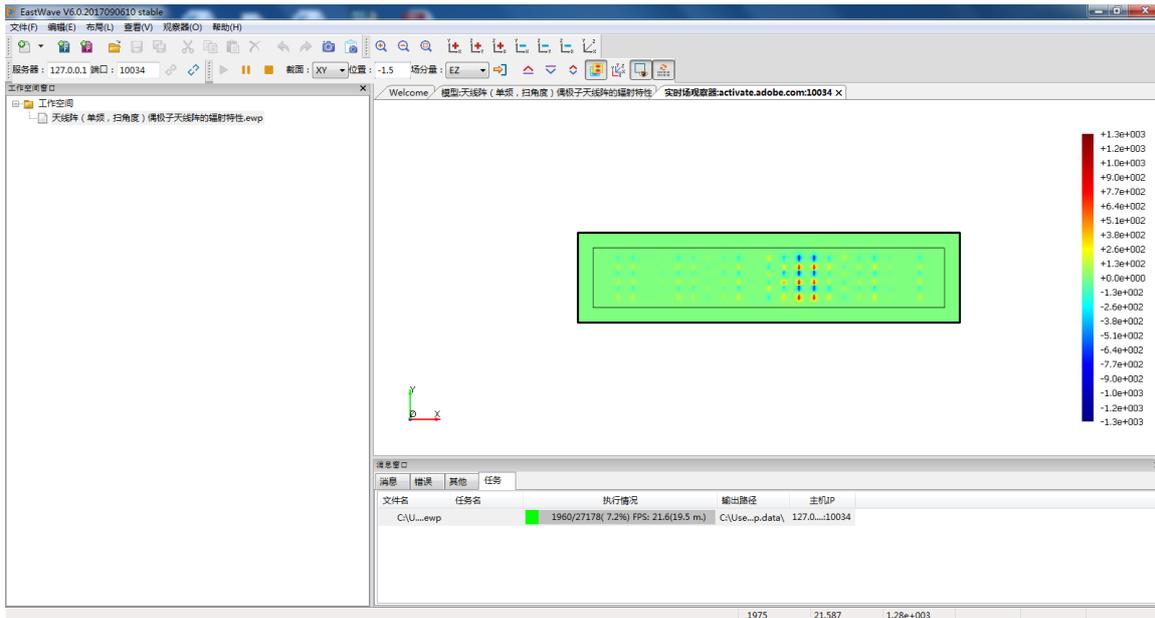
在界面下方消息窗口中点击“进度条”，可以观察计算任务的完成情况，或右键管理任务。例如下图进度条中：360/27178 表示预估总计算步数位 27178 步，当前已计算 360 步，括号中 1.3% 为计算完成百分比。FPS 值 21.4 为当前时刻计算速度（每秒完成的计算步数），括号中 20.8m 为预估的剩余计算时间 20.8 分钟。



文件名	任务名	执行情况	输出路径	主机IP
C:\U....ewp		360/27178( 1.3%) FPS: 21.4(20.8 m.)	C:\Use...p.data\	127.0....:10034

## 6.3. 观察实时场

双击“进度条”中相应任务进度条，可以观察电磁波动态过程：



上图界面为实时场观察器界面，场区域内的黑色线条为物体边界，图中场图为按高度/颜色显示的效果，可以很清楚的看到天线阵的辐射特性。

工具条中，**截面：** **位置：** **场分量：**     分别为观察截面、观察截面的位置、观察场分量、前三项设置提交生效按钮 。例如本案例，偶极子天线的极化为  $E_y$ ，选择观察 XY 或 YZ 可看到偶极子天线的辐射特性，截面位置应在计算区域范围内 ( $-17 \sim +15$ )，场分量为对应的  $E_y$  分量。

## 7. 查看计算结果

计算完成后，在“工作空间”生成“天线阵(快速扫角)偶极子天线阵的辐射特性.ewd”结果文件。可通过如下方式查看结果文件：

- ❑ 鼠标双击“天线阵(快速扫角)偶极子天线阵的辐射特性.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。

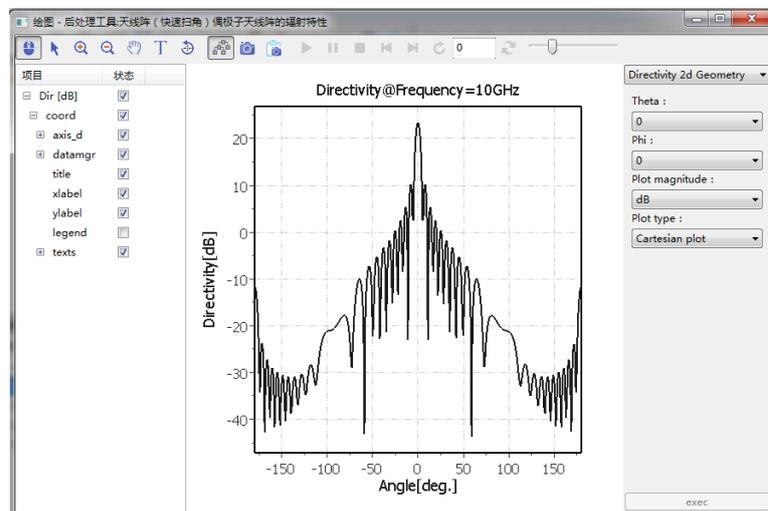


Directivity\_yoz : YOZ ( X=0 ) 面二维远场方向图。可选择不同频率，不同扫描角查看；

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“Directivity\_zox”，工程师可以查看不同发射角度下的二维方向图。如下图，该图显示 10GHz，发射角 Theta=0 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。在不同状态下，显示 ZOX 二维方向图。



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 10GHz，发射角 Theta=10 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。在不同状态下，显示三维方向图。

