

偶极子天线

目录

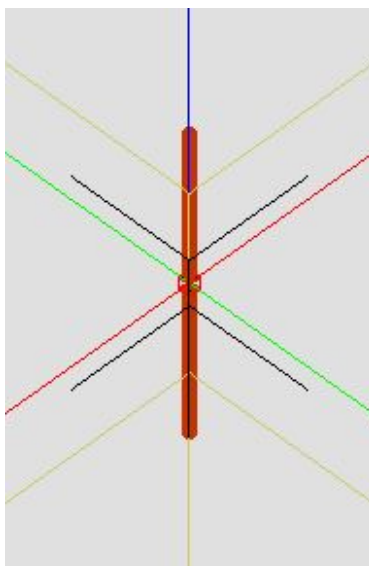
1. 概述.....	1
2. 设置计算模式及参数.....	2
3. 建立模型.....	6
4. 设置激励源和记录器.....	9
5. 设置网格.....	12
6. 启动计算.....	15
7. 查看计算结果.....	17

关键字：偶极子天线、频域远场记录器、辐射方向图、驻波比

1. 概述

本案例使用“自定义模式”计算偶极子天线的辐射方向图、馈源 S11 和驻波比。

模型示意图：




偶极子天线是两臂由两根直径和长度相等的直导线组成的天线，即中心馈电的对称阵子。工作频率 10GHz，总长度约等于半个波长，宽度等于 0.5mm，材料为 pec（完美电导体），沿 Z 轴方向。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，并建立[频域]远场记录器记录天线辐射方向图。

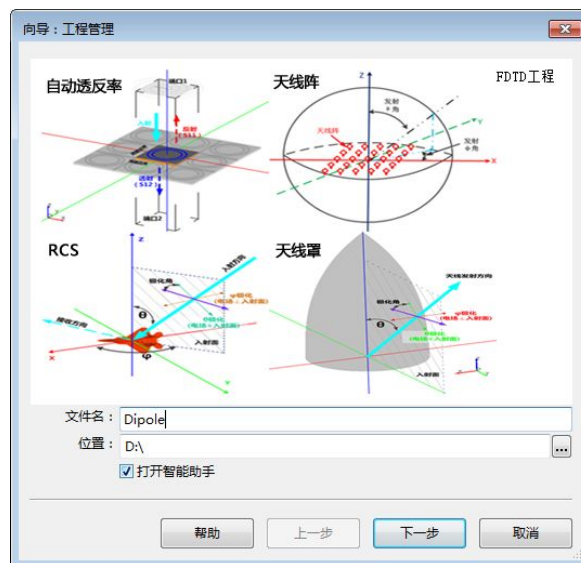
案例仿真流程如下：

- 设置计算模式及参数
- 建模
- 设置激励源和记录器
- 设置网格
- 启动计算
- 查看计算结果

2. 设置计算模式及参数

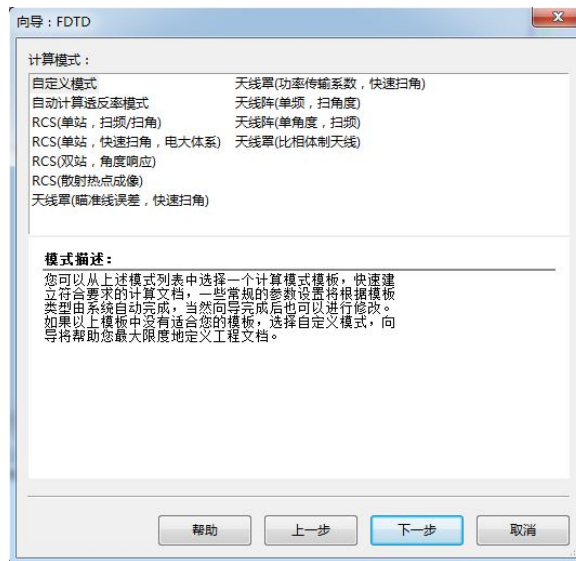
2.1. 新建工程文档

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的“打开智能助手”。

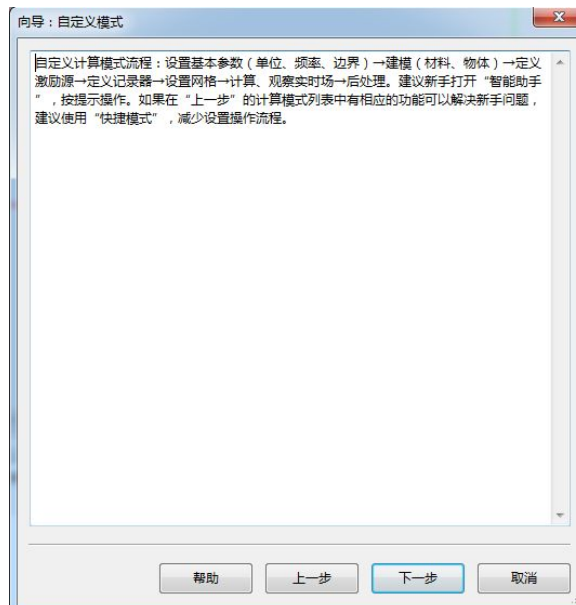


2.2. 选择计算模式

点击“下一步”，进入工作模式菜单，选择“自定义模式”：

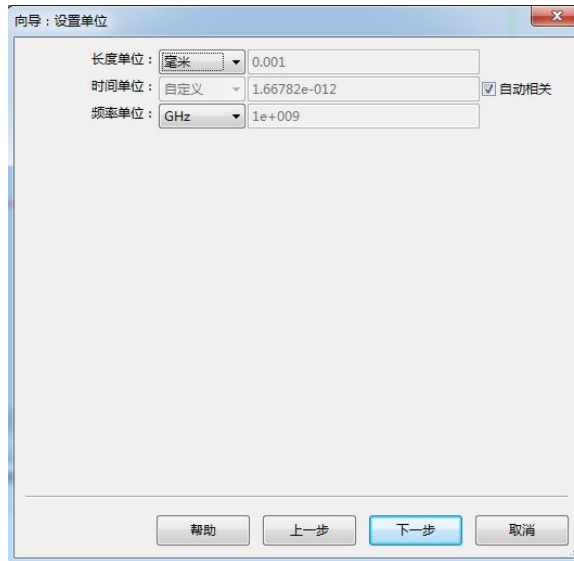


- 点击“下一步”，给出自定义计算模式流程：



2.3. 设置单位及计算参数

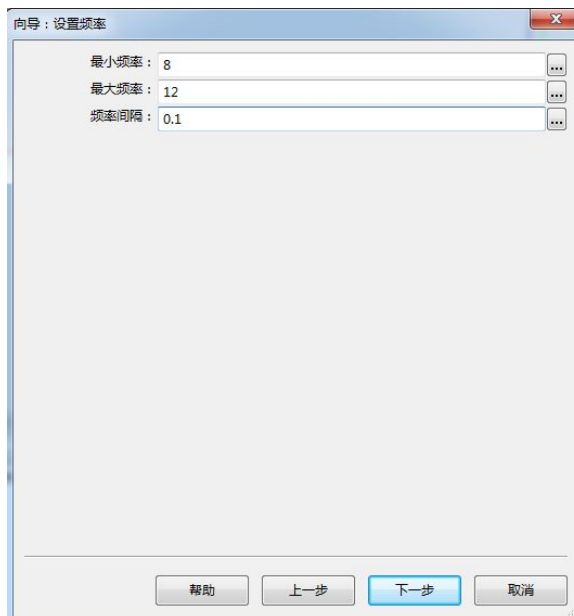
- 点击“下一步”，设置工程相关单位：



本案例偶极子天线工作频率为 10GHz 附近，波长 λ 约为 30mm，长度单位设置为 mm 更为方便，时间单位设置为自动关联，频率单位设置为 GHz。

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。

□ 点击“下一步”，设置仿真关心的频率范围：

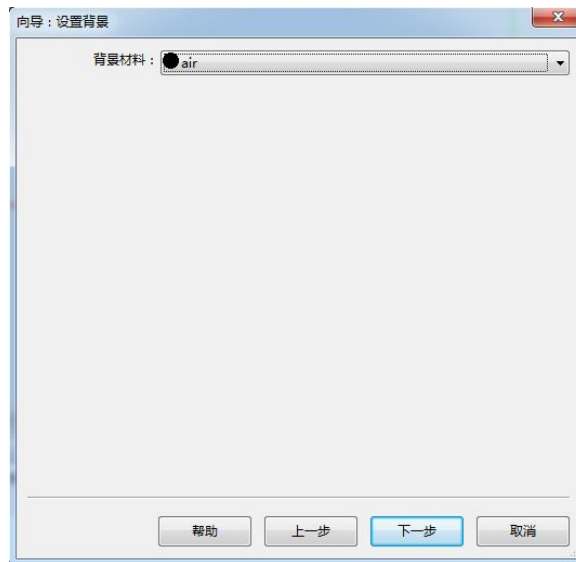


本案例中偶极子天线所关心的频率范围：8-12GHz，间隔 0.1GHz，设置见上图。此处设置的频率范围在 EastWave 中称为“文档频率范围”，对应“最大频率”的波长将作为 FDTD 网格的划分参照波长（例如，网格为波长的 1/20）。频率越高（波长越小）则网格越小，同样物理尺寸的结构需要的网格数越多（计算量越大）。一般建议“最大/最小频

率”不要超出关心频率上/下限的 20%。

“频率间隔”对应方向图、S11 等的频谱的频率分辨率。越高的频率分辨率，需要的仿真时间越长。除非存在高品质因子共振响应等需要极高频率分辨率的情况，一般建议频率间隔不要小于中心频率的 1/100。

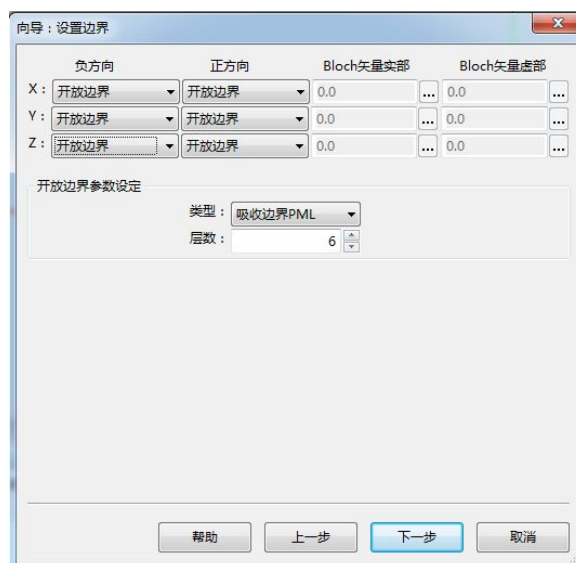
- 点击“下一步”，设置背景材料：



本案例背景材料为空气，使用默认设置即可。

2.4. 设置边界条件

- 点击“下一步”，设置边界条件：

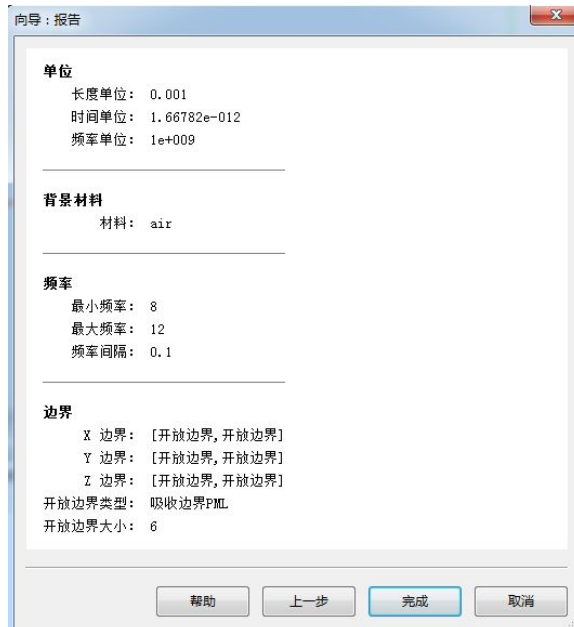


本案例将 X、Y、Z 方向设置为开放边界。FDTD 开放边界基于吸收匹配，通常使用

默认的吸收边界设置即可 (PML 类型说明参见 EastWave 帮助手册)。

2.5. 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：

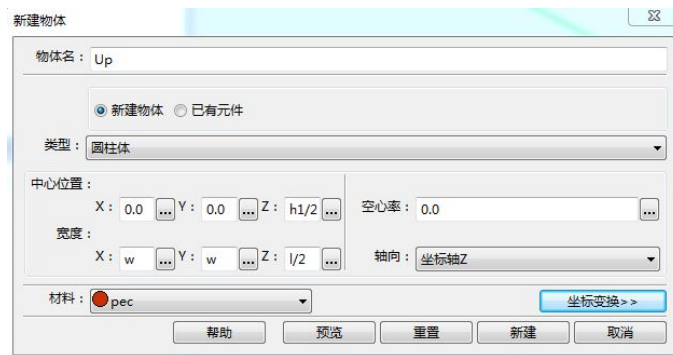
变量	值	详细描述
f	10	偶极子工作频率
lam	$C0/(f*UF)/UL$	波长
l	$0.45*lam$	偶极子长度
w	0.5	偶极子宽度
h	1	馈线长度
h1	0.5	馈电中心距离
w1	0.25	馈线宽度

3.2. 新建模型

本案例通过“圆柱体”建立偶极子天线一个直导线，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”；

直导线命名为“Up”：

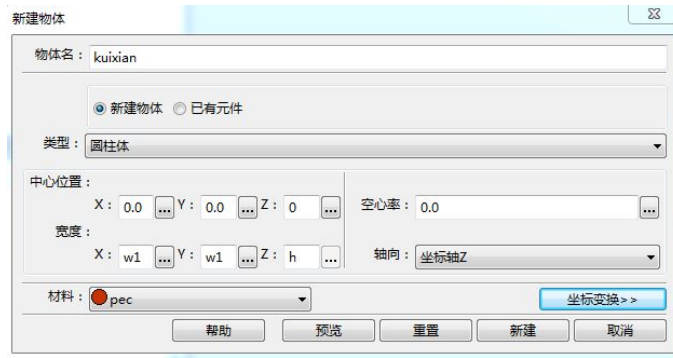


“材料”下拉菜单中选择材料 pec，中心坐标为 $(0, 0, h1/2 + 1/4)$ ，宽度为 $(w, w, l/2)$ ，轴向沿 Z 轴。

按同样的方式，建模另外一根直导线，命名“down”：

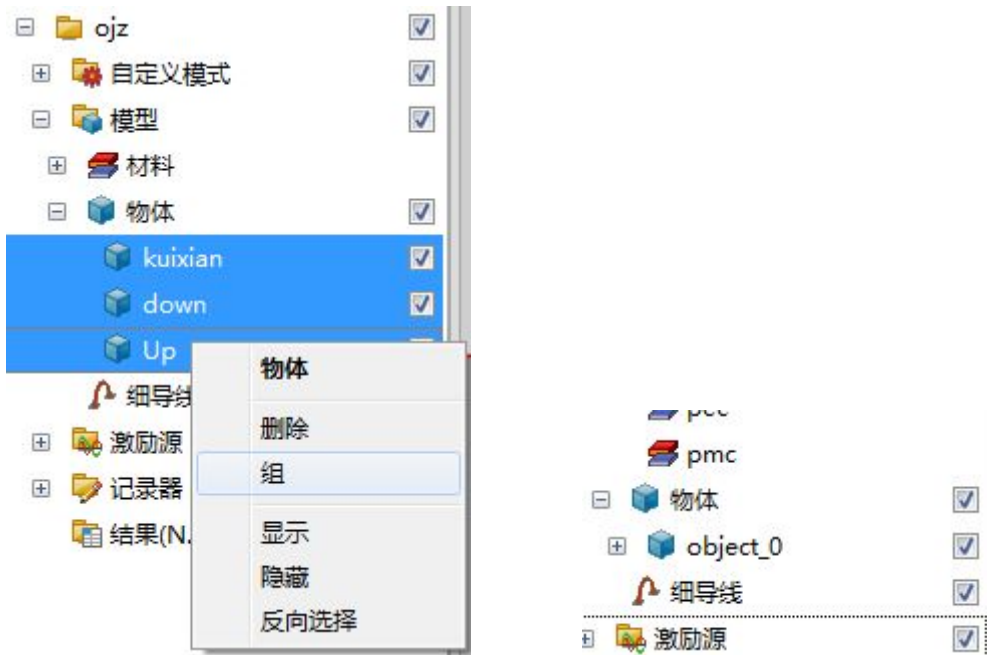


通过“圆柱体”建立偶极子天线两个直导线中间两端点之间的馈线，命名“kuixian”



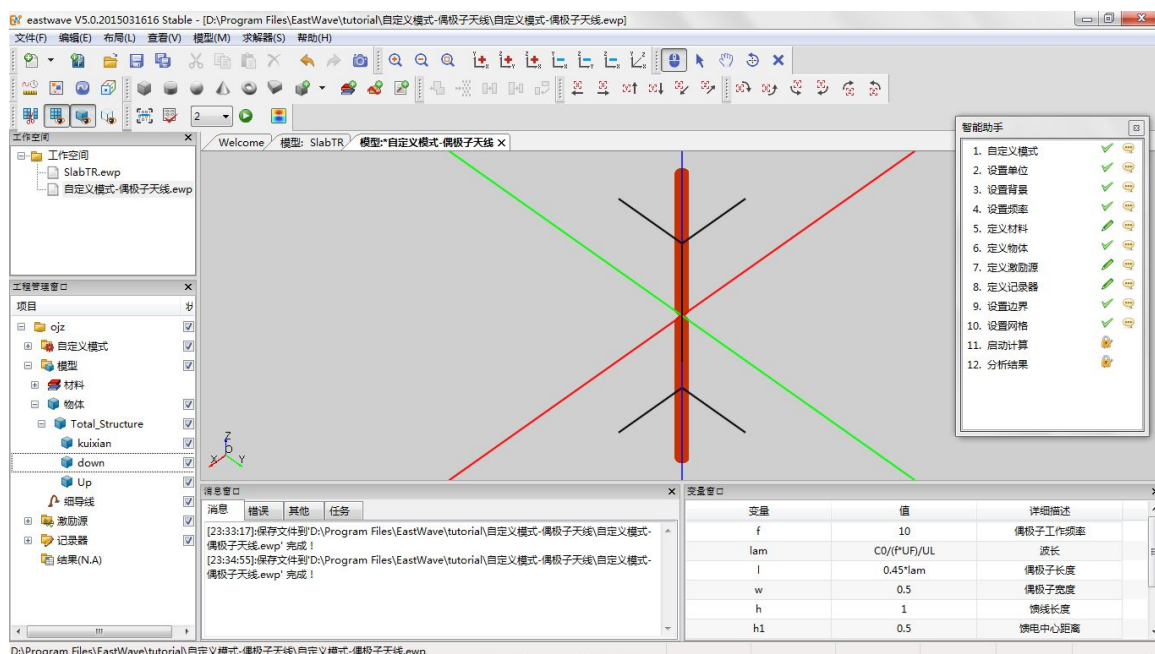
“材料” 下拉菜单中选择材料 pec，中心坐标为 (0 , 0 , 0)，宽度为 (w1 , w1 , h)，轴向沿 Z 轴。

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 “Up”、“Down”、“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”。

模型完成后界面如下：




4. 设置激励源和记录器

自定义模式中，需要自己设置激励源和记录器。本案例在偶极子天线两个直导线之间馈接交变电压源，使用集总端口激励源，并且建立“[频域]远场记录器”，用于记录远场电磁信号。仿真计算结束后可以得到三维方向图、馈源 S11 和驻波比。

4.1. 添加激励源

新建集总端口可以通过如下四种操作方式：

- 直接点击工具条“新建激励源”图标  → 选择空间分布“集总端口”；
- “工程管理窗口” → “激励源” → “集总端口”，鼠标右键 → “集总端口”；
- “求解器”菜单 → 选择“新建集总端口”；
- 智能助手：“定义激励源” → 选择空间分布“集总端口”；

选择任意方式打开“激励源-集总端口”对话框，命名“source_1”：




“时域波形”下拉菜单中选择“高斯脉冲”，修改关注的频率范围，该激励源频率应该在此前设置的文档频率范围之内。中心时间表示高斯脉冲幅度时间函数的中心时间 t_0 。半宽时表示振幅从最大值 1 变为 $1/e$ 时震荡所持续的时间。详细参数说明可以参考 EastWave 帮助手册“激励源模块”。

此处选择类型为“频率”，直接输入文档频率中的最小频率“8”和最大频率“12”，单位均为文档单位 GHz。

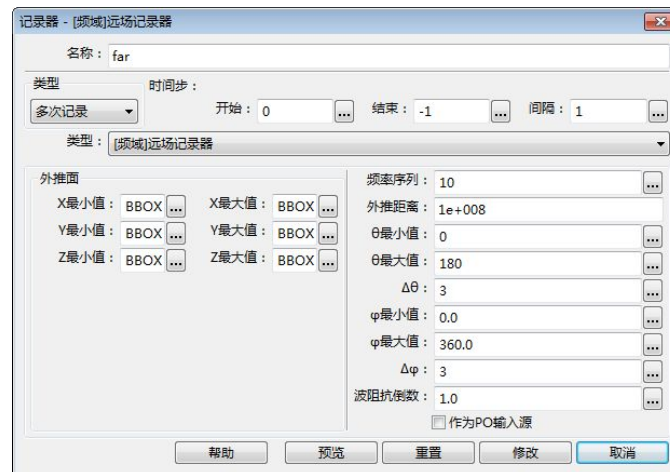
“空间分布”下拉菜单中选择“集总端口”，设置中心坐标 $(0, 0, 0)$ ，以及电压方向，幅度设置为 1。集总端口的电阻、电容、电感等参数一般选择默认值。

4.2. 添加记录器

新建“[频域]远场记录器”可以通过如下四种操作方式：

- 直接点击工具条“新建记录器”图标→选择类型“[频域]远场记录器”；
- “工程管理窗口”→“记录器”→“频域”，鼠标右键→“[频域]远场记录器”；
- “求解器”菜单→选择“新建记录器[频域]”→选择“[频域]远场记录器”；
- 智能助手：“定义记录器”→选择类型“[频域]远场记录器”；

选择任意方式打开“记录器-[频域]远场记录器”对话框，命名“far”。



“类型”下拉菜单中选择“[频域]远场记录器”，“[频域]远场记录器”对六面体包围框表面的近场电磁场做远场外推，得到一定外推距离(R)处特定方向(由 R 球面上的 theta、phi 定义) 的场值。

上图对话框左侧六个框定义记录器的六面体包围框六个面所在位置（即，假若“X 最小值”设置为 100，则表示 X 负方向的面位于 $x=-100$ ）。计算远场方向图、RCS 时，记录框的位置一般使用默认值即可，默认值中的 BBOX 为包围建模区域所有物体的长方体包围框，BBOX.XMIN/XMAX 即包围框在 X 方向两个面的位置。

“频率”填写关注的频率，可以输入单值或数组（例如 `linspace(1,2,10)` 表示 1~2GHz 扫描 10 个频点，间隔 0.1GHz），记录器将对数组的每个频点分别外推。此处输入频率为关心的频点“10”（单位为文档单位 GHz）。

外推距离为远场外推的距离，单位为全局的长度单位，此处为 mm。外推距离使用默认值即可，一般大于 1km。

θ 表示远场方向与 Z 轴正方向之间的夹角， θ_{\min} 表示远场方向与 Z 轴的起始夹角， θ_{\max} 表示远场方向与 Z 轴的终止夹角， $\Delta\theta$ 表示 θ 角变化的角度间隔。 φ 表示远场方向在 XOY 平面上的投影与 X 轴正方向之间的夹角， φ_{\min} 表示远场方向在 XOY 平面上的投影与 X 轴正方向之间起始夹角， φ_{\max} 表示远场方向在 XOY 平面上的投影与 X 轴正方向之间终止夹角， $\Delta\varphi$ 表示 φ 角变化的角度间隔。

若要记录二维或三维方向图，可根据需要，输入 θ 角和 φ 角。本例中记录天线的三维辐射方向图，输入 θ 范围从 0 到 180 度， φ 范围从 0 到 360 度。角度间隔可以按照需要进行设置，但需要注意的是，角度越多，远场外推所耗时间越长，因此， θ 间隔为 3 度， φ 间隔为 3 度。

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. 设置网格

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”；


设置对话框如下：



本案例使用自定义网格，根据仿真物体的结构细节设置网格最小值，最大网格一般不大于最小网格 8 倍，否则会引起发散。本案例使用馈线的宽度为 0.25mm，考虑到馈源的激发，最小网格设置为 0.25。

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。

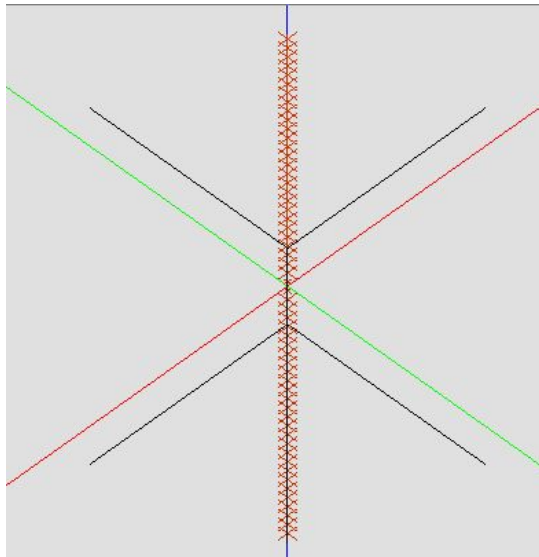
5.2. 网格剖分检查

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。

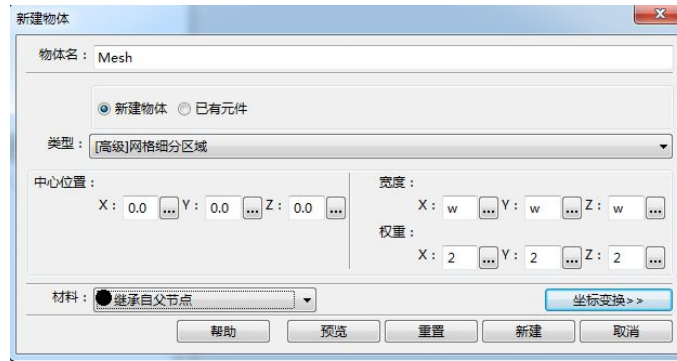
点击  可以隐藏模型而只显示网格。预览网格划分效果如下：



5.3. 高级网格设置

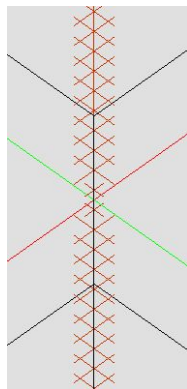
为了能够更好的识别集总端口，在偶极子天线直导线馈线之间加上网格细分区域，命名“Mesh”，高级网格区域可使区域的网格加密。具体设置如下：

- “工程管理窗口” → “模型” → “物体”，鼠标右键 → “新建物体”；
- “类型” 下拉菜单中选择 “[高级]网格细分区域”；

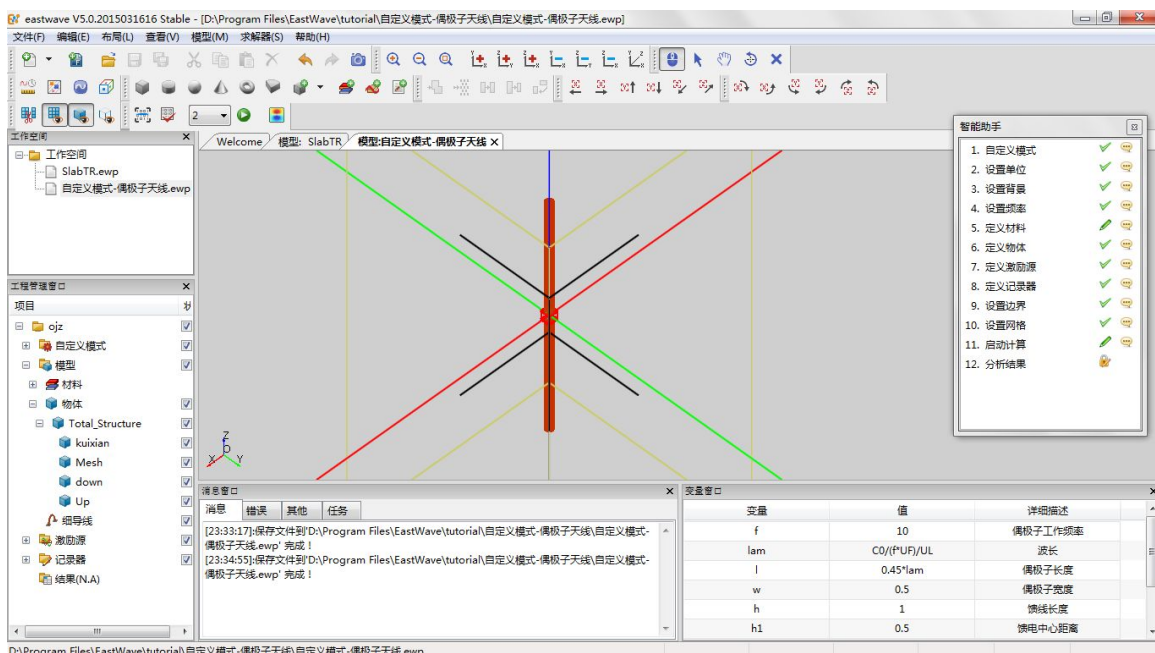


“材料”下拉菜单中选择继承自父节点，网格区域的宽度为(w , w , w)，权重为(2、2、2)。也可以自己设定网格权重，权重越大，网格越密，但是一般不要超过最大网格与最小网格的倍数，否则可能失效。

网格细分区域设定完成后，可以重新预览网格划分情况，具体操作参照上一步，网格加密区域的网格划分情况如下：



可以将该网格一并打包进组 “Total_structure”，最终模型图：



5.4. 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。

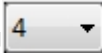


“精度 (dB)” 为 FDTD 仿真的收敛精度：对于脉冲类型激励，计算区域内电磁场总能量一般先增加后减小（能量在开放边界处衰减）。设置 dB 精度的情况下，若电磁场的总能量与峰值之比的 dB 值小于所设置的 dB 值，认为计算已经收敛，将提前结束计算。注意：dB 值应小于 -20。如果不设置此 dB 精度（默认为 0），则按照网格设置中的总计算时间步数完成计算任务。设置精度可以通过如下方式设置修改：

- “工程管理窗口” → “自定义模式” → “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。

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。

```

消息窗口
消息 错误 其他 任务
[下午 6:44:19]:misspec cells number: 0
[下午 6:44:19]:filling advanced cells... success
[下午 6:44:19]:loading_structures... success
[下午 6:44:19]:loading sources P1... success
[下午 6:44:19]:loading records P1... success
[下午 6:44:19]:Destroying temporary data... success
[下午 6:44:19]:loading sources P2... success
[下午 6:44:19]:loading records P2... success
[下午 6:44:19]:initializing_pml_borders... success
[下午 6:44:19]:Comm BufferSize:25104
[下午 6:44:19]:BlockSize:44x44x122, MaxStep:315580
[下午 6:44:19]:Folder:E:\教学案例\偶极子天线\Dipole_1.ef2.data\
[下午 6:44:19]:Running FdtdBeg... success
[下午 6:44:19]:FDTD Calculation Begin.

```

其中 BlockSize : 44×44×122 为 X、Y、Z 方向的网格数，MaxStep 为 FDTD 计算的总迭代步数。


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

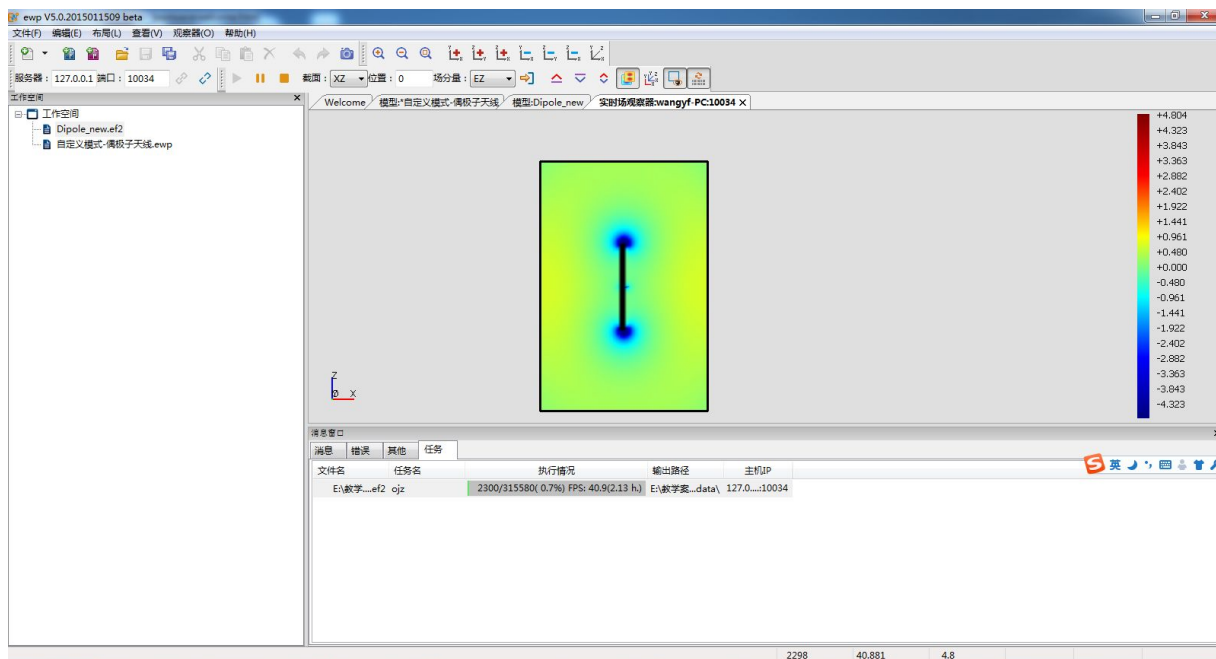
在界面下方消息窗口中点击“任务”，可以观察计算任务的完成情况，或右键管理任务。例如下图进度条中：1961/315580 表示预估总计算步数位 315580 步，因为设置了数值收敛精度，当前已计算 1160 步，括号中 0.4% 为计算完成百分比。FPS 值 29.4 为当前时刻计算速度（每秒完成的计算步数），括号中 2.97h 为预估的剩余计算时间 2.97 小时，因为设置了数值收敛，dB 显示 -14.3，在场的总能量跟峰值之比对应的 dB 值低于 -40 时会自动结束计算。

文件名	任务名	执行情况
C:\Us...e.ef2	ejz	1961/315580(0.6%) Job ended dB:-40.0
C:\Us...e.ef2	ejz	1160/315580(0.4%) FPS: 29.4(2.97 h) dB:-14.3

6.3. 观察实时场

双击“任务”中的相应任务或点击工具条中 “”，可以观察电磁波的散射过程：

EastWave 5.1 教程案例

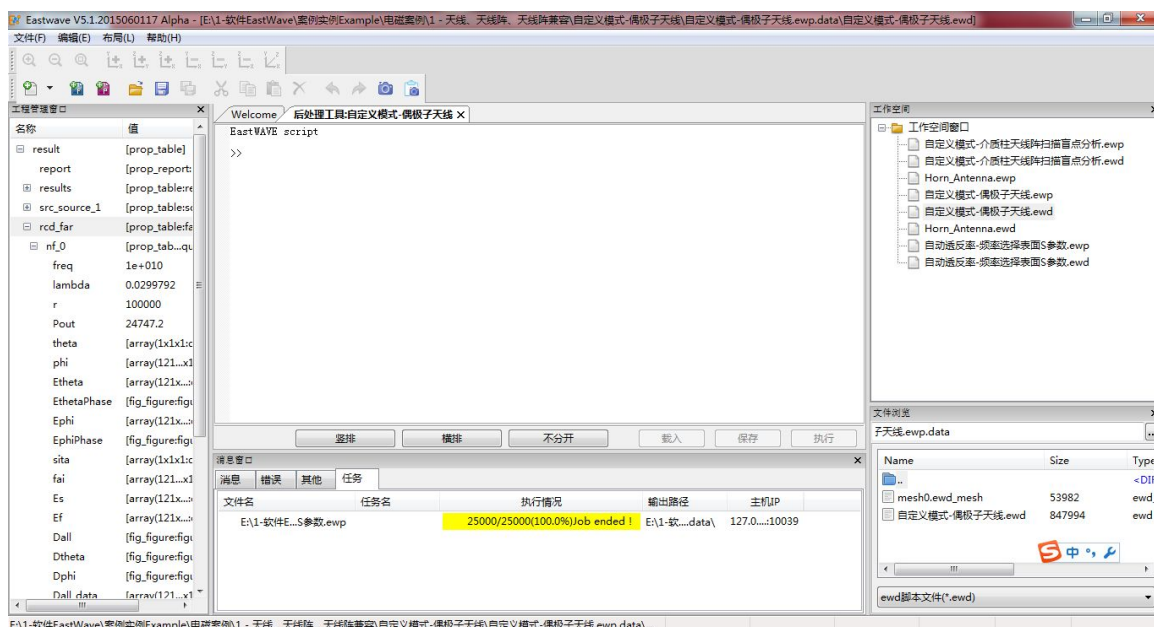


7. 查看计算结果

计算完成后，在“工作空间”生成“自定义模式-偶极子天线.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“自定义模式-偶极子天线.ewd”文件；
- ❑ 菜单栏：“求解器” → “分析结果”；
- ❑ 智能助手：“分析结果”；

后处理窗口如下：



左侧目录树挂载了激励源、记录器的电磁场数据，具体如下：

report：屏幕输出信息记录；

src_source_1：激励源名称，记录激励源输出的信息，例如 S11、驻波比等；

rcd_far：记录器名称，根据不同的记录类型，记录数据节点将生成不同的后处理结果。本案例使用频域远场记录器，Es 和 Ef 记录了不同偏振下的远场电场强度，Dall 表示总能量远场方向图，Dtheta 和 Dphi 表示 theta 和 phi 偏振的远场方向图；

expo：远场记录数据，可导入为 PO 工程（反射面天线计算）作为近场光源；

gdata：全局变量；

本案例中使用的频域远场记录器，记录了该天线的远场辐射数据，给出了远场三维方向图；双击打开频域远场记录器“rcd_far”的“Dall”数据，即可看到 10GHz 下的三维辐射方向图：

