

公司简介

上海东峻信息科技有限公司是中国一家自主研发商业化全波电磁/光电仿真软件的民营高科技企业，具有装备质量管理体系和 ISO9001 质量体系等重要必备资质。

凭借凝神专一、固执死磕的工匠精神，经过二十年的呕心沥血、夸父逐日，上海东峻自主研发的主导产品——EastWave 软件已在电磁波（天线阵/雷达、天线罩、电磁隐身、电磁兼容/对抗、微波暗室和电磁环境、移动通讯/信号分析）和光电（激光、LED、超材料、光子晶体、光通讯器件）等仿真技术方面取得突破，一举打破欧美软件长期垄断的危险局面；在“大体系严格仿真”计算和电磁/光电材料建模等诸多方面形成优势。真正实现“自主、可控、安全”，科技报国，为投身科技强国事业奠定了坚实基础。

同时，凭借可持续的研发能力、专业的技术咨询服务和民族地域等优势，上海东峻形成了技术咨询服务响应体系，成为工程师身边的侍者和助手。尤其是，随着推广业务的发展和广大客户的热切需求，北京弘阳东峻信息科技有限公司（控股子公司）和西安东峻信息科技有限公司（控股子公司）的相继建立，更使得东峻科技的业务服务和客户响应迈上新的台阶。

与此同时，近悦远来，上海东峻的 EastWave 仿真软件已经走出国门，远销海外，展现中国科技力量。

您的反馈

尊敬的客户，您好！我们一直致力于提高 EastWave 软件的售前售后培训服务，如您在使用过程中对本书有任何建议，可直接与我们联系：

■ 联系上海东峻

上海东峻很荣幸能够收到您的反馈意见，如您有关于软件销售、售后技术支持、软件培训、项目咨询、合作开发等各方面的疑问，可通过以下方式与我们联系。

电话：021-52385879

地址：上海市长宁区长宁路 855 号 8A 室

邮编：200050 传真：021 52385879-0

■ 获取技术支持

在与我们的技术支持部门联系之前，请先查阅本书和在线帮助。如果仍然无法解决您的问题，可通过以下几种方式得到技术支持：

① 官方网站

在该网站，您可以看到有关上海东峻及其产品 EastWave 的全部内容，您也可以在线查看最新软件版本及下载试用。

② 微信平台

该微信平台拥有最新案例、技术突破和疑难解答等教程或文档，您可在留言处与后台客服进行互动交流。

③ 电子邮件支持

如果您有疑难问题无法通过网页找到相关解答，请向我们的技术支持人员发送电子邮件（support@eastfdtd.com）。您会在三个工作日内收到我们的回信。如果需求紧急请留下您的常用联系方式（手机号码、QQ 号或微信），以便我们的技术支持人员及时与您联系，具体了解软件的使用情况。

④ 官方群

官方群（49420005/110622821）是公司内部与用户直接交流的主要平台，用于解答用户疑难问题，分享研究成果和发送公司的最新进展等。

⑤ 电话和传真支持

您可以通过电话和传真的方式与我们取得联系，如果问题仍然不能得到解决，我们的技术支持人员将会给您电话。

⑥ 人员专访

对于 EastWave 的客户或试用客户，在必要时，我们将派技术支持工程师前往您所在地进行现场指导。

目 录

| | |
|-----------------------------|----|
| 第一章 EastWave 电磁光电仿真软件 | 1 |
| 1.1. 软件概览 | 1 |
| 1.1.1. 概述 | 1 |
| 1.1.2. 核心算法 | 1 |
| 1.1.3. 软件界面 | 2 |
| 1.1.4. 软件模块 | 3 |
| 1.1.5. 核心设置 | 5 |
| 1.1.6. 后处理界面功能 | 6 |
| 1.1.7. 实时场观察器 | 7 |
| 1.1.8. 脚本语言 | 8 |
| 1.1.9. 文档与资料 | 8 |
| 1.2. 更新说明 | 9 |
| 1.3. 安装和卸载 | 11 |
| 第二章 人机交互总览 | 13 |
| 2.1. 主菜单栏 | 13 |
| 2.1.1. “文件(F)”菜单 | 13 |
| 2.1.2. “编辑(E)”菜单 | 14 |
| 2.1.3. “布局(L)”菜单 | 15 |
| 2.1.4. “查看(V)”菜单 | 16 |
| 2.1.5. “模型(M)”菜单 | 17 |
| 2.1.6. “求解器(S)”菜单 | 18 |
| 2.1.7. “帮助(H)”菜单 | 20 |
| 2.2. 工具栏 | 21 |
| 2.2.1. 标准工具栏 | 21 |
| 2.2.2. 视图工具栏 | 22 |
| 2.2.3. 操作工具栏 | 23 |
| 2.2.4. 全局参数工具栏 | 23 |
| 2.2.5. 模型工具栏 | 23 |
| 2.2.6. 物体操作工具栏 | 24 |
| 2.2.7. 屏幕移动/旋转工具栏 | 24 |
| 2.2.8. 网格工具栏 | 25 |
| 2.2.9. 运算控制工具栏 | 25 |
| 2.2.10. 显示控件工具栏 | 26 |
| 2.2.11. 联接工具栏 | 26 |
| 2.3. 工作空间 | 27 |
| 2.4. 工程管理窗口 | 28 |
| 2.5. 三维模型窗口 | 28 |
| 2.6. 消息窗口 | 29 |
| 2.7. 变量窗口 | 29 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 2.8. 智能助手窗口 | 33 |
| 2.9. 状态栏 | 34 |
| 2.10. 实时场观察器 | 34 |
| 2.11. 后处理工具窗口 | 35 |
| 第三章 典型仿真流程 | 36 |
| 3.1. 计算模式仿真流程 | 36 |
| 3.1.1. 设置计算模式及参数 | 36 |
| 3.1.2. 建立模型 | 37 |
| 3.1.3. 设置网格 | 39 |
| 3.1.4. 启动计算 | 41 |
| 3.1.5. 查看计算结果及后处理 | 42 |
| 3.2. 自定义模式仿真流程 | 44 |
| 3.2.1. 设置计算模式和参数 | 44 |
| 3.2.2. 建立模型 | 47 |
| 3.2.3. 设置激励源 | 49 |
| 3.2.4. 设置记录器 | 50 |
| 3.2.5. 设置网格 | 52 |
| 3.2.6. 启动计算 | 54 |
| 3.2.7. 查看结果及后处理 | 56 |
| 3.3. 参数扫描和寻优 | 57 |
| 3.3.1. 参数扫描 | 57 |
| 3.3.2. 参数寻优 | 58 |
| 第四章 计算模式 | 61 |
| 4.1. 自定义模式 | 61 |
| 4.2. 自动计算透反率模式 | 61 |
| 4.3. 天线罩计算模式 | 64 |
| 4.3.1. 天线罩（功率传输系数，扫频/扫角，相扫） | 64 |
| 4.3.2. 天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫） | 69 |
| 4.3.3. 天线罩（功率传输系数，快速扫角，机扫） | 76 |
| 4.3.4. 天线罩（瞄准线误差，快速扫角，相扫） | 80 |
| 4.3.5. 天线罩（瞄准线误差，扫频/扫角，相扫） | 86 |
| 4.4. 天线阵模式 | 90 |
| 4.4.1. 天线阵（扫频/扫角） | 90 |
| 4.4.2. 天线阵（快速扫角） | 94 |
| 4.5. 天线阵（扫频/扫角） RCS 计算模式 | 97 |
| 4.5.1. RCS（单站，快速扫角，电大体系） | 97 |
| 4.5.2. RCS（单站，扫频/扫角） | 101 |
| 4.5.3. RCS(双站，角度响应) | 104 |
| 4.6. 电磁兼容模式 | 108 |
| 4.6.1. 电磁兼容（多阵列，扫频，相扫） | 108 |
| 4.6.2. 电磁兼容（多阵列，快速扫角，相扫） | 112 |
| 4.7. 雷达目标成像模式 | 115 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 4.7.1. 二维 SAR 成像 | 115 |
| 4.7.2. 一维成像 | 117 |
| 4.8. 阵罩联合仿真 | 120 |
| 4.8.1. 阵罩联合仿真（功率传输系数，快速扫角，相扫） | 120 |
| 4.8.2. 阵罩联合仿真（瞄准线误差，快速扫角，相扫） | 123 |
| 第五章 核心模块 | 127 |
| 5.1. 物体模块 | 127 |
| 5.1.1. 立方体 | 127 |
| 5.1.2. 圆柱体 | 128 |
| 5.1.3. 球体 | 129 |
| 5.1.4. 圆锥体 | 130 |
| 5.1.5. 环体 | 131 |
| 5.1.6. 管形物体 | 132 |
| 5.1.7. 扇形柱体 | 133 |
| 5.1.8. 天线罩 | 134 |
| 5.1.9. 导入 CAD 模型 | 139 |
| 5.1.10. 多层物体 | 140 |
| 5.1.11. 棱锥截头体 | 141 |
| 5.1.12. 参数多边形曲线柱 | 142 |
| 5.1.13. 多边形柱体 | 143 |
| 5.1.14. 梯形台体 | 144 |
| 5.1.15. 截面导入 | 146 |
| 5.1.16. 旋转对称体 | 148 |
| 5.1.17. 自定义阵列 | 149 |
| 5.1.18. 参数扫描体 | 150 |
| 5.1.19. FSS 天线罩 | 151 |
| 5.1.20. 物体操作 | 153 |
| 5.2. 材料模块 | 156 |
| 5.2.1. 公共属性 | 156 |
| 5.2.2. 无色散材料 | 159 |
| 5.2.3. 洛伦兹色散材料 | 161 |
| 5.2.4. 德拜色散材料 | 163 |
| 5.2.5. 洛伦兹非线性材料 | 164 |
| 5.2.6. 克尔非线性材料 | 165 |
| 5.2.7. 克尔拉曼非线性材料 | 166 |
| 5.2.8. 二能级增益材料 | 167 |
| 5.2.9. 四能级增益材料 | 168 |
| 5.2.10. 四能级增益材料（含参数泵浦） | 171 |
| 5.2.11. 各向异性材料 | 172 |
| 5.2.12. 自定义材料 | 173 |
| 5.2.13. 旋光材料 | 174 |
| 5.2.14. 手性材料 | 176 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 5.2.15. 空间相关无色散材料 | 177 |
| 5.2.16. 空间相关洛仑兹色散材料 | 178 |
| 5.2.17. 主轴洛仑兹材料 | 179 |
| 5.2.18. 材料库 | 182 |
| 5.2.19. 条件选择材料 | 186 |
| 5.3. 激励源模块 | 187 |
| 5.3.1. 基本特性参数 | 188 |
| 5.3.2. 时域波形 | 189 |
| 5.3.3. 空间分布 | 198 |
| 5.4. 记录器模块 | 225 |
| 5.4.1. [频域]远场记录器 | 227 |
| 5.4.2. [频域]截面场记录器 | 232 |
| 5.4.3. [频域]表面场记录器 | 234 |
| 5.4.4. [频域]准远场记录器 | 236 |
| 5.4.5. [频域]准远场记录器（盒子模式） | 239 |
| 5.4.6. [频域]能流记录器 | 242 |
| 5.4.7. [频域]电磁力记录器 | 244 |
| 5.4.8. [频域]斜面记录器 | 245 |
| 5.4.9. [时域]点记录器 | 247 |
| 5.4.10. [时域]截面场平均记录器 | 248 |
| 5.4.11. [时域]表面场记录器 | 250 |
| 5.4.12. [时域]远场记录器 | 252 |
| 5.4.13. [时域]截面场记录器 | 254 |
| 5.4.14. [时域]截面极值记录器 | 255 |
| 5.4.15. [时域]斜面记录器 | 256 |
| 5.5. 元件模块 | 257 |
| 5.5.1. 元件概念 | 257 |
| 5.5.2. 元件操作 | 258 |
| 5.5.3. 元件相关高级建模功能 | 259 |
| 5.6. 细导线 | 260 |
| 第六章 核心设置 | 262 |
| 6.1. 常规设置 | 262 |
| 6.2. 边界设置 | 264 |
| 6.3. 网格设置与查看 | 266 |
| 6.3.1. 常规网格设置 | 266 |
| 6.3.2. 均匀网格 | 270 |
| 6.3.3. 非均匀网格策略一 | 272 |
| 6.3.4. 非均匀网格策略二 | 274 |
| 6.3.5. 共形网格 | 277 |
| 6.3.6. 计算步数和时间步长调整 | 278 |
| 6.3.7. 物体局部网格设置 | 279 |
| 6.3.8. [高级]网格细分区域 | 281 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 6.3.9. [高级]网格强制面 | 282 |
| 6.4. 物体优先级设置 | 284 |
| 6.5. 变量设置和内置常量 | 285 |
| 6.5.1. 系统内置常量 | 285 |
| 6.5.2. 系统内置变量 | 286 |
| 6.5.3. 自定义常规变量 | 287 |
| 6.5.4. 自定义数组变量 | 288 |
| 6.5.5. 扫描优化参数变量 | 289 |
| 6.6. 其他设置 | 290 |
| 6.6.1. 输出设置 | 290 |
| 6.6.2. 精度设置 | 291 |
| 6.6.3. 初始化电磁场 | 292 |
| 6.6.4. 自定义脚本 | 292 |
| 6.6.5. 采集位置点与测量 | 293 |
| 6.6.6. 工作平面和坐标系 | 296 |
| 第七章 数据后处理 | 299 |
| 7.1. 后处理数据结构 | 299 |
| 7.2. Report | 302 |
| 7.3. 智能数据 | 302 |
| 7.4. 图对象属性介绍 | 305 |
| 7.5. 功能操作 | 314 |
| 7.6. 脚本后处理 | 316 |
| 第八章 EastWave 脚本语言 | 319 |
| 8.1. 后处理脚本语言 | 319 |
| 8.1.1. 基本语法和常用语句 | 320 |
| 8.1.2. 函数表 | 323 |
| 8.1.3. 绘图 | 328 |
| 8.1.4. 编辑和运行脚本程序 | 330 |
| 8.2. Lua 语言前处理 | 331 |
| 8.2.1. Lua 简介 | 331 |
| 8.2.2. Lua 扩展 | 333 |

第一章 EastWave 电磁光电仿真软件

1.1. 软件概览

“软件概览”给出用户一个成熟的软件架构，在“软件概览”中用户可以快速浏览 EastWave 电磁/光电软件的算法、界面、模块、核心设置、后处理功能、脚本语言等各内容，了解软件的基本算法、基本结构和基本功能。

1.1.1. 概述

EastWave 是中国商业化的跨平台(Windows 和 Linux)的三维全矢量光电/电磁波并行仿真软件，用于复杂结构和复杂材料的电磁波/光电系统数值仿真，如电磁波系统（天线阵/雷达、天线罩、电磁隐身、电磁兼容、微波暗室、电磁环境、移动通讯等）和光电系统（如激光、LED、超构材料、光子晶体、光通讯器件等）。EastWave 在电磁波/光电材料建模、电大系统或超大系统（近千倍波长体系）仿真和参数优化方面具有优势，可提供设计方案和数值结果，是工程设计、参数优化和科学研究的必备仿真工具。

1.1.2. 核心算法

EastWave 的算法核心是时域有限差分(Finite Difference Time Domain, 缩写 FDTD)算法, FDTD 原理详细请参考 附录 I FDTD 原理。FDTD 算法采用的离散网格如图 1-1-2-1。

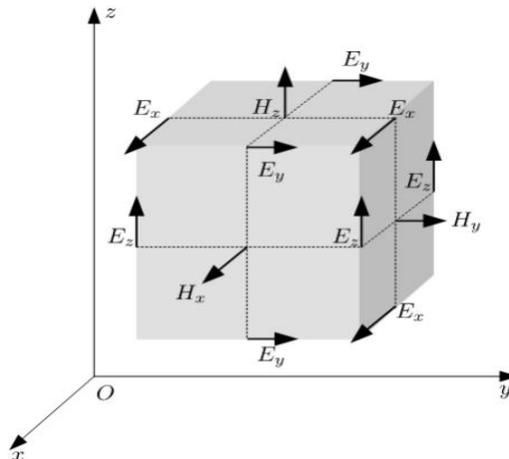


图 1-1-2-1 Yee 网格

相对于其他算法时域有限差分法的优点有：计算量随网格线性增长，计算精度高；天然并行优势；复杂材料和复杂结构；模拟瞬态效应；多频/宽频段计算。上海东峻经过 10 多年的算法研究，从节约计算量、高效软件并行、材料仿真研究、动态场分析、多频点/多角度仿真计算等方面最大限度地发掘算法优势，取得一系列仿真计算的性能优势：电大快速计算优势，“时域、角域、频域、极化域”多维度仿真优势，并行优势，材料优势等。

上海东峻在多核并行资源分配、网格剖分算法、物体网格共形处理算法、网格调整算法等方面取得突破，具备了万核以上的超算并行计算能力，开发了均匀网格剖分策略、非均匀网格剖分策略一、非均匀网格剖分策略二等智能网格剖分系统以及多种局域网格控制和调整技术，在精确处理电大+电小结构的仿真问题上发挥重要作用。

同时，软件中加了物理光学 (Physics Optics, 缩写 PO) 算法，用户可建立仿真项目工程选择 PO 法，FDTD+PO 联合方法快速计算辐射、反射和散射等电磁问题。

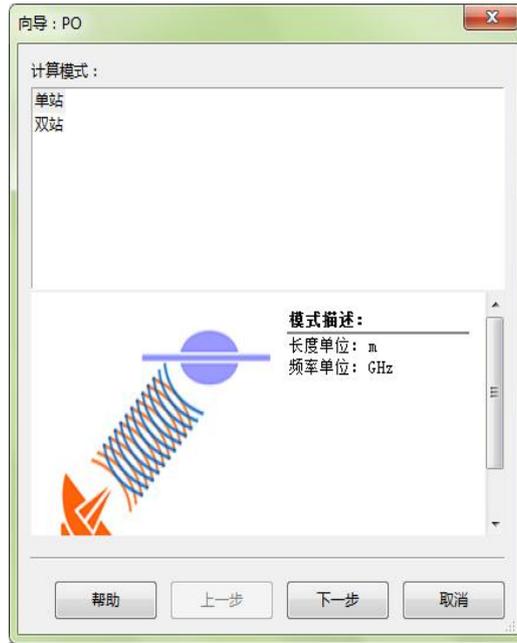


图 1-1-2-2 PO 算法

1.1.3. 软件界面

EastWave 具有成熟的人机交互界面，软件每一个前处理功能、仿真计算控制功能和后处理功能都有相应的交互窗口、子窗口、控件等，软件的核心界面包括：计算模式选择界面，用户界面（工作界面）和后处理界面。

在计算模式窗口中，工程师根据应用方向，选择对应的计算模式，如图 1-1-3-1。计算模式是针对天线阵、天线罩、雷达散射截面等专业仿真问题，给出的一个仿真工程智能解决方案，该方案减少了软件使用者对算法知识、专业背景知识以及对软件功能和流程理解的依赖。详情请见“1.2.2 个性化“计算模式”亮点优势”。

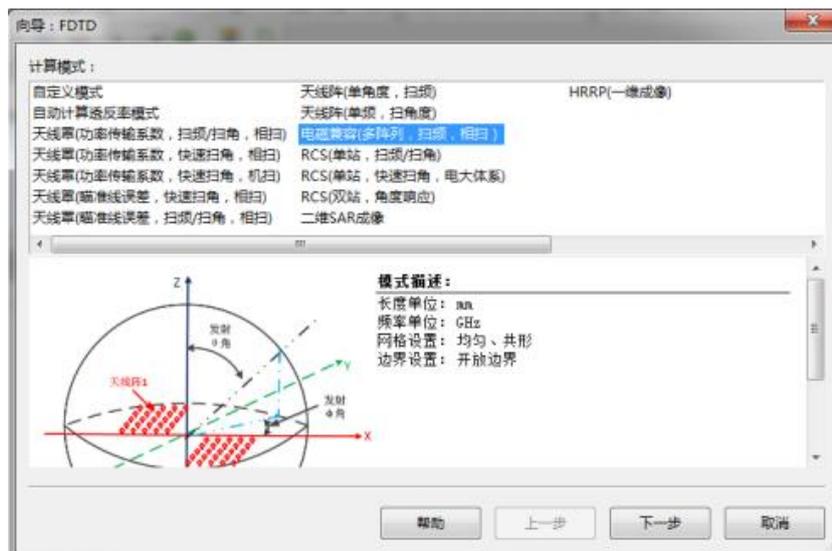


图 1-1-3-1

在用户界面中，用户可以通过菜单栏、工具栏、工作空间、工程管理窗口、显示窗口、消息框口以及变量窗口完成模型建立、查看、修改，变量定义，激励源设置，网格设置、剖分和查看，计算启动、监控等功能，如图 1-1-3-2。

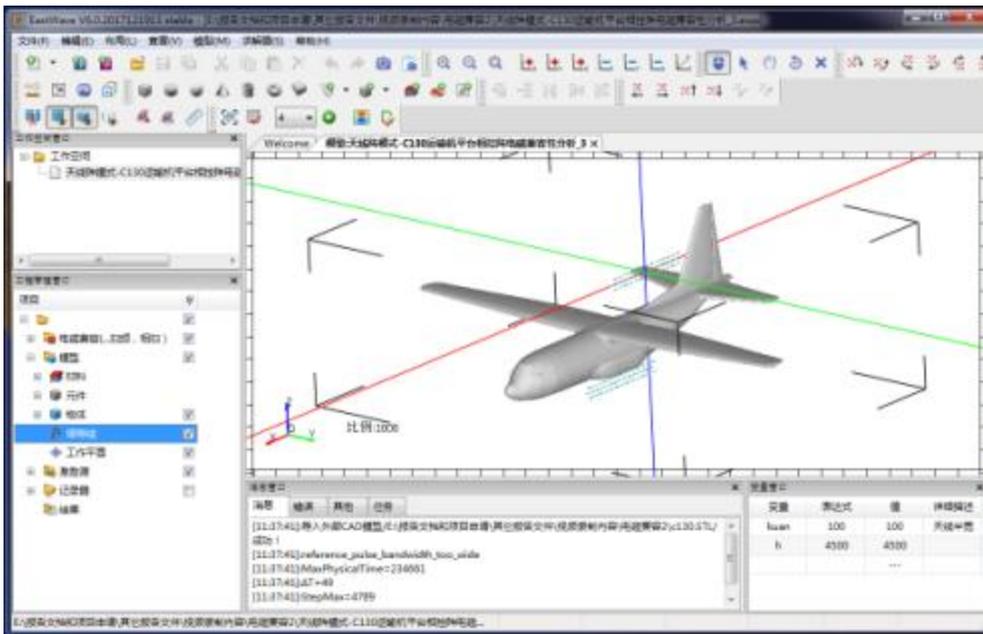


图 1-1-3-2

后处理界面显示仿真结果和数据，后处理界面还提供图形和数据的处理功能，可以对图形进行操作、修改、保存和导出数据。同时，用户可以根据需求在后处理界面中使用 EastWave 脚本语言对数据进行进一步的处理。如图 1-1-3-3。

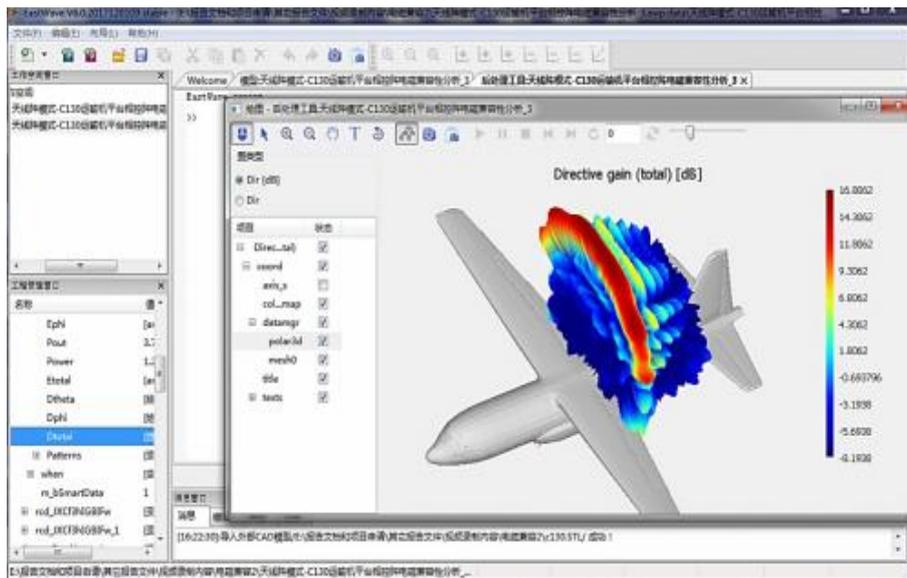


图 1-1-3-3

1.1.4. 软件模块

软件模块提供了物体建模功能、材料建模功能、激励源设置功能、记录器设置功能等。通过软件模块，用户可以模拟“天线阵”、“天线罩”等工作、测量的真实环境。

(1) 建模模块中包含“曲面/平面天线阵快速建模”、“曲面频选快速建模”、“薄层生长二次建模”等亮点功能，如图 1-1-4-1。



图 1-1-4-1 建模选项

(2) 材料模块几乎支持所有电磁光电材料的建模，如图 1-1-4-2。

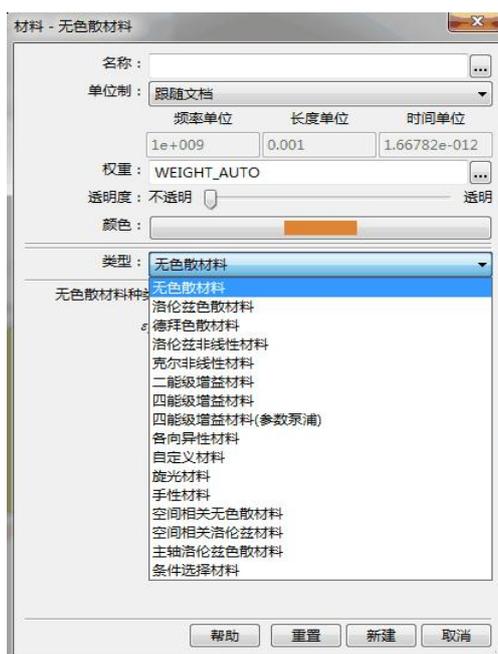


图 1-1-4-2 材料选项选项

(3) 激励源设置功能，除了“集总端口”、“波导端口”、等常规端口设置以外，还支持导入场功能，方便与其它仿真结果或其它软件的场数据交互，实现联合仿真，如图 1-1-4-3。

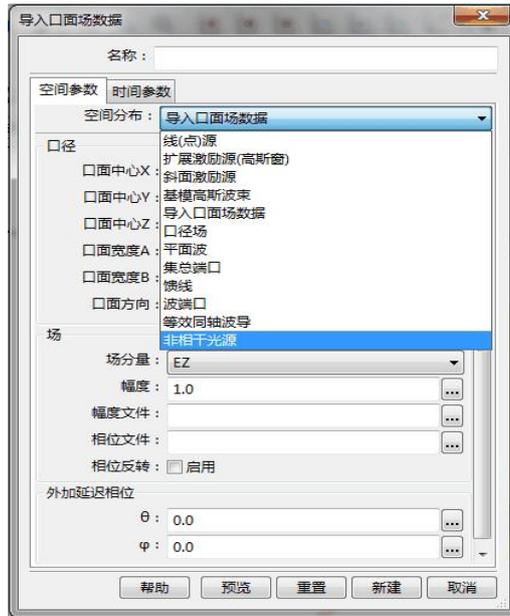


图 1-1-4-3 激励源设

(4) 记录器模块提供丰富的时域/频域点记录器、截面场记录器、准近场记录器、远场记录器，记录用户需求的各种数据。

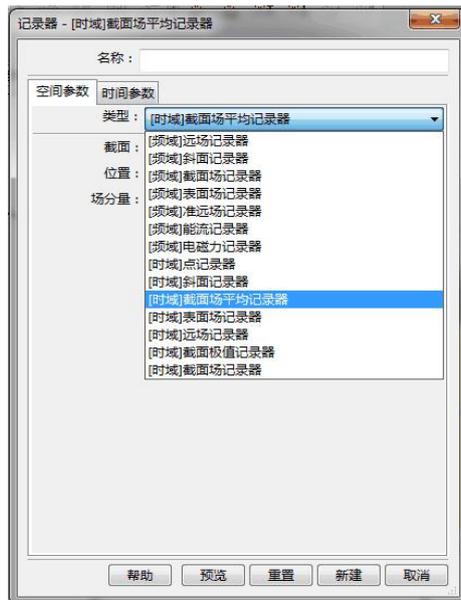


图 1-1-4-4 记录器设置

1.1.5. 核心设置

软件设置包括单位、背景材料、频率等常用设置，边界设置，网格设置，精度收敛设置，工作平面设置，坐标变换等。

EastWave 电磁仿真软件提供了均匀网格剖分策略、非均匀网格剖分策略一、非均匀网格剖分策略二等智能网格剖分系统以及多种局域网格控制和调整技术，在精确处理电大+电小结构的仿真问题上发挥重要作用。

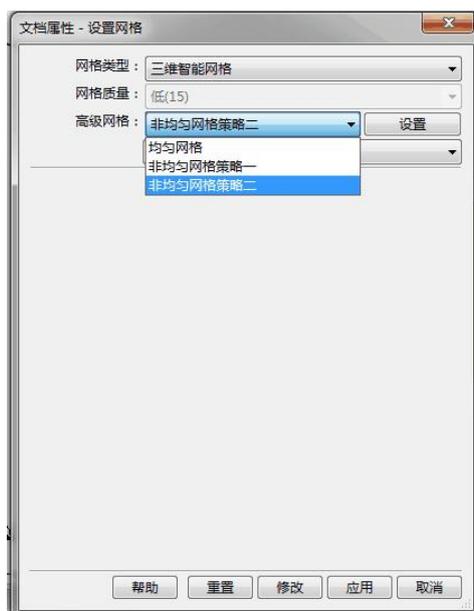


图 1-1-5-1 网格设置



图 1-1-5-2 边界设置

1.1.6. 后处理界面功能

软件的后处理界面包含丰富的功能，主要有数据处理功能，包括数据的导入、导出、寻找最大最小值，脚本语言处理等；图像绘制和处理功能，包括曲线绘图、曲面绘图、图形的复制、黏贴、保存、注释等；智能数据功能，集数据和数据处理于一体，可增加数据的完整性，减少数据存储空间，如图 1-1-6-1 和 1-1-6-2。

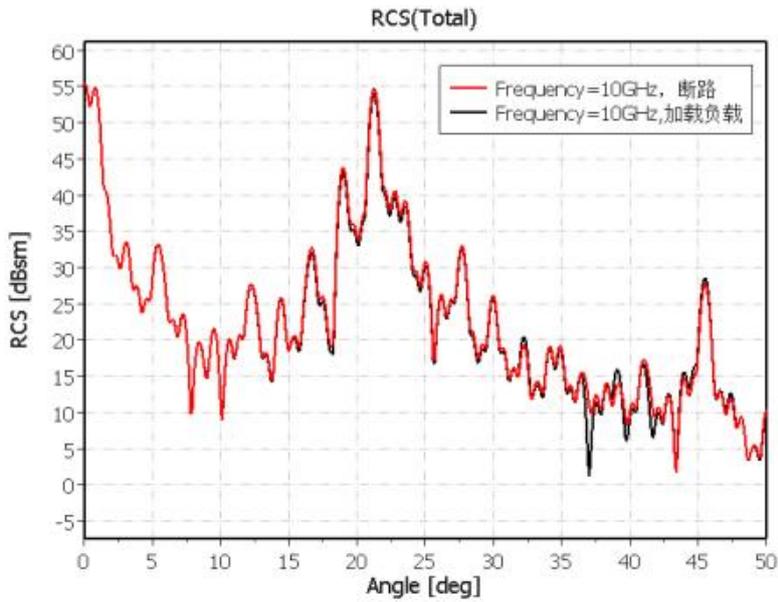


图 1-1-6-1 软件图形处理实例图

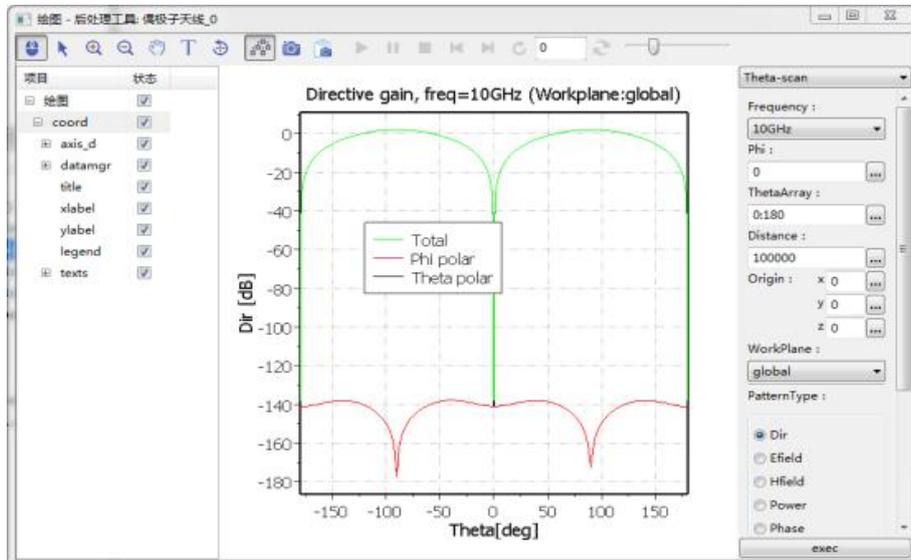
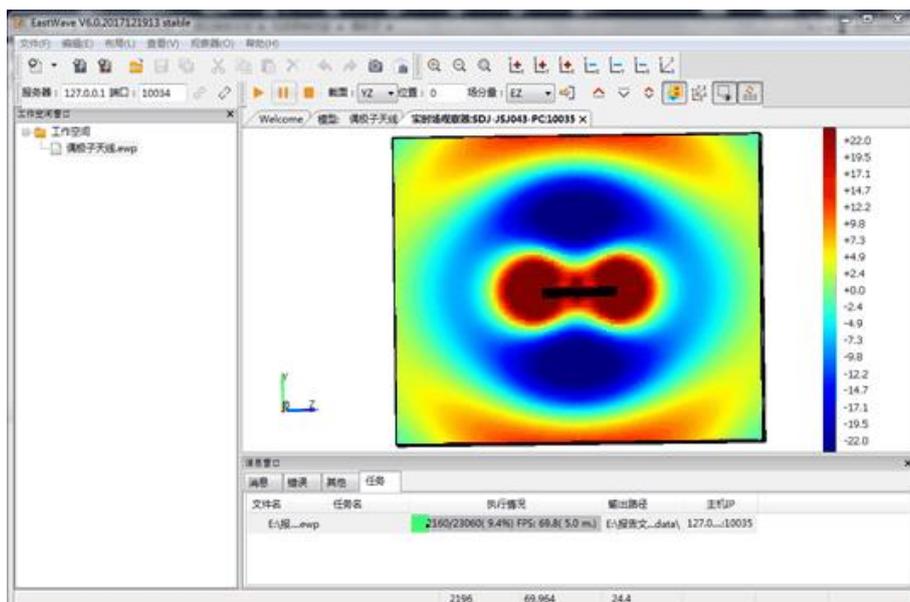


图 1-1-6-2 软件远场智能数据控制窗口

1.1.7. 实时场观察器

实时场观察器用于用户在仿真过程中观察电磁场的动态演化过程，通过动态场分析理解辐射、反射、绕射等背后的物理机制，从机理角度分析电磁现象的本质，如图 1-1-7-1。



1-1-7-1 偶极子实时场截图

1.1.8. 脚本语言

软件的前处理脚本语言实现，软件可以实现脚本语言快速建模、复杂激励源设置和模式设置。软件的前处理采用 lua 语言，建立连接。

软件后处理支持脚本语言操作，实现对复杂数据，复杂参数的计算。后处理采用上海东峻开发的 EastWave 脚本语言，语言简单易学。

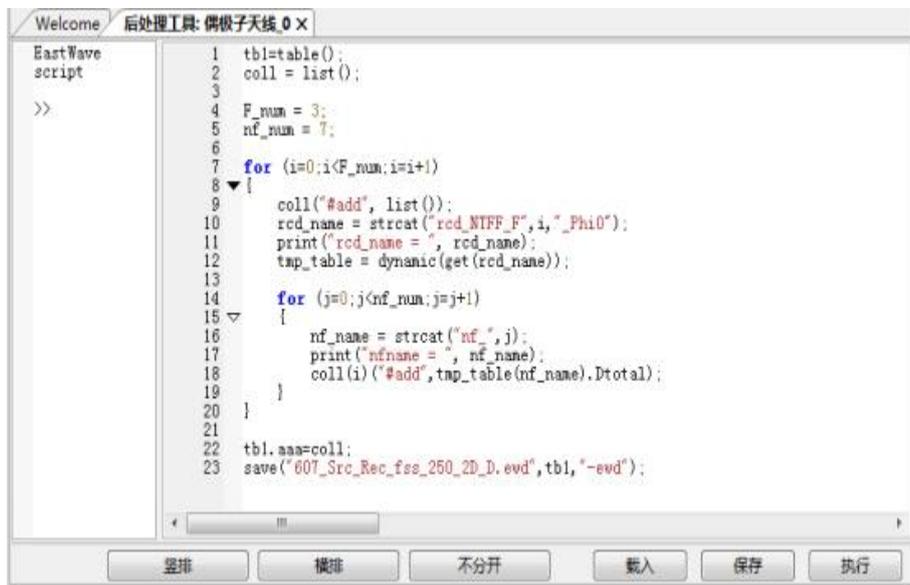


图 1-1-8-1 软件脚本语言，及载入、保存、运行功能

1.1.9. 文档与资料

(1) 帮助文档

本帮助文件为 Windows 的标准帮助文件格式 (.chm)，在界面中的主菜单中选择“帮助”→“FDTD 帮助手册”即可打开该帮助文档。

用户也可以点击对话框的左下角“帮助按钮”可跳转至相应的章节，如下图 1-1-9-1 所示：

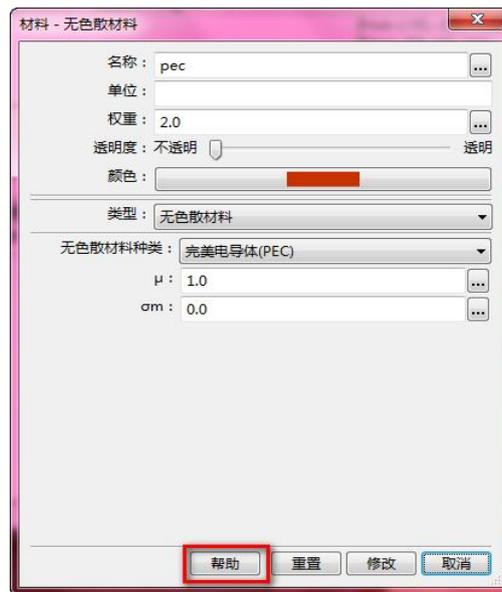


图 1-1-9-1 在对话框中使用帮助

(2) 教程文档

教程文档位置：安装目录\EastWave\tutorial;

(3) 案例文档

案例文档位置：安装目录\EastWave\sample。

1.2. 更新说明

EastWave 6.0 有哪些变化？

(1) 计算模式

- 天线罩模式增加机扫计算模式；
- 新增电磁兼容计算模式；
- 新增一维成像计算模式。

(2) 非均匀 FDTD 网格

- 新版非均匀网格生成策略；
- 优化物体的边界网格控制；
- 曲面薄板修补功能；
- 局部网格策略。

(3) 后处理增强

- 频域远场外推智能数据（延迟外推）；
- 时域信号（记录）智能数据；
- 绘图曲线标注功能（最大值、最小值、峰宽）。

(4) 界面新功能

- 更加现代的对话框风格；
- 屏幕取点、测量（坐标、长度、角度）功能；
- 新的 2D 网格预览功能；

- 改进 3D 网格预览功能，支持查看电场、磁场网格（按 Yee 元胞方式）、按照物体区域显示网格；
 - 模型切片功能；
 - 变量表窗口增加求值结果的预览；
 - 计算模式增加可视化的角度指示器；
 - 模型窗口增加标尺。
- (5) 物体元件、记录器、激励源、材料
- 新的管形元件；
 - FSS 天线罩功能；
 - 新增参数扫描体；
 - 集总端口新增频域记录；
 - [频域]准远场记录器（盒子模式）、从准远场导入等效源、区域激励源；
 - 斜面激励源、口径场；
 - 斜面记录器；
 - 材料支持单位制、电导率默认采用国际单位制；
 - 条件选择材料，用于构建空间隐函数描述的物体、复杂参数扫描材料等；
 - 新增克尔拉曼非线性材料。
- (6) 其他
- 支持根据计算区域智能划分并行区域；
 - 新增教学案例；
 - 支持导入 VRML 模型文件（并对 HFSS 导出的 VRML 进行了适应性优化）；
 - 初始化随机场。

EastWave 5.1 with update 1 有哪些变化？

- (1) 新增“工作平面”，用于定义局部坐标系，可以在定义部分激励源、记录器时引用，部分计算模式也增加了相关支持；
- (2) 部分计算模式开始支持多扫描面设定；
- (3) 新增“馈线”元件，可一次性建立细导线+集总端口的模型，且可使用斜线；
 - 建模中支持交互式取点功能。
- (4) 新增“[时域]截面极值记录器”和“口径场”激励源；
- (5) 后处理结果显示功能的调整和改进；
 - 如支持截面场嵌入到 3D 模型坐标系中统一显示；
 - 方向图和模型同时显示时可调节相对位置；
 - 优化表面场记录器；
 - 优化时域记录器显示动态图时的播放功能。
- (6) 脚本语言强化（参见 2016 年新版《EastWave 5.1 脚本语言说明文档》）；
- (7) 导入 IGS/STP 格式时允许设定导入精度；
- (8) 新增 PO 脚本建模；
- (9) 新增 PO 自定义前、后处理脚本功能；
- (10) 新增 PO 直接导入方向图计算反射面天线远场的功能。

EastWave 5.1 有哪些新变化?

- (1) 新增工程模板功能，可根据经验创建特定领域的工程模板，减少重复性建模工作；
- (2) 新增“天线罩（功率传输系数，频率响应）”计算模式；
- (3) 新增内置函数、用户自定义函数和函数库功能；
- (4) 新增“超薄介质”，可提高多层薄板型天线罩的计算速度；
- (5) 提供“有耗材料”、“有耗材类（损耗角正切）”两种材料设置方式；
- (6) 大幅改进阵列的控制方式，支持用脚本控制阵列的数量和排列方式；支持用脚本调整馈源阵列各单元的幅度和相位；支持按数组输入多边形曲线柱的顶点位置；
- (7) 优化建模交互操作，表格控件支持内容的复制、粘贴，支持窗口快照到剪贴板的功能；
- (8) 优化图数据的预览方式。

EastWave 5.0 有哪些新变化?

- (1) 全新设计的界面风格，更专业，更人性化，显著提升工程人员的使用体验；
- (2) 大幅度完善 CAD 建模功能，简化建模步骤；
- (3) 特别新增内置天线罩物体模型，简化天线罩设计的难度；
- (4) 新增馈源阵列功能，强化天线阵相关计算模式，使之更稳定、更高效；
- (5) 增加 PO 方法计算反射面天线远场的计算模式，支持独创的加速计算功能，可增速 10 倍以上；
- (6) 在 PO 方法中引入大面元积分算法，显著改善双站 RCS 的积分性能；
- (7) 在 PO 方法中采用改进的消隐算法计算 RCS，进一步提升计算性能；
- (8) 丰富帮助手册和案例文档的内容，改善新手快速入门体验。

1.3. 安装和卸载

(1) 系统要求

■ 基本配置：

- 1) Microsoft Windows 2000/XP/Vista/Windows 7 32-bit or 64-bit; Linux;
- 2) 采用 x86/x86-64 架构的 Intel/AMD CPU，主频不低于 1GHz;
- 3) 内存不低于 512MB;
- 4) 磁盘空间不低于 1GB。

■ 推荐配置：

- 1) Microsoft Windows 7/8/10 64-bit;
- 2) Intel Core i5/i7 处理器（四核以上，建议第四代酷睿核心以上），主频 3GHz 以上；
- 3) 内存 8GB 以上，建议组建双通道或多通道；
- 4) 应用程序空间不低于 1GB，另有专用计算分区 20GB 以上。
- 5) 配置 512MB 以上显存的独立显卡，可以显著提高操作大量几何单元的显示速度。

■ 高性能计算服务器配置建议：

- 1) Microsoft Windows Server 2008/2012 64-bit;
- 2) Intel Xeon 系列 CPU，6 核以上，主频 3GHz 以上；
- 3) 双路以上服务器架构，建议四路或以上；
- 4) 内存 64GB 以上，建议组成 3 通道或 4 通道；

- 5) 使用大容量高速固态硬盘存放计算结果，可大大提高时域截面场的记录速度；
- 6) 使用多达 1TB 以上的空间用于保存每次记录结果。

(2) 安装

EastWave 能够被安装在 Microsoft Windows 2000/XP/Vista/Windows 7/Windows 8/Windows 10/Server 32-bit or 64-bit 操作系统以及 Redhat、SUSE 等 Linux 操作系统上。建议安装前关闭其他所有程序。在 Linux 操作系统上安装本软件，请[联系我们](#)。

- 1) 检查计算机是否具备以上系统要求；
- 2) 在 Windows 操作系统中：放入安装盘，进去光盘目录，双击“setup.exe”，按照提示完成安装；
- 3) 安装完毕后，将硬件锁插入到计算机 USB 口上，等到系统自动完成驱动更新后，即可使用。



EastWave 安装注意事项

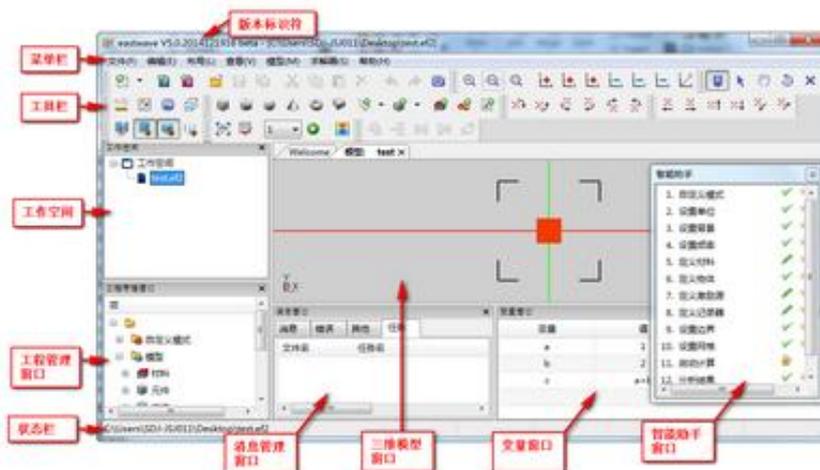
1. EastWave 必须在管理员账户或拥有管理权限的账户下安装；
2. 如果系统无法识别到硬件锁，请安装光盘中的“Windows 下 EastWave 加密锁驱动程序”；
3. 安装程序默认将 EastWave 安装在系统分区下（一般为 C 盘），如果您的磁盘含有非系统分区，出于权限考虑，建议将软件安装在非系统分区下。

(3) 卸载

- 进入“控制面板”→“添加或删除程序”，选择 EastWave，卸载；
进入安装目录，删除残余文件，卸载完毕。

第二章 人机交互总览

EastWave 工作界面也称用户界面，是 EastWave 软件使用者的工作环境。了解、熟悉这个工作环境有助于用户高效、准确的完成 EastWave 工程的创建。本章将对 EastWave 的工作环境做一个全面的介绍，通过本章的讲解，希望能够帮助用户快速熟悉 EastWave 的工作环境，了解 EastWave 的工作界面组成、各个工作窗口的主要功能以及 EastWave 主菜单中每项操作命令对应的功能，为掌握 EastWave 的设计操作做好充分的准备。



2.1. 主菜单栏

主菜单栏位于 EastWave 工作界面的最上方，主要包含文件、编辑、布局、查看、模型、求解器和帮助共 7 个菜单，这些菜单包含了 EastWave FDTD 建模状态下的所有命令。下面就来介绍每一个菜单的主要功能。

2.1.1. “文件(F)” 菜单

文件菜单用于管理 EastWave 工程文件，包括文件的新建、打开、保存、关闭以及 CAD 模型的导入导出等操作。文件下拉菜单包含的所有操作命令如下图所示。



图 2-1-1 文件菜单

表 2-1-1 文件菜单说明：

| 菜单项 | 说明 |
|---------------|----------------|
| 文件→新建→FDTD 向导 | 通过向导新建 FDTD 工程 |
| 文件→新建→PO 向导 | 通过向导新建 PO 工程 |

| | |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 文件→新建→后处理工具 | 新建一个数据后处理窗口 |
| 文件→新建→实时场观察器 | 新建一个实时场显示实时场窗口 |
| 文件→新建→html 浏览器 | 新建一个网页浏览器 |
| 文件→打开 | 打开一个本地工程 |
| 文件→关闭 | 关闭当前窗口 |
| 文件→关闭所有 | 关闭全部窗口 |
| 文件→保存 | 保存当前活动工程 |
| 文件→另存为 | 将当前工程保存为副本 |
| 文件→保存所有 | 保存所有打开的工程 |
| 文件→导入 | 从外部导入 CAD 模型（支持 STL、STEP、IGES、VRML），其中 STL/STEP/IGES 格式的模型在导入 EastWave 中将作为一个整体。 |
| 文件→导出模型 | 将当前活动窗口中的物体导出成 STL 格式的文件 |
| 文件→计算模式 | 切换当前工程的计算模式 |
| 文件→最近打开文件 | 浏览最近打开的工程 |
| 文件→退出 | 退出软件 |

2.1.2. “编辑(E)” 菜单

编辑菜单主要用于对模型窗口中的对象以及文本编辑器下的脚本进行编辑操作，编辑下拉菜单包含的所有操作命令如图所示。



图 2-1-2 编辑菜单

表 2-1-2 编辑菜单说明：

| 菜单项 | 说明 |
|-------|-------------|
| 编辑→撤销 | 撤销上一步操作 |
| 编辑→返回 | 返回上一步操作前的状态 |
| 编辑→剪切 | 脚本编辑状态下有效 |
| 编辑→复制 | |
| 编辑→粘贴 | |

| | |
|-----------|------------------------------------------|
| 编辑→删除 | 删除当前选中的结构、激励源、材料或数据记录 |
| 编辑→全部选择 | 选中所有物体、激励源、材料或数据记录，具体选中的是什么由前一次操作选择的类型决定 |
| 编辑→快照 | 截取当前 CAD 窗口，保存成本地图片 |
| 编辑→快照至剪切板 | 截取当前 CAD 窗口，暂存至系统剪切板 |

2.1.3. “布局(L)” 菜单

布局菜单主要用于对软件各窗口进行显示/隐藏操作，并对布局进行管理。布局下拉菜单包含的所有操作命令如图所示。



图 2-1-3 布局菜单

表 2-1-3 布局菜单说明:

| 菜单项 | 说明 |
|-----------|--------------------------------------------------------------|
| 布局→工作空间 | 打开/关闭工作空间窗口 |
| 布局→消息窗口 | 打开/关闭消息窗口 |
| 布局→状态窗口 | 打开/关闭状态窗口 |
| 布局→智能助手 | 打开/关闭智能助手窗口，智能窗口为全局窗口，所有打开的工程共享一个智能窗口，其中一个工程隐藏，则其他工程也同时隐藏该窗口 |
| 布局→工程管理窗口 | 打开/关闭工程管理窗口 |
| 布局→变量窗口 | 打开/关闭变量窗口 |
| 布局→其他窗口 | 打开/关闭其他窗口 |
| 布局→工具条→标准 | 打开/关闭标准工具栏 |
| 布局→工具条→视图 | 打开/关闭视图工具栏 |
| 布局→工具条→操作 | 打开/关闭操作工具栏 |

| | |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|
| 布局→工具条→全局参数 | 打开/关闭全局参数工具栏 |
| 布局→工具条→模型 | 打开/关闭模型工具栏 |
| 布局→工具条→物体操作 | 打开/关闭物体操作工具栏 |
| 布局→工具条→屏幕平移 | 打开/关闭屏幕平移工具栏 |
| 布局→工具条→屏幕旋转 | 打开/关闭屏幕旋转工具栏 |
| 布局→工具条→网格 | 打开/关闭网格工具栏 |
| 布局→工具条→运算控制 | 打开/关闭运算控制工具栏 |
| 布局→布局→保存窗口布局 | 保存当前窗口布局状态 |
| 布局→布局→删除窗口布局 | 删除当前窗口布局状态 |
| 布局→布局→完整窗口布局 | 保证所有窗口、工具条都能够完整显示的布局状态，当某些窗口、工具条无法正常显示或显示不完整时可选择该布局 |
| 布局→布局→默认窗口布局 | 选择系统默认的窗口布局 |
| 布局→布局→上次运行 | 选择上一次窗口布局 |
| 布局→语言→Chinese(Simplifield) | 选择软件界面语言为简体中文（重启后生效） |
| 布局→语言→English | 选择软件界面语言为英文（重启后生效） |
| 布局→语言→System | 选择软件界面语言为系统语言（重启后生效） |
| 布局→选项 | 打开选项卡，进行软件配置项设置 可设置（1）历史记录；（2）CAD 窗口颜色；（3）是否隐藏“元件”功能 |

2.1.4. “查看(V)” 菜单

查看菜单用于方便的对模型进行观察确认，该菜单下的所有操作都不改变模型的几何大小和空间位置。查看下拉菜单包含的所有命令如图所示。



图 2-1-4 查看菜单

表 2-1-4 查看菜单说明

| 菜单项 | 说明 |
|----------|------------------------------------|
| 查看→操作模式 | 选择操作模式，可选择自动模式、选择模式、移动模式、旋转模式、删除模式 |
| 查看→显示选项 | 显示/隐藏坐标轴、参考线、计算区域、网格线、模型、外轮廓线 |
| 查看→显示平滑度 | 选择物体显示的视觉精度，不影响网格离散化 |
| 查看→投影模式 | 选择观察模型的方式，可选择正视投影和透视投影 |
| 查看→观察面 | 选择观察模型的截面 |
| 查看→缩放 | 对模型执行缩放操作，不影响物体的几何大小 |
| 查看→移动 | 对模型执行移动操作，不影响物体的空间坐标位置 |
| 查看→旋转 | 对模型执行旋转操作，不影响物体的空间坐标位置 |
| 查看→旋转中心 | 指定旋转操作的旋转中心 |

2.1.5. “模型(M)” 菜单

模型菜单主要用于定义材料和新建物体，并对物体进行一系列操作，这些操作将改变物体的几何尺寸及空间坐标位置。模型下拉菜单所包含的所有命令如图所示。



图 2-1-5 模型菜单

表 2-1-5 模型菜单说明

| 菜单项 | 说明 |
|---------|----------|
| 模型→新建材料 | 打开新建材料窗口 |

| | |
|-----------------|----------------------------------------------|
| 模型→拟合生成材料 | 打开材料拟合窗口 |
| 模型→从材料库中载入材料... | 打开材料库 |
| 模型→立方体 | 新建立方体 |
| 模型→圆柱体 | 新建圆柱体 |
| 模型→球体 | 新建球体 |
| 模型→圆锥体 | 新建圆锥体 |
| 模型→管 | 新建管状结构 |
| 模型→环体 | 新建环体 |
| 模型→高级柱体 | 新建高级柱体 |
| 模型→天线罩 | 新建天线罩 |
| 模型→其他 | 新建其他物体 |
| 模型→组 | 执行组操作，选中多个物体，并执行该操作，将选中的物体合并为一个组 |
| 模型→创建物体阵列 | 选中一个物体，并以该物体为基元，创建一个周期阵列 |
| 模型→移动 | 选中一个物体，对该物体执行移动操作，可选择生成副本，该操作改变物体的空间坐标位置 |
| 模型→缩放 | 选中一个物体，对该物体执行缩放操作，可选择生成副本，该操作改变物体的空间坐标位置 |
| 模型→指定轴旋转 | 选中一个物体，对该物体执行绕指定轴旋转操作，可选择生成副本，该操作改变物体的空间坐标位置 |
| 模型→属性 | 打开当前选中对象的属性窗口 |

2.1.6. “求解器(S)” 菜单

求解器菜单主要用于设置仿真环境、定义激励源，并提供一些优化算法。求解器下拉菜单所包含的所有操作命令如图所示。



图 2-1-6 求解器菜单

表 2-1-6 求解器菜单说明:

| 菜单项 | 说明 |
|------------|-------------|
| 求解器→设置计算模式 | 打开设置计算模式窗口 |
| 求解器→设置单位 | 打开设置单位窗口 |
| 求解器→设置背景 | 打开设置背景材料窗口 |
| 求解器→设置频率 | 打开设置频率窗口 |
| 求解器→设置边界 | 打开设置边界条件窗口 |
| 求解器→设置网格 | 打开设置网格窗口 |
| 求解器→设置输出 | 打开设置输出窗口 |
| 求解器→自定义脚本 | 打开设置自定义脚本窗口 |
| 求解器→新建波端口 | 打开新建波端口窗口 |
| 求解器→新建集总端口 | 打开新建集总端口窗口 |
| 求解器→新建馈线 | 打开新建馈线窗口 |

| | |
|---------------|--------------------------|
| 求解器→新建入射波 | 打开新建入射波窗口 |
| 求解器→馈源阵列 | 打开新建馈源阵列窗口 |
| 求解器→新建记录器[频域] | 打开新建频域记录器窗口 |
| 求解器→新建记录器[时域] | 打开新建时域记录器窗口 |
| 求解器→新建细导线 | 打开新建细导线窗口 |
| 求解器→估计 | 检测当前模型的有效性并估计当前模型需要的计算资源 |
| 求解器→运算 | 选择线程数执行计算 |
| 求解器→分析结果 | 打开当前工程的结果分析窗口 |
| 求解器→生成网格 | 打开网格剖分窗口 |
| 求解器→参数扫描 | 打开参数扫描窗口 |
| 求解器→参数寻优 | 打开参数寻优窗口 |



自定义并行划分方案

打开主菜单“求解器”→“运算”→“启动计算（自定义线程）”，设置线程数时除直接设定为一个正整数外（不超过 License 的限制），还可以使用“AxBxC”的方式输入，其中 A、B、C 分别表示并行在 X 方向、Y 方向、Z 方向划分的个数，英文字母“x”表示乘法。



如上图所示，1x2x2 表示在 X 方向分配 1 个区域，Y 方向分配 2 个区域，Z 方向分配 2 个区域，总线程数为 4。

2.1.7. “帮助(H)”菜单

帮助菜单主要用于访问自带的帮助文档系统以及查看 EastWave 的产品信息、许可信息。帮助下拉菜单中的所有操作命令如图所示。



图 2-1-7 帮助菜单

表 2-1-7 帮助菜单说明:

| 菜单项 | 说明 |
|-------------------|-----------------------------------|
| 帮助→FDTD 帮助手册 | 打开《FDTD 使用说明书》 |
| 帮助→PO 帮助手册 | 打开《PO 使用说明书》 |
| 帮助→EastWave 访问官网 | 打开 EastWave 官方网站，获取更多资料 |
| 帮助→EastWave 技术支持 | 以邮件的形式获取 EastWave 官方技术支持 |
| 帮助→EastWave 案例文档 | 打开 EastWave 案例文档 |
| 帮助→关于 EastWave... | 打开 EastWave 关于窗口，在这可以获取产品信息和许可证信息 |

2.2. 工具栏

工具栏位于 EastWave 工作界面主菜单下方，在工具栏中列出了 EastWave 中常用操作命令的快捷方式按钮，单击这些按钮可以快速地执行相应的操作命名。把鼠标悬停在工具栏按钮上，鼠标指针的下方会显示出该按钮的功能说明。本章节对 EastWave 工具栏中的工具做一一介绍。

2.2.1. 标准工具栏

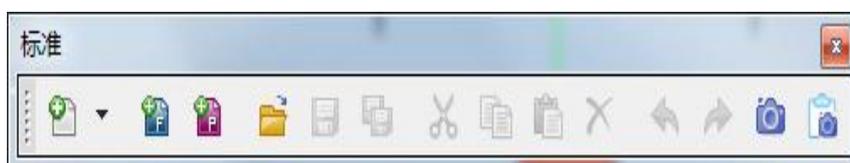


图 2-2-1 标准工具栏

表 2-2-1 标准工具栏说明:

| 图标 | 功能说明 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|  | 新建工程 |
|  | 新建 FDTD 工程 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|  | 新建 PO 工程 |
|  | 打开本地工程 |
|  | 保存当前工程 |
|  | 保存打开的所有工程 |
|  | 剪切 |
|  | 复制 |
|  | 粘贴 |
|  | 删除 |
|  | 撤销 |
|  | 返回 |
|  | 创建当前 CAD 窗口快照至本地图片文件 |
|  | 创建当前 CAD 窗口快照至系统剪切板 |

2.2.2. 视图工具栏

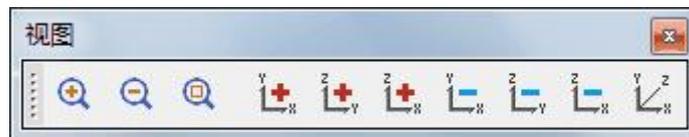


图 2-2-2 视图工具栏

表 2-2-2 视图工具栏说明:

| 图标 | 功能说明 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|  | 放大 |
|  | 缩小 |
|  | 合适比例 |
|  | 显示 XOY 正面 |
|  | 显示 XOY 背面 |
|  | 显示 YOZ 正面 |
|  | 显示 YOZ 背面 |
|  | 显示 XOZ 正面 |
|  | 显示 XOZ 背面 |
|  | 显示三维效果 |

2.2.3. 操作工具栏



图 2-2-3 操作工具栏

表 2-2-3 操作工具栏说明：

| 图标 | 功能说明 |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|  | 自动模式，在该操作模式下通过鼠标可完成大部分操作，其中鼠标左键单击为选择操作，鼠标左键按下拖动为旋转操作，鼠标中间按下拖动为移动操作。 |
|  | 选择模式，在该模式下通过鼠标左键单击选择对象，使用组合键：键盘 ctrl 键+鼠标左键可同时选中多个同类型对象。 |
|  | 移动模式，在该模式下通过鼠标左键按下拖动进行移动操作。 |
|  | 旋转模式，在该模式下通过鼠标左键按下拖动进行绕旋转中心旋转操作，旋转中心可以在菜单“查看”→“旋转中心”中指定。 |
|  | 删除模式，在该模式下通过鼠标左键单击对象执行删除操作。 |

2.2.4. 全局参数工具栏



图 2-2-4 全局参数工具栏

表 2-2-4 全局参数工具栏说明

| 图标 | 功能说明 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|  | 打开单位设置窗口 |
|  | 打开背景材料设置窗口 |
|  | 打开频率设置窗口 |
|  | 打开边界条件设置窗口 |

2.2.5. 模型工具栏



图 2-2-5 模型工具栏

表 2-2-5 模型工具栏说明：

| 图标 | 功能说明 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|
|  | 新建立方体 |
|  | 新建柱体 |
|  | 新建球体 |
|  | 新建椎体 |
|  | 新建环体 |
|  | 新建高级柱体 |
|  | 新建天线罩 |
|  | 新建其他物体 |
|  | 新建材料 |
|  | 新建激励源 |
|  | 新建记录器 |

2.2.6. 物体操作工具栏

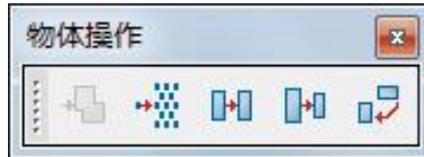


图 2-2-6 物体操作工具栏

表 2-2-6 物体操作工具栏说明:

| 图标 | 功能说明 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|  | 组操作，选中多个物体下有效。 |
|  | 创建物体阵列操作，选中物体下有效。 |
|  | 移动操作，选中物体下有效。 |
|  | 缩放操作，选中物体下有效。 |
|  | 旋转操作，选中物体下有效。 |

2.2.7. 屏幕移动/旋转工具栏



图 2-2-1 屏幕移动/旋转工具栏

表 2-2-1 屏幕移动/旋转工具栏工具栏说明:

| 图标 | 功能说明 |
|----|------|
|----|------|

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|  | 左移，沿屏幕坐标系 X 轴负方向移动。 |
|  | 右移，沿屏幕坐标系 X 轴正方向移动。 |
|  | 上移，沿屏幕坐标系 Y 轴正方向移动。 |
|  | 下移，沿屏幕坐标系 Y 轴负方向移动。 |
|  | 前移，沿屏幕坐标系 Z 轴正方向移动。 |
|  | 后移，沿屏幕坐标系 Z 轴负方向移动。 |
|  | 自上向下转，绕屏幕坐标系 X 轴从上向下转。 |
|  | 自下向上转，绕屏幕坐标系 X 轴从下向上转。 |
|  | 自左向右转，绕屏幕坐标系 Y 轴从左向右转。 |
|  | 自右向左转，绕屏幕坐标系 Y 轴从右向左转。 |
|  | 顺时针转，绕屏幕坐标系 Z 轴顺时针转。 |
|  | 逆时针转，绕屏幕坐标系 Z 轴逆时针转。 |

2.2.8. 网格工具栏



图 2-2-8 网格工具栏

表 2-2-8 网格工具栏说明：

| 图标 | 功能说明 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|  | 打开网格剖分窗口 |
|  | 显示/隐藏网格 |
|  | 显示/隐藏物体 |
|  | 显示/隐藏物体外轮廓线 |

2.2.9. 运算控制工具栏



图 2-2-9 运算控制工具栏

表 2-2-9 运算控制工具栏说明：

| 图标 | 功能说明 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|  | 打开参数扫描窗口 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|  | 打开参数寻优窗口 |
|  | 执行计算 |
|  | 打开实时场观察窗口 |

2.2.10. 显示控件工具栏



图 2-2-10 显示控制工具栏

| 图标 | 功能说明 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|  | 开始或从暂停中恢复运算 |
|  | 暂停运算 |
|  | 结束运算 |
| 截面 | 选择查看截面 |
| 位置 | 设置查看截面在该截面垂线上的位置 |
| 场分量 | 选择查看的场分量、能流分量 |
|  | 提交请求 |
|  | 增大色差 |
|  | 减小色差 |
|  | 合适色差 |
|  | 偶极显示切换 |
|  | 场平面显示与 3D 显示切换 |
|  | 开始/暂停前端显示与后端求解器之间的数据交换，该操作不暂停求解计算 |

2.2.11. 联接工具栏

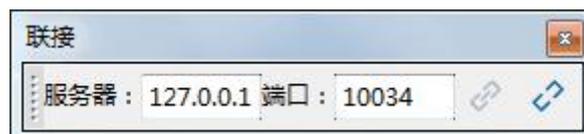


图 2-2-11 联接工具栏

表 2-2-11 联接工具栏说明：

| 图标 | 功能说明 |
|-----|---------------------|
| 服务器 | 指定运算服务器在网络中的 IP 地址， |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| | 127.0.0.1 表示本机 |
| 端口 | 指定运算服务器开放的端口号 |
|  | 连接运算服务器查看实时场 |
|  | 断开连接 |

EastWave 中不仅支持查看在本机求解计算时的实时场，还支持查看远程实时场，即求解计算在远程主机进行，而在本机查看实场的情况。该功能对 EastWave Linux 版本较实用。查看远程实时场前，需为远程服务器指定固定的 IP，并将该 IP 输入“服务器”中，在“端口”中输入求解时所分配的端口，该端口信息可以从界面上的消息栏或终端窗口中的输出信息中获得，设置完这两个参数后点击联接按钮即可实现远程实时场的查看。



无法连接到远程服务器？

如确认上面的设置无误仍无法联接到远程服务器，请检查远程服务器的防火墙配置，将上面指定的端口加入到防火墙的允许通过列表中或如不存在安全问题，可选择直接关闭防火墙。

2.3. 工作空间

工程空间窗口默认位于 EastWave 工作界面左上方。工作空间窗口通过树的形式对 EastWave 工程及计算结果进行管理，该窗口下主要包含以下内容：

- (1) 所有已载入或曾经载入过的工程文件(.ewp 文件)；
- (2) 计算结束后自动生成的与工程名称同名的结果文件（.ewd 文件），双击结果文件即可跳转到后处理窗口对结果进行查看、处理。工作空间窗口如图所示。

通过主菜单【布局】→【工作空间】操作命令，可以显示/隐藏工作空间窗口。

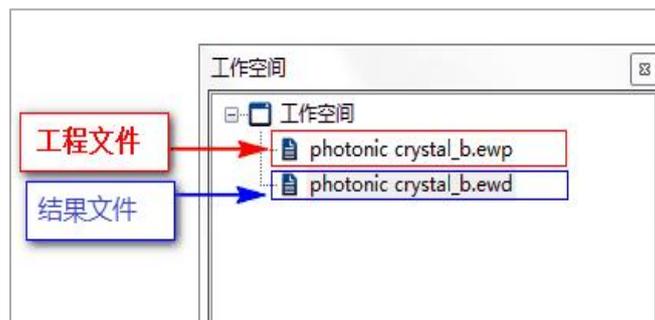


图 2-3-1 工作空间窗口



注意事项

在打开某些旧版文档时，EastWave 可能报警告称某些行内容无法识别，此时可以关闭该工程后，右键点击该工程文档并选择用文本文件方式打开，然后编辑相应行（通常可以使用 LUA 注释符号“--”注释）。

2.4. 工程管理窗口

工程管理窗口默认位于 EastWave 工作界面左下方。工程管理窗口显示当前活动的 EastWave 工程设计，通过该工程树可以便捷的查看和操作(新建、删除、修改等)当前工程的计算模式参数、模型参数、激励源参数、记录器参数及结果信息。通过点击工程树左侧的  和  按钮，可以展开和收起当前节点；通过点击  勾选和取消勾选，可以显示和隐藏对应节点的物体/激励源/记录器；在同一节点下，通过组合操作【shift 键】+【鼠标左键】连续选择或【ctrl 键】+【鼠标左键】加选多个对象。

通过主菜单【布局】→【工程管理窗口】操作命令，可以显示/隐藏工程管理窗口。

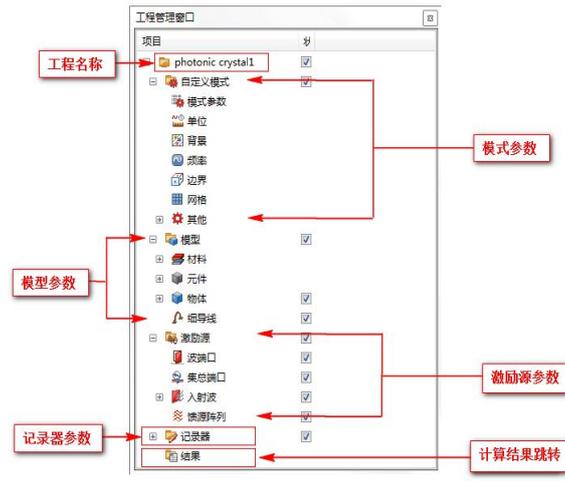


图 2-4-1 工程管理窗口

2.5. 三维模型窗口

三维模型窗口默认位于 EastWave 工作界面右方。三维模型窗口是创建、编辑和显示物体、激励源、记录器等对象的区域，默认位于软件的右侧，通过上方的 Tab 可以在各工程之间快速切换。三维模型窗口中包含如下对象：

- (1) 物体、激励源、记录器对象；
- (2) 坐标轴。位于三维模型窗口的左下方，方便快速获取当前模型的空间朝向信息；
- (3) 参考线。位于三维模型窗口中央，与全局坐标系一致，可作为模型创建过程中的位置参考对象；
- (4) 计算区域。作为计算区域范围的标识框，随计算区域范围的变化而变化；
- (5) 物体包围框和提示信息。当选中物体时显示包围框，在包围框右上角显示提示信息，其中 Name 表示物体的名称，Pmin 表示包围框 X、Y、Z 方向上的最小值，Pmax 表示包围框 X、Y、Z 方向上的最大值，Lx、Ly、Lz 分别表示包围框在 X、Y、Z 三个方向上的长度，表示格式为“[长度值/单位]”；
- (6) 标尺（新增功能）
- (7) 通过主菜单【查看】→【显示选项】下的操作命令，可以显示/隐藏三维管理窗口中的对象；通过【布局】→【选项】可以修改三维模型窗口的背景色、各坐标轴颜色、投影模式等环境参数。

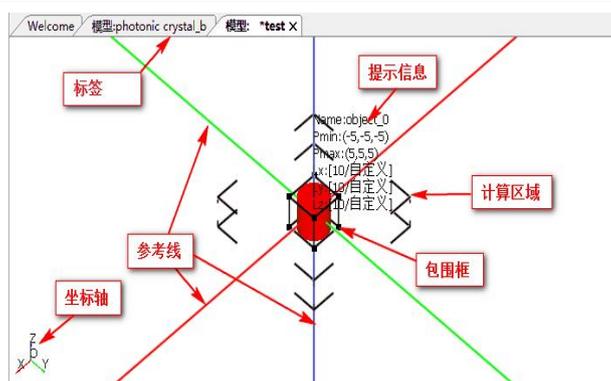


图 2-5-1 三维模型窗口

2.6. 消息窗口

消息管理窗口默认位于 EastWave 工作界面左下方。消息窗口用于显示工程设计求解过程中的各项信息。信息管理窗口下包含以下几个子窗口。

消息窗口：提示当前操作的步骤，格式：[时间]操作信息；

错误窗口：提示当初操作的错误信息，格式：[时间]错误信息，当脚本载入解析时发生错误，将给出错误在脚本中的行号信息，用户可通过该信息对脚本中错误行进行检查（可通过工作空间中工程文件右键菜单【打开方式】→【文本编辑器】，进入工程脚本编辑状态）；

其他窗口：提示不合适在信息窗口和错误窗口显示的信息；

任务窗口：查看计算任务。可方便的获取文件名信息、任务名信息、进度信息、输出路径信息和主机 IP 信息。通过计算任务鼠标右键菜单可以中止任务（执行中止操作，求解器将保存出该时间节点前的数据）、移除无效任务。双击任务，可以进入实时场观察窗口，进行实时场监测。

通过主菜单【布局】→【消息窗口】操作命令，可以显示/隐藏消息窗口。

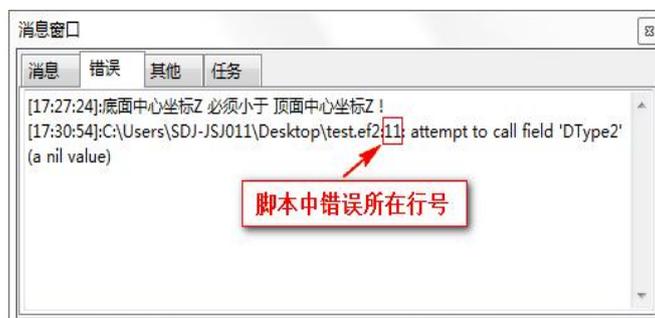


图 2-6-1 消息管理窗口

2.7. 变量窗口

变量管理窗口默认位于 EastWave 工作界面右下方。变量窗口用于工程设计中对常规变量的定义或循环变量的初始化。通过主菜单【布局】→【变量窗口】操作命令，可以显示/隐藏变量窗口。结合变量窗口，我们对 EastWave 变量系统做一个详细的介绍。

EastWave 参数设置支持变量和表达式，其中变量包括系统内置变量、常规变量和循环变量。

(1) 变量的命名规则

- 变量名首字符必须为下划线或字母，不能以数字开头；
- 变量名中不得包含#、¥、%等特殊字符，不得包含空格符；
- 通常变量名不需要重新定义，如出现重复定义的情况，变量的值以后定义的值为准，但不影响之前引用该变量旧值的表达式解析；

■ 值的定义可以通过两种方式：数值和表达式（表达式中可以包含上面已经定于过的变量）。

(2) 系统内置变量

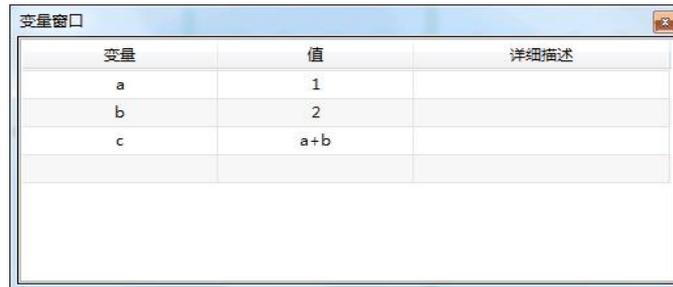
■ 系统内置变量为系统内部已经定义过的变量，用户不需要定义，可以直接调用。系统内置变量详见附录 1。

(3) 常规变量

■ 常规变量可以通过两种方式进行：预定义和即时定义。

1) 预定义

变量可以在变量窗口中进行预定义，预定义的变量可以在后面的建模过程中直接引用，变量窗口如图 5-5-1 所示。



| 变量 | 值 | 详细描述 |
|----|-----|------|
| a | 1 | |
| b | 2 | |
| c | a+b | |

图 2-7-1 变量窗口

系统从上到下对常规变量列表中的变量进行解析，因此列表中变量的定义有先后顺序性，后定义的变量可以引用前面定义的变量。下面对变量列表的操作进行介绍。

编辑：在常规变量列表中双击变量名列中的单元格，进入编辑状态，用户可新建一个变量名或对已有变量名进行修改操作，编辑完成后鼠标点击其他任意单元格退出编辑，或点击回车键跳转到下一个单元格继续编辑操作。执行同样的操作可以实现对“值”列和“详细描述”列的编辑。在定义完新的变量名和值后，系统将自动在列表的最后生成新的一行，用于新变量的定义。

删除：鼠标选中需要删除的行，在右键菜单中选择“删除”操作，删除不需要的变量。（可通过“Ctrl+鼠标左键单击”或“Shif+鼠标左键单击”选中多个变量后执行删除操作）。

移动：鼠标选中某行，在右键菜单中选择“上移”、“下移”、“移至最顶端”、“移至最底端”，即可想选中的行移动至想要的位置。

复制/粘贴：鼠标选中一行或多行，右键菜单中选择“复制”，打开另一个工程的变量表的某一行，右键菜单选择“粘贴”。用户也可以将文本编辑器或 Excel 表格编辑软件中的数据和变量表之间互相复制/粘贴。

2) 即时定义

在建模过程中，可直接使用未预定义的变量，系统将在参数提交时对变量进行检测，并弹出变量定义窗口，对未定义变量进行即时定义。如我们在新建一个立方体结构时，使用未预定义的变量 $xlen$ 来指定 x 方向的宽度，操作过程如图所示：

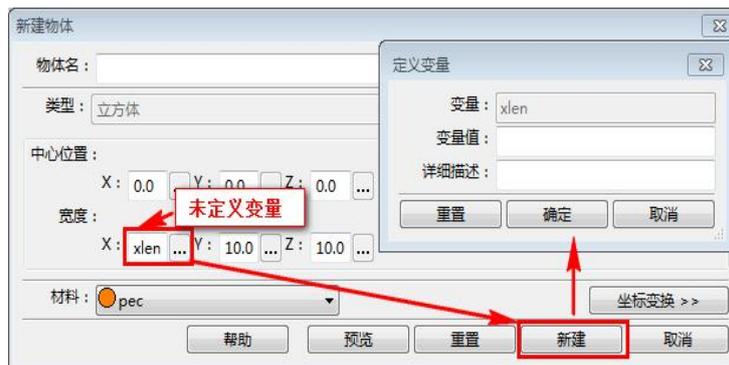


图 2-7-2 即时定义变量

变量解析

通过点击参数设置框后的...按钮，可以打开表达式编辑器，在表达式框中输入变量或表达式，可实时对变量或表达式进行解析，结果直接输出到下方的结果框中，其中，解析的结果如果是一个单值，则直接输出值的大小，如果是一个数组，则给出一个表示各维度大小的 array，并标明数组中数的类型，格式：[array(维度 1 的大小 x 维度 2 的大小 x 维度 3 的大小：数据类型)]，如果希望查看数组中的某个元素具体的值，可以使用取值操作符“[]”。表达式编辑器窗口如图所示。



图 2-7-3 变量解析

(4) 循环变量

循环变量可用于参数扫描功能和参数寻优功能中对扫描参数或优化参数的定义，循环变量的定义需通过以下两步完成：

- 1) 在变量列表中初始化循环变量，该初始值只在建模中有意义，不会参与最终的计算；
- 2) 在菜单“求解器”→“参数扫描”或“求解器”→“参数寻优”中定义与步骤 1 中相同名称的循环变量，参数扫描中循环变量值通过定义数组的方式来生成，参数寻优中，循环变量的值通过给优化的范围（最大值，最小值）来指定，如图 5-5-2 所示。

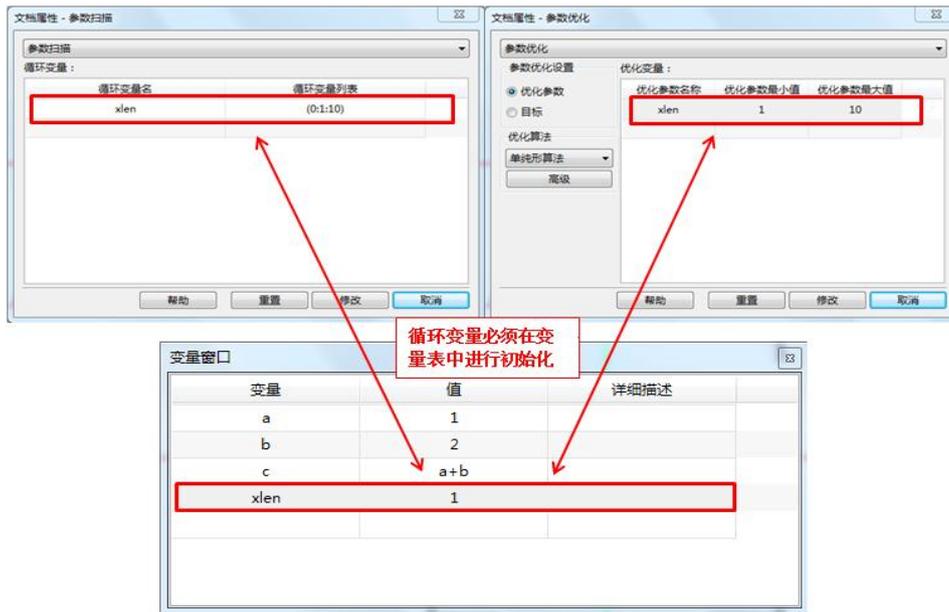


图 2-7-4 循环变量定义和使用

循环变量值的定义（数组定义）可以通过下表中几种方式实现：

表 2-7-1 循环变量定义方式：

| 函数 | 说明 |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| array(x1,x2,x3,……,xn) | 枚举型变量。该变量将依次采用 x1,x2,x3,……,xn 所对应的值。 如 a=array(1,2,3), 则： 循环第一次：a=1； 循环第二次：a=2； 循环第三次：a=3。 |
| linspace(xmin,xmax,n) | 等间隔型变量。从 xmin 到 xmax 等间隔取 n 个值。 如 a=linspace(0,10,3),则： 循环第一次：a=0； 循环第二次：a=5； 循环第三次：a=10。 |
| (xmin:dx:xmax) | 等间隔变量。从 xmin 到 xmax 每隔 dx 取值。 如 a=(1:3:10), 则： 循环第一次：a=1； 循环第二次：a=4； 循环第三次：a=7； 循环第四次：a=10。 |

array、linspace 中的 [] 操作符

通过 array、linspace 方式定义的数组，可以使用 “[]” 操作符来操作数组中的某个元素，“[]” 中为元素在数组中的位置（从 0 开始），如：

```
A=array(1,2,3);
```

B=A[2]=3;

C=linspace(0,10,3)[1]=5 ..



循环变量注意事项

- 1.循环变量的值只能通过定义数组的方式给出，其他值将无法被解析；
- 2.array、linspace 中可以使用在此之前已经定义的常规变量，也可以使用内置的函数；
- 3.循环变量在常规变量列表和循环变量列表中都需要定义；
- 4.修改变量名需谨慎，会造成引用该变量的参数无法解析。

2.8. 智能助手窗口

智能助手窗口默认悬挂于 EastWave 工作界面右方。智能助手用于引导用户快速、方便的完成工程创建。通过主菜单【布局】→【智能助手】操作命令，可以显示/隐藏智能助手窗口。智能助手如图 5-6-1 所示：

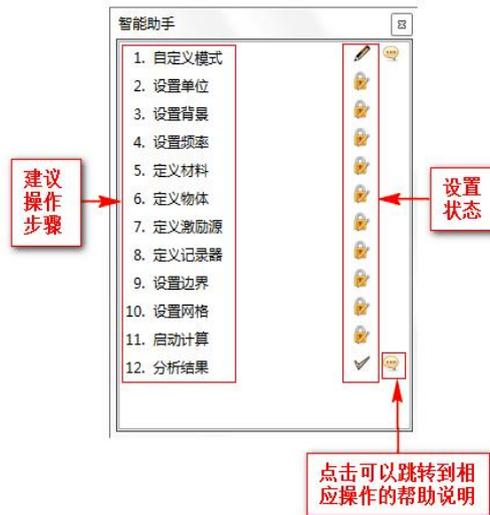


图 2-8-1 智能助手窗口

智能助手根据不同的计算模式，给出相应的指导性操作流程，按顺序对流程中的每一步进行设置，便可完成整个工程的创建，双击每一步可以进入设置窗口，点击，可跳转至帮助。智能助手能够根据工程当前参数设置情况，智能的判断每一步的设置需求，并给出设置状态。各状态标识符意义见下表：

表 2-8-1 智能助手窗口说明：

| 标识 | 说明 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|  | 系统默认，可修改 |
|  | 系统默认，推荐值，建议不改 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|  | 系统默认，不可修改 |
|  | 完全通过 |
|  | 勉强通过，警告 |
|  | 待完成，正在编辑 |
|  | 待完成，目前锁定 |



关于智能助手窗口

智能助手窗口为全局窗口，在软件同时打开多个工程的情况下，隐藏其中一个工程下的智能窗口将引起其他工程下的智能助手窗口同时被隐藏。智能助手窗口被隐藏后，可以通过菜单“布局”→“智能助手”，重新显示窗口。

2.9. 状态栏

状态栏位于 EastWave 工作界面底部，用于显示当前操作命令的说明信息。EastWave 状态栏包含以下部分：

- (1) 工程文档位置及文件名信息，位于状态栏左边；
- (2) 当前鼠标的位置信息，位于状态栏中间，只有在鼠标悬停于物体上时才给出提示。这里给出的位置信息为鼠标坐标投影到屏幕截面上的坐标，因此只作为参考，不一定是该位置在软件坐标系中的真实位置信息。



图 2-9-1 状态栏

2.10. 实时场观察器

EastWave 提供了在计算过程中观察实时场的功能。使用工具栏中的 联接工具栏 上的图标按钮可以对实时场观察器进行控制。开启 FDTD 计算后，用户可以通过两种方式打开相应的实时场观察器：

- (1) 直接双击当前计算任务的进度条；
- (2) 新建实时场观察器后设置 IP 地址、端口后联接。

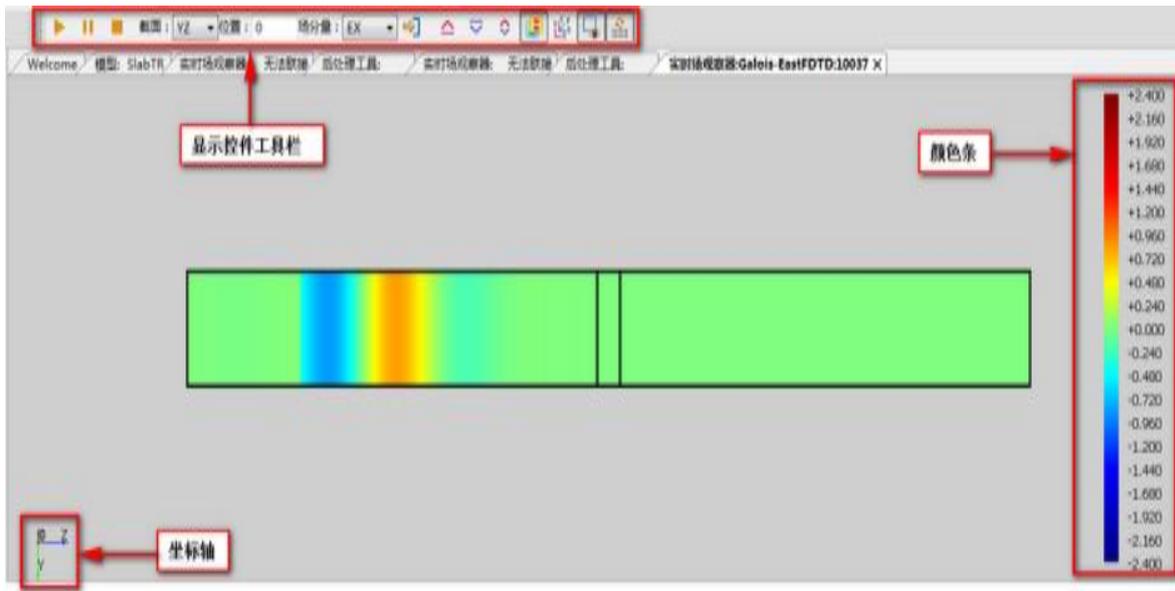


图 2-10-1 实时场观察器、显示控件工具栏

通过 显示控件工具栏 可以操控实时场观察器的截面、位置、场分量、颜色条等属性。

2.11. 后处理工具窗口

两种方法可以进入 EastWave 的后处理窗口：

- (1) 打开任意一个计算结果（包括在工程管理窗口中点击“结果”节点）；
- (2) 新建一个后处理工具。

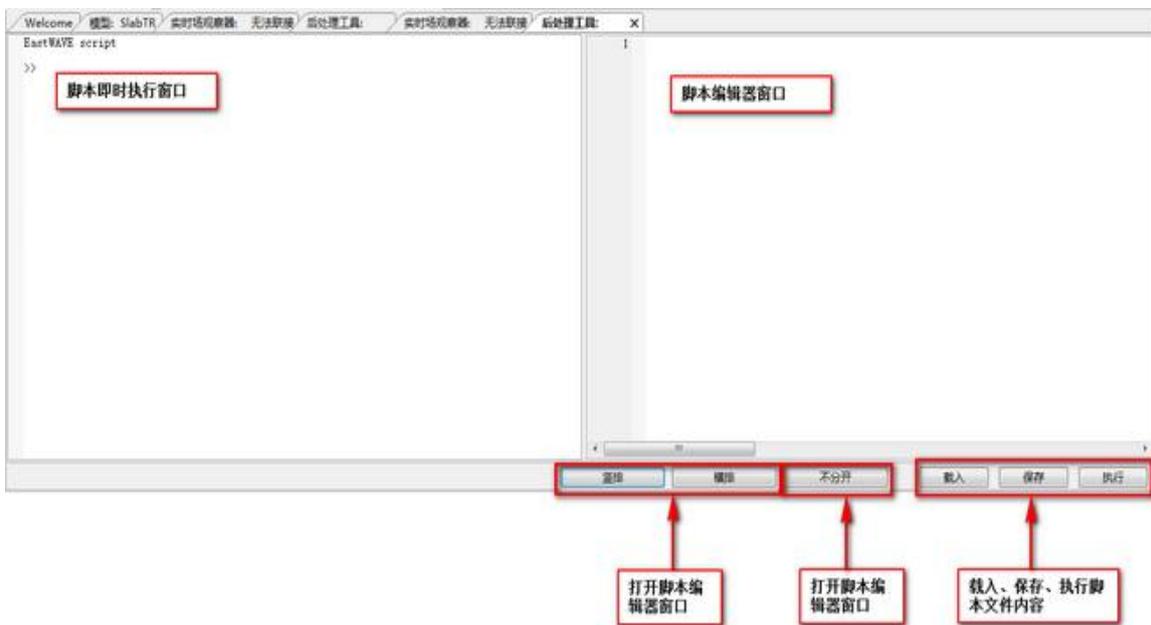


图 2-11-1 后处理工具窗口

使用 EastWave 脚本语言可操作后处理中的数据 and 图表。具体内容可参考 第七章 数据后处理和 第八章 EastWave 脚本语言。

第三章 典型仿真流程

本章节用来说明 EastWave 电磁/光电软件的仿真流程。仿真流程因仿真类型不同而不同。EastWave 的仿真类型分为两大类：（1）专业计算模式仿真类型，（2）自定义模式仿真类型。专业计算模式仿真流程是针对天线罩、雷达散射截面等专业计算模式设定。自定义模式仿真流程由从自定义模式仿真设置过程抽象出来。此外，EastWave 电磁/光电软件还具有参数扫描和参数寻优功能，本章对参数扫描和参数寻优的仿真流程也进行了说明。

有关计算模式说明请参见“1.2.2 个性化‘计算模式’亮点优势”和“第四章 计算模式”。

3.1. 计算模式仿真流程

EastWave 计算模式精简了自定义模式的设置流程，内置激励源、记录器和边界条件设置。EastWave 研发团队根据客户的需求集成开发了天线罩模式，天线阵模式，RCS 模式，雷达成像模式，电磁兼容模式。计算模式在统一的工程环境下进行严格全波仿真。本节以 RCS 模式为案例，介绍计算模式仿真的基本流程。

3.1.1. 设置计算模式及参数

首先需在模式设置对话框中根据问题的需要进行简单设置，主要是内置激励源和记录器的简单设置。

由主菜单选择文件→新建-FDTD 向导或者由工具条选项  插入 FDTD 工程，选择合适的计算模式，如图 3-1-2-1。

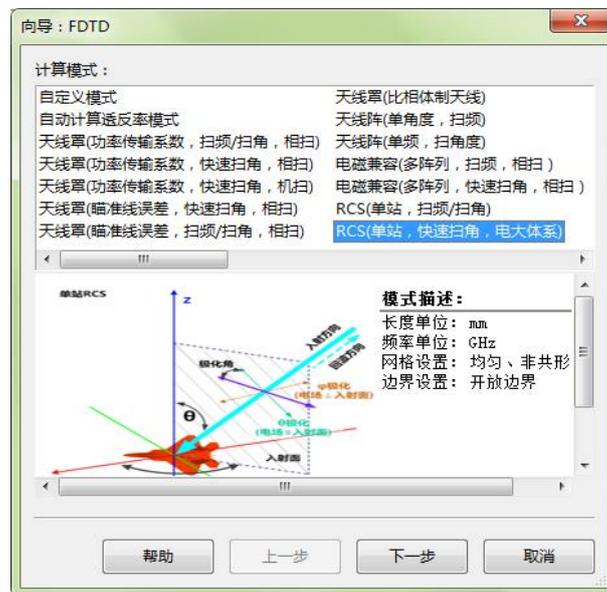


图 3-1-1-1 计算模式选择

点击“下一步”，在“计算模式”对话框中输入必要参数，主要用来设置内置激励源和记录器，如图 3-1-1-2。

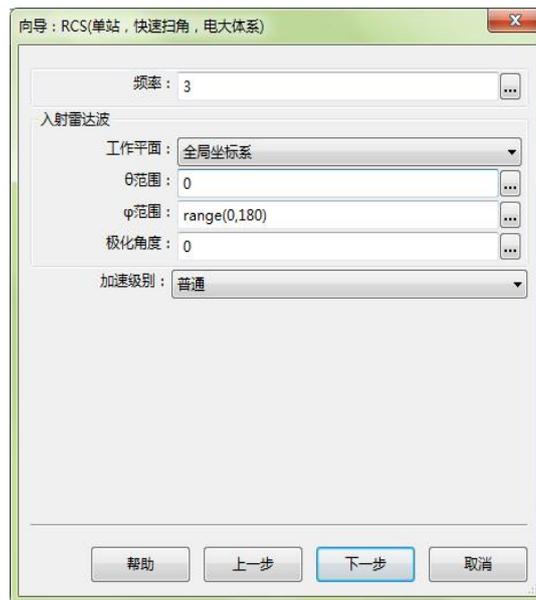


图 3-1-1-2 计算模式设置

点击“下一步”，显示计算模式参数设置报告，如图 3-1-1-3：



图 3-1-1-3 向导: 报告

3.1.2. 建立模型

(1) 定义变量

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。变量表如图 3-1-2-1：

| 变量 | 表达式 | 值 | 详细描述 |
|-----|-------|-------|-------|
| gw1 | 9 | 9 | 底板宽度 |
| gw2 | 9 | 9 | 底板宽度 |
| h | 0.018 | 0.018 | 金属板厚度 |
| hd | 1.2 | 1.2 | 介质层厚度 |
| pw1 | 5.5 | 5.5 | 贴片宽度 |
| pw2 | 5.5 | 5.5 | 贴片宽度 |
| d | 0.1 | 0.1 | 馈线直径 |
| xk | 2 | 2 | 馈线偏移 |
| | | --- | |

图 3-1-2-1 定义变量

定义变量详情请参考 6.5.3 自定义常规变量。

(2) 新建材料

点击工具条“新建材料”图标，如图 3-1-2-2，在“材料”对话框中设置材料参数，如图 3-1-2-3。



图 3-1-2-2 新建材料按钮

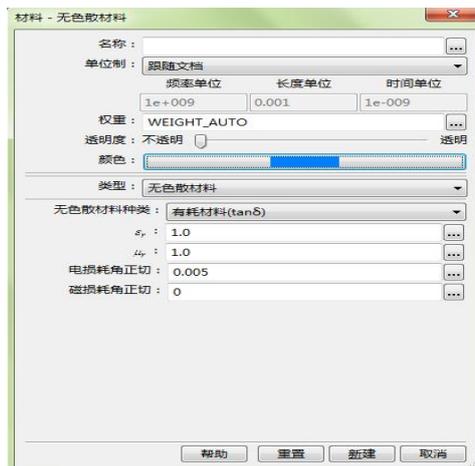


图 3-1-2-3 材料设置对话框

EastWave 支持丰富的材料类型，详情请参考 5.3 材料模块。

(3) 建立模型

直接点击工具条相应图标，如图 3-1-2-4，在“修改物体”对话框中设置模型的几何参数，如图 3-1-2-5。



图 3-1-2-4 模型工具栏



图 3-1-2-5 新建物体对话框

EastWave 内置大量高级建模模块，可快速生成复杂模型和扩展阵列。详情请参考 5.1 物体模块， 5.5 元件模块。

EastWave 支持 Lua 语言前处理，可实现更高级的建模功能，详情请参考 8.2 Lua 语言前处理。建立的模型如图 3-1-2-6。

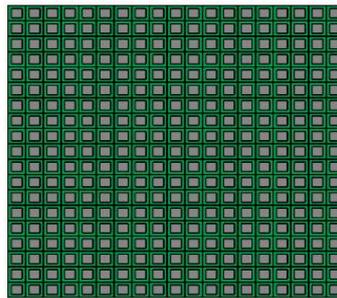


图 3-1-2-6 建立的贴片天线阵

3.1.3. 设置网格

EastWave 采用 FDTD 算法，该算法的网格为六面体网格。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精细结构。一般情况下，网格类型默认选择“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，用户通过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，控制每个维度的计算范围和网格数，并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 的帮助文档共形网格和非均匀网格，或咨询 EastWave 工程师。网格设置详情请参考 6.3 网格设置与查看。

(1) 设置网格精度

菜单栏选择“求解器”“设置网格”，如图 3-1-3-1。

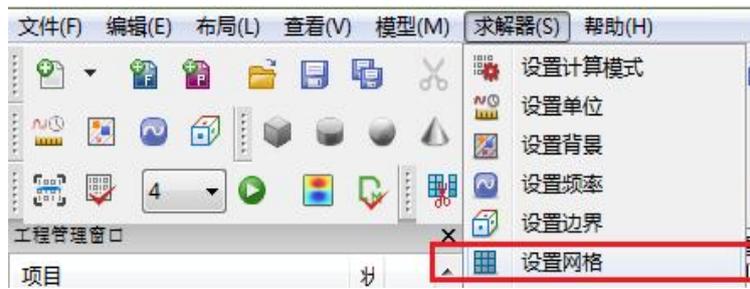


图 3-1-3-1 设置网格菜单选项

设置对话框如图 3-1-3-2:

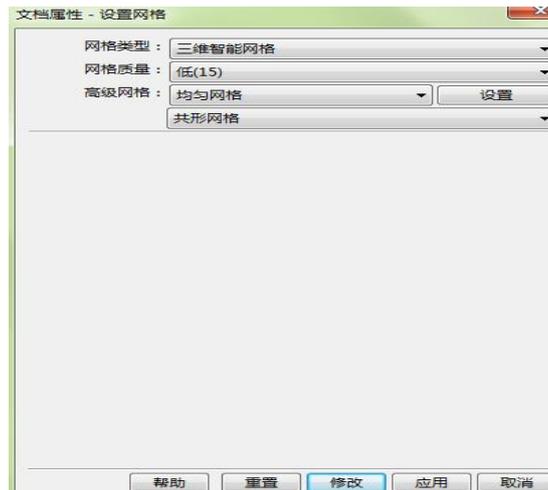


图 3-1-3-2 网格设置对话框

网格划分要保证能识别模型的精细结构（比如一些影响物理性质的微结构），模型较为简单，采用高级网格中的“均匀网格”，网格质量设置为“较低（20）”。对于金属结构，建议开启高级网格中的“非均匀网格策略二”，即可在同样网格精度下获得更准确的计算结果。

(2) 网格剖分与查看

网格精度设置完后，启动计算前可预览网格划分情况，点击网格离散化按钮，如图 3-1-3-3。



图 3-1-3-3 网格离散化工具栏

在“网格离散化”对话框中可显示网格划分信息和网格剖分情况，如图 3-1-3-4 和图 3-1-3-5。



图 3-1-3-4 网格离散化对话框

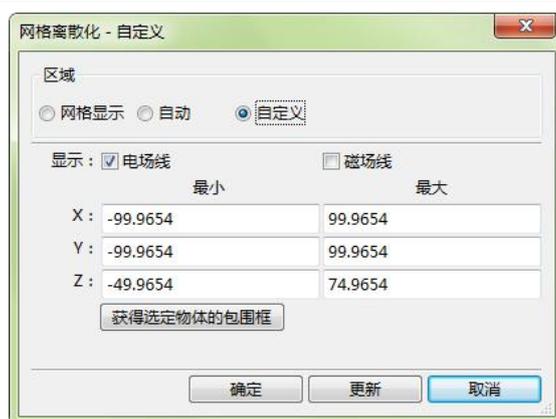


图 3-1-3-5 网格显示选项

点击可以隐藏模型而只显示网格 网格剖分查看如图 3-1-3-6。

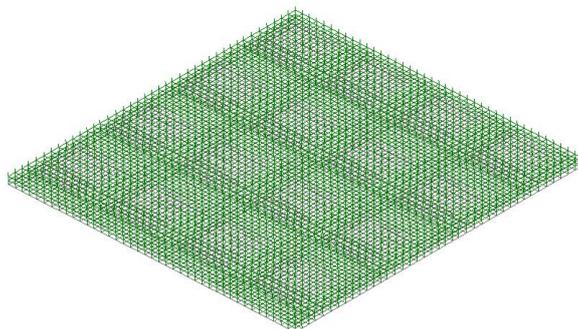


图 3-1-3-6 体网格剖分显示

网格划分应足够识别模型的外形细节。需要注意：网格的数量与内存的消耗直接相关，通常 $200 \times 200 \times 200$ 的网格量(单精度数值精度下)内存消耗约为 1GB，内存消耗随网格数量呈线性增长。一般建议 16GB 内存硬件条件下，网格数量不要超过 $500 \times 500 \times 500$ 。此外，开放边界的 PML 层数、激励源与记录器的设置和特殊计算模式等对网格内存要求也有影响。

3.1.4. 启动计算

(1) 设置线程数和启动计算

工具条中下拉选项可设置并行计算的进程数，如图红框部分，点击绿色框按钮，开始计算，如图 3-1-4-1。



图 3-1-4-1 ， 线程数和开始计算

计算开始以后，消息窗口给出提示/警告/报错信息，如图 3-1-4-2。

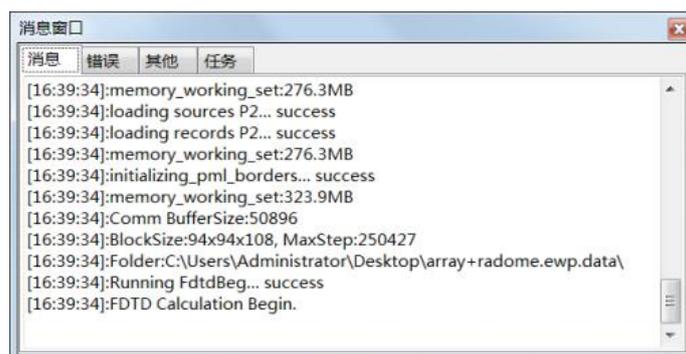


图 3-1-4-2 消息窗口

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：400/4007 表示预估总计算步数位 4007 步，当前已计算 400 步，括号中 10%为计算完成百分比。FPS 值 6.7 为当前时刻计算速度（每秒完成的计算步数），括号中 9.0m 为预估的剩余计算时间 9.0m，如图 3-1-4-3。



图 3-1-4-3 任务进度

(2) 观察实时场

EastWave 的 FDTD 算法属于时域算法，在计算过程中可实时观察电磁场的动态演化过程，方法如下：

双击“进度条”中相应任务，可以观察电磁场的演化过程，如图 3-1-4-4。

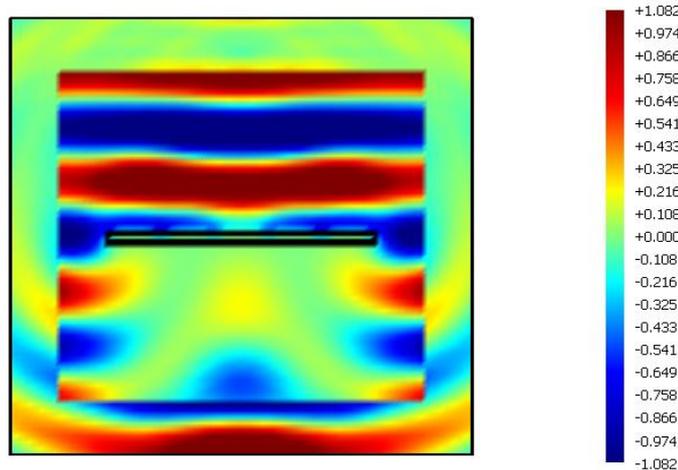


图 3-1-4-4 实时场

实时场观察工具栏如图 3-1-4-5。

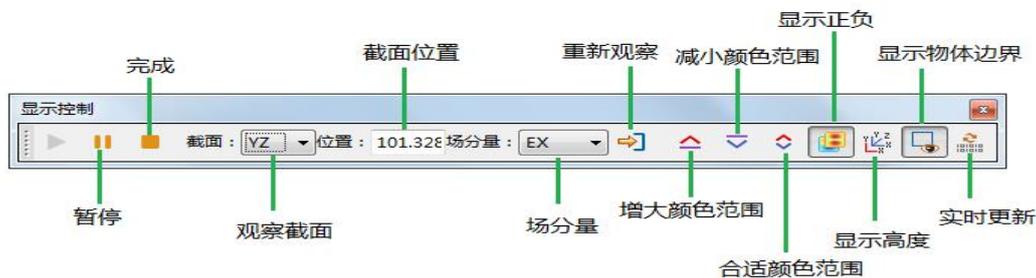


图 3-1-4-5 实时场观察工具栏

3.1.5. 查看计算结果及后处理

计算模式下的结果涵盖了针对该类工程问题的核心结果。

计算完成后，在“工程管理窗口”中鼠标双击结果，如图 3-1-5-1。

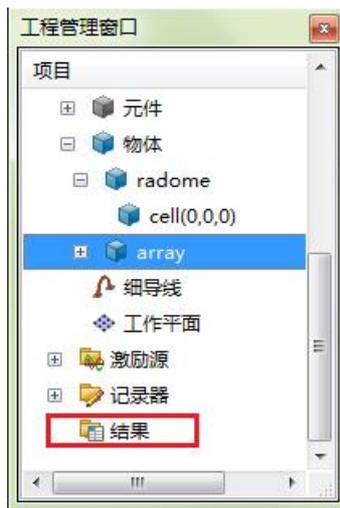


图 3-1-5-1 结果查看

打开后处理窗口如图 3-1-5-2。

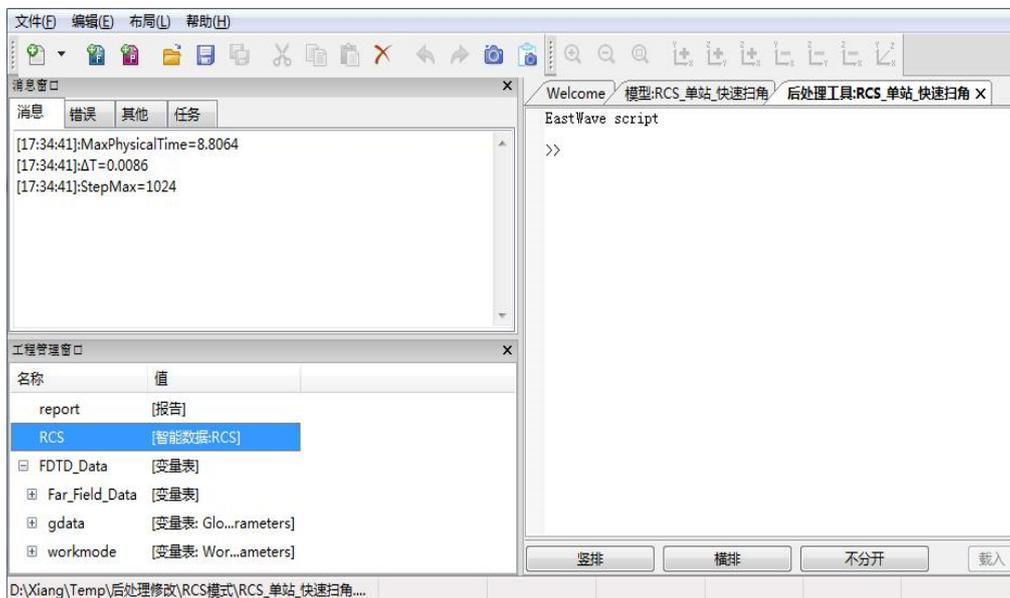


图 3-1-5-2 后处理窗口

双击相应计算结果即可查看，如图 3-1-5-3。

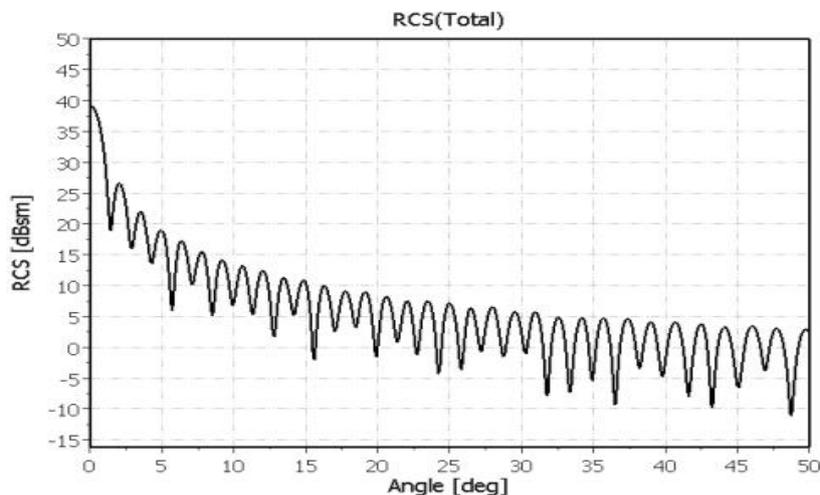


图 3-1-5-3 结果

更详细的后处理方式请参考第七章 数据后处理。

使用 EastWave 脚本语言可实现更高级的后处理功能，详情请参考 8.1 后处理脚本语言。

3.2. 自定义模式仿真流程

3.2.1. 设置计算模式和参数

由主菜单选择文件→新建-FDTD 向导,或者由工具条  选插入 FDTD 工程，选择自定义模式，如图 3-1-2-1。

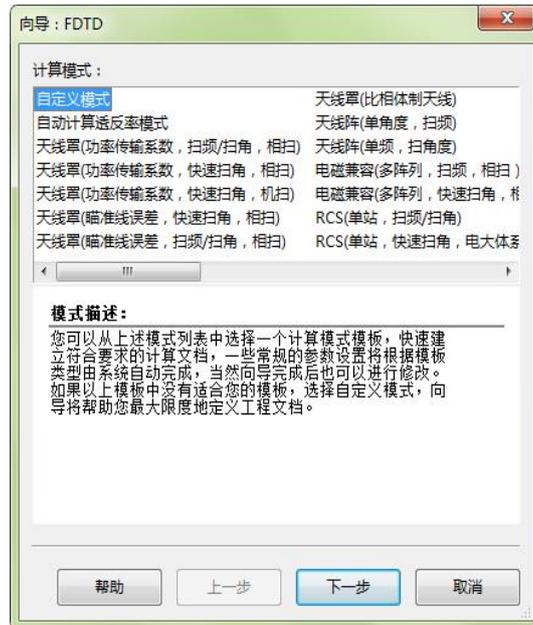


图 3-2-1-1 选择自定义模式

点击“下一步”，显示“向导：自定义模式”对话框，该向导给出了“自定义模式”的仿真流程，如图 3-2-1-2。



图 3-2-1-2 向导

点击“下一步”，设置单位，如图 3-2-1-3。

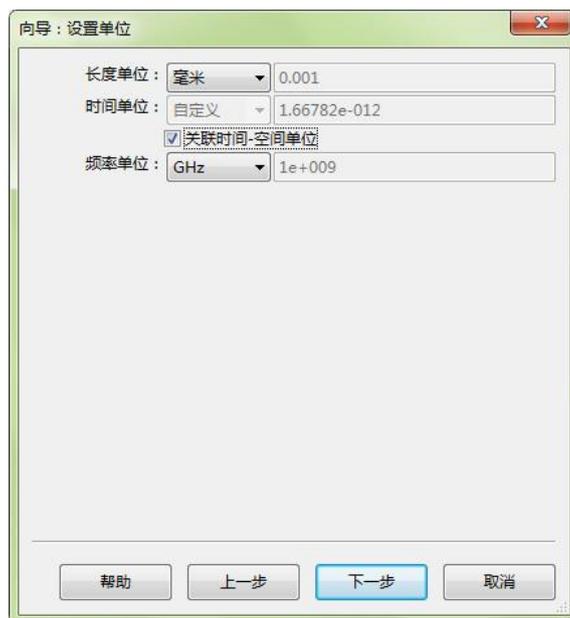


图 3-2-1-3 设置单位

点击“下一步”，设置文档频率，如图 3-2-1-4。网格参考的波长为最高频率对应的波长。

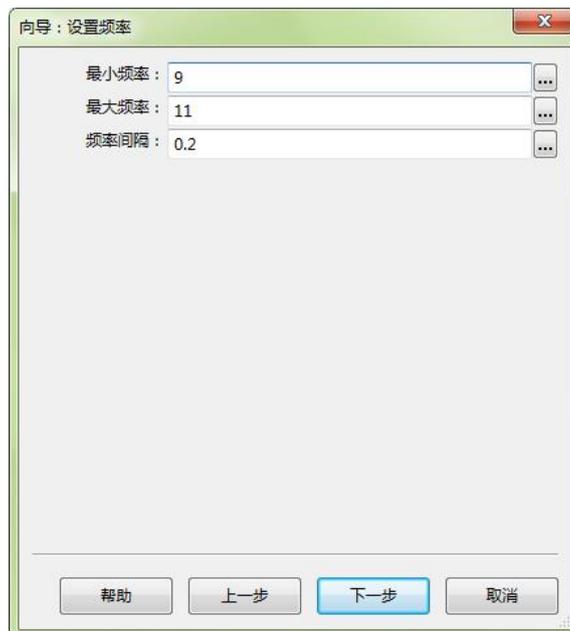


图 3-2-1-4 设置频率

点击“下一步”，设置背景材料，如图 3-2-1-5。

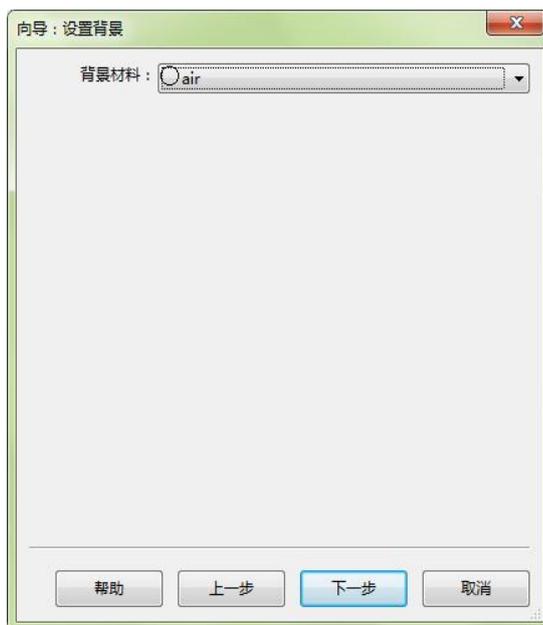


图 3-2-1-5 设置背景材料

点击“下一步”，设置边界，如图 3-2-1-6。



图 3-2-1-6 设置边界

点击“下一步”，查看报告，如图 3-2-1-7。

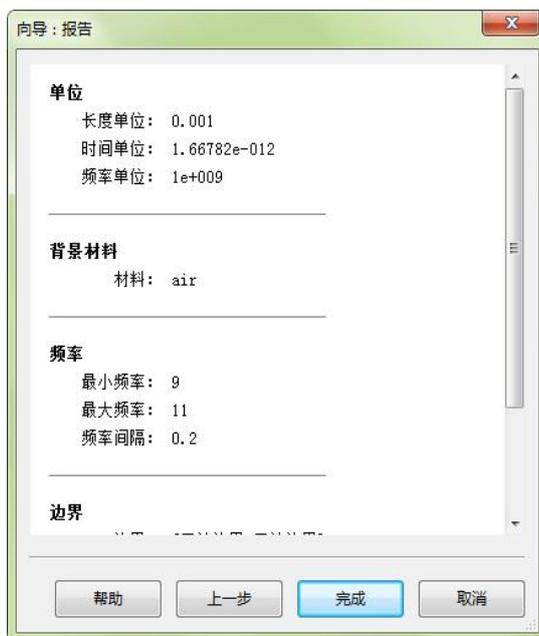


图 3-2-1-7 向导报告

点击“完成”，选择保存文件名和保存路径，如图 3-2-1-8。

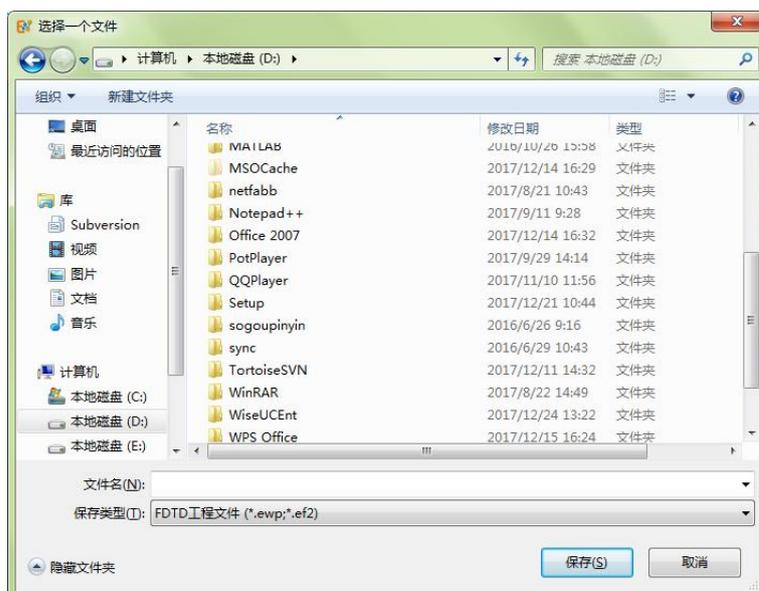


图 3-2-1-8 保存

3.2.2. 建立模型

(1) 定义变量

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。变量表如图 3-2-2-1:

| 变量 | 表达式 | 值 | 详细描述 |
|-----|-------|-------|-------|
| gw1 | 9 | 9 | 底板宽度 |
| gw2 | 9 | 9 | 底板宽度 |
| h | 0.018 | 0.018 | 金属板厚度 |
| hd | 1.2 | 1.2 | 介质层厚度 |
| pw1 | 5.5 | 5.5 | 贴片宽度 |
| pw2 | 5.5 | 5.5 | 贴片宽度 |
| d | 0.1 | 0.1 | 馈线直径 |
| xk | 2 | 2 | 馈线偏移 |
| | | --- | |

图 3-2-2-1 设置变量

定义变量详情请参考 6.5.3 自定义常规变量。

(2) 新建材料

点击工具条“新建材料”图标，如图，在“材料”对话框中设置材料参数，如图 3-2-2-2。



图 3-2-2-2 工具栏新建材料



图 3-2-2-3 材料对话框

EastWave 支持丰富的材料类型，详情请参考 5.2 材料模块。

(3) 建立模型

直接点击工具条相应图标，如图 3-2-2-4，在打开的物体对话框中设置参数，如图 3-2-2-5。



图 3-2-2-4



图 3-2-2-5

EastWave 内置大量高级建模模块，可快速生成复杂模型和扩展阵列。详情请参考 5.1 物体模块，5.5 元件模块。

EastWave 支持 Lua 语言前处理，可实现更高级的建模功能，详情请参考 8.2 Lua 语言前处理。建立的模型如图 3-2-2-6。

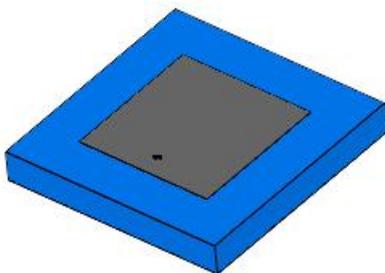


图 3-2-2-6

3.2.3. 设置激励源

激励源是激励源是模拟实际馈源的仿真元件。EastWave 支持的激励源类型详情请参考 5.3 激励源模块

自定义模式中，需要手动设置激励源。设置激励源可通过一下方式实现：

- (1) 菜单栏选择“求解器”，如下图，红框部分为激励源设置选项，如图 3-2-3-1。
- (2) “工程管理窗口”选择“激励源”，如图 3-2-3-2。

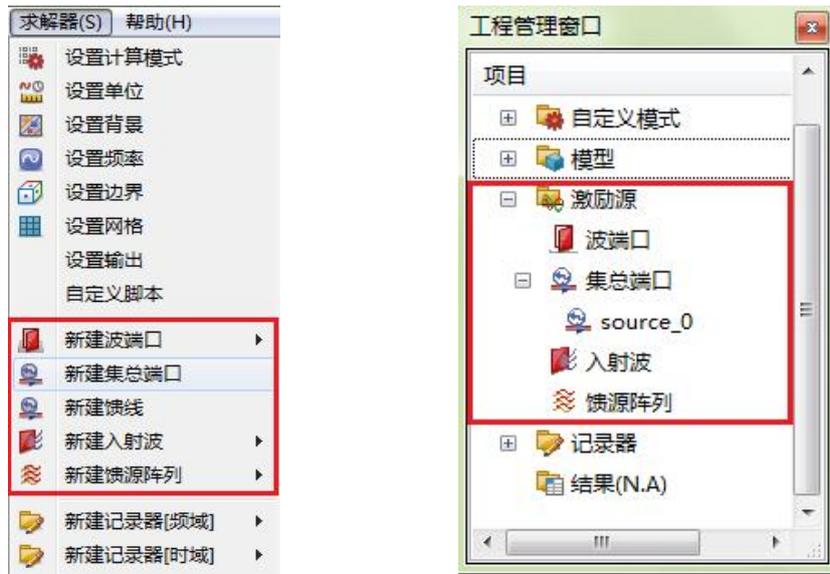


图 3-2-3-1 菜单“激励源”选项 图 3-2-3-2 “工程管理窗口”激励源

打开具体的激励源设置对话框，设置相应的参数，如图 3-2-3-3。

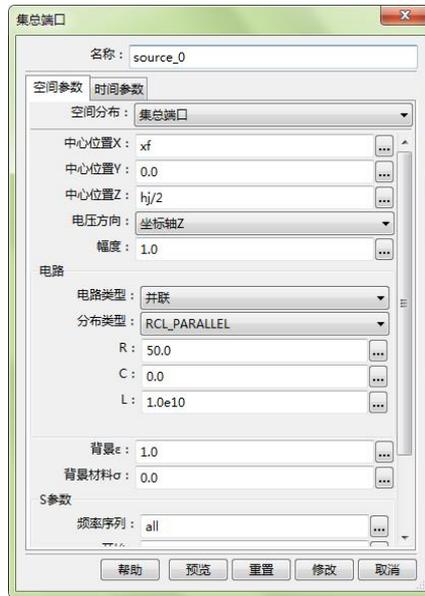


图 3-2-3-3 激励源对话框

建立的激励源如图，（图示激励源为集总端口），如图 3-2-3-4。

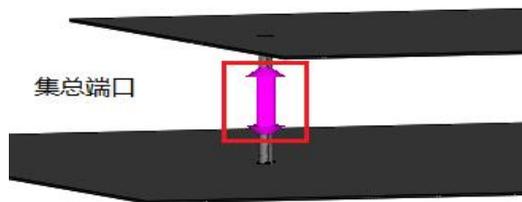


图 3-2-3-4 集总端口

3.2.4. 设置记录器

记录器用于记录用户希望得到的各种场数据，在计算结束后可查看和调用记录器的场数据。

EastWave 支持的记录器类型详情请参考 5.4 记录模块。

自定义模式中，需要手动设置记录器。设置记录器可通过以下方式实现：

- (1) 菜单栏选择“求解器”，如图，红框部分为记录器设置选项，如图 3-2-4-1。
- (2) “工程管理窗口”右键点击“记录器”，在弹出的菜单下选择合适的记录器，如图 3-2-4-2。



图 3-2-4-1 主菜单记录器选项

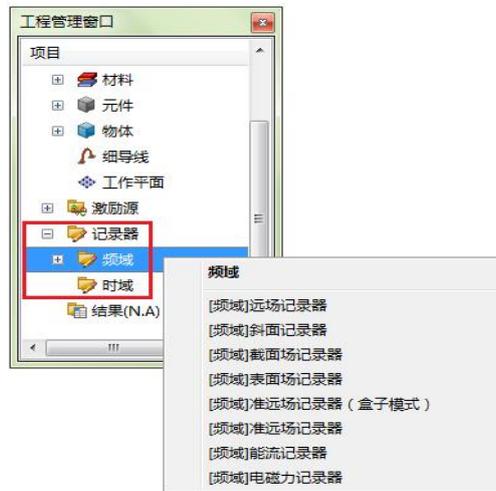


图 3-2-4-2 工程管理窗口记录器

打开具体的记录器设置对话框，设置相应的参数，如图 3-2-4-3 。

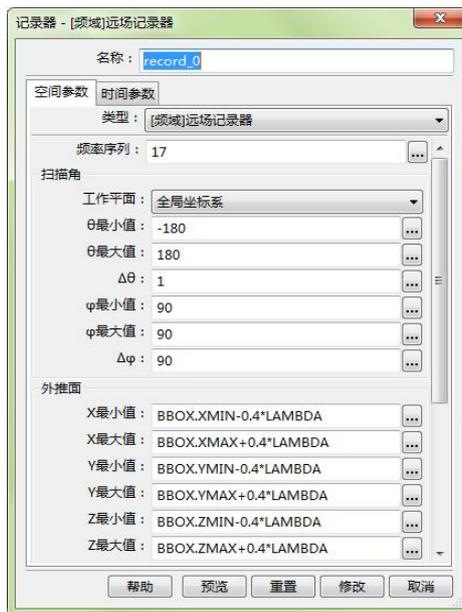


图 3-2-4-3 记录器设置

建立的记录器如图 3-2-4-4 ，黄色框为记录器的外推框（图示为频域远场记录器）。

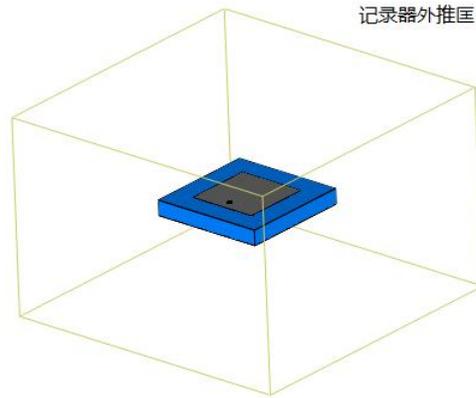


图 3-2-4-4 记录器建立

3.2.5. 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精细结构。一般情况下，网格类型默认选择“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，用户通过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，控制每个维度的计算范围和网格数，并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 的帮助文档共形网格和非均匀网格，或咨询 EastWave 工程师。网格设置详情请参考 6.3 网格设置与查看。

(1) 设置网格精度

菜单栏选择“求解器”“设置网格”，如图 3-2-5-1。



图 3-2-5-1 菜单“设置网格”选项

设置对话框如图 3-2-5-2:

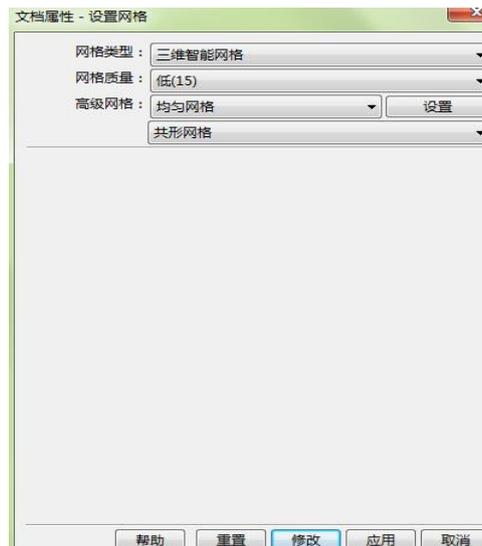


图 3-2-5-2 网格设置对话框

网格划分要保证能识别模型的精细结构（比如一些影响物理性质的微结构），模型较为简单，采用高级网格中的“均匀网格”，网格质量设置为“较低（20）”。对于金属结构，建议开启高级网格中的“非均匀网格策略二”，即可在同样网格精度下获得更准确的计算结果。其他更详细的网格设置说明请参阅 EastWave6.0 帮助手册的“网格设置与查看”。

(2) 启动计算

网格精度设置完后，启动计算前可预览网格划分情况，点击网格离散化按钮，如图 3-2-5-3。



图 3-2-5-3 网格离散化按钮

在“网格离散化”对话框中可显示网格划分信息和网格剖分情况，如图 3-2-5-4 和 3-2-5-5。



图 3-2-5-4 网格离散对话框



图 3-2-5-5 网格显示对话框

点击可以隐藏模型而只显示网格，网格剖分查看如图 3-2-5-6。

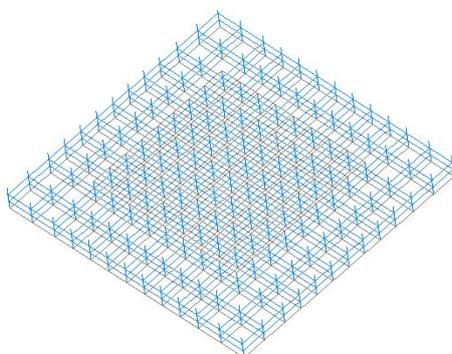


图 3-2-5-6 体网格剖分显示

网格划分应足够识别模型的外形细节。需要注意：网格的数量与内存的消耗直接相关，通常 $200 \times 200 \times 200$ 的网格量(单精度数值精度下)内存消耗约为 1GB，内存消耗随网格数量呈线性增长。一般建议 16GB 内存硬件条件下，网格数量不要超过 $500 \times 500 \times 500$ 。此外，开放边界的 PML 层数、激励源与记录器的设置和特殊计算模式等对网格内存要求也有影响。

3.2.6. 启动计算

(1) 设置线程数和启动计算

工具条中下拉选项可设置并行计算的进程数，如图红框部分，点击绿色框按钮，开始计算，如图 3-2-6-1。



图 3-2-6-1 工具栏

点击开始计算后，消息窗口给出提示/警告/报错信息，如图 3-2-6-2。

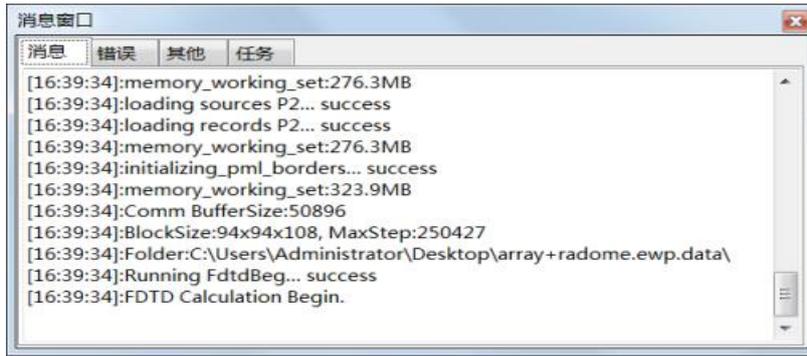


图 3-2-6-2 消息窗口

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：400/4007 表示预估总计算步数位 4007 步，当前已计算 400 步，括号中 10%为计算完成百分比。FPS 值 6.7 为当前时刻计算速度（每秒完成的计算步数），括号中 9.0m 为预估的剩余计算时间 9.0m，如图 3-2-6-3。



图 3-2-6-3 消息窗口

(2) 观察实时场

双击“进度条”中相应任务，可以观察电磁波的传播过程，如图 3-2-6-4。

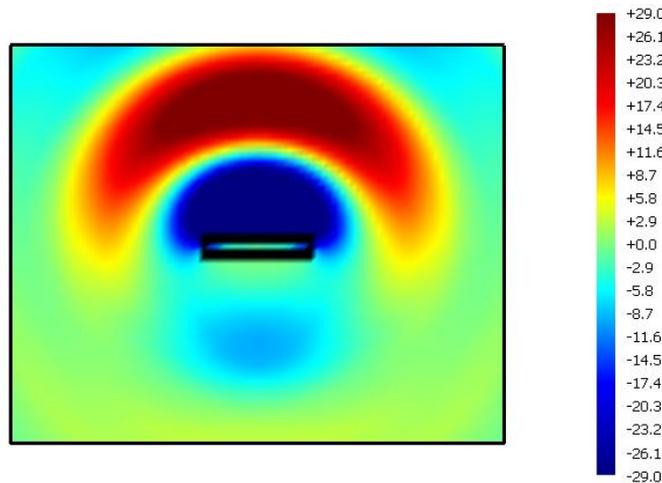


图 3-2-6-4 实时场

实时场观察工具栏如图 3-2-6-5。

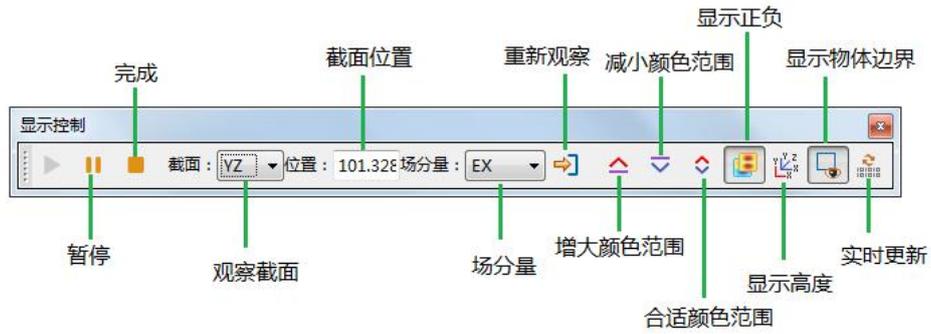


图 3-2-6-5 实时场工具栏

3.2.7. 查看结果及后处理

计算完成后，在“工程管理窗口”中鼠标双击结果，如图 3-2-7-1。

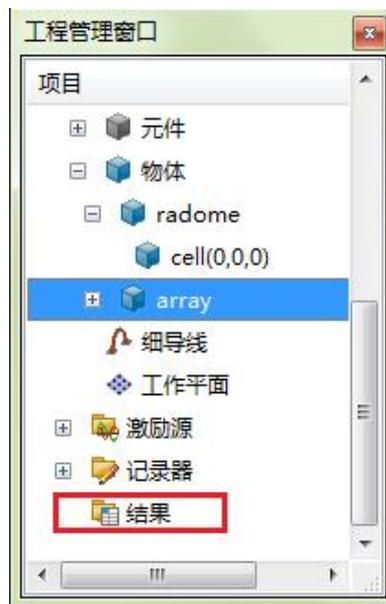


图 3-2-7-1 查看结果

打开后处理窗口如图 3-2-7-2。

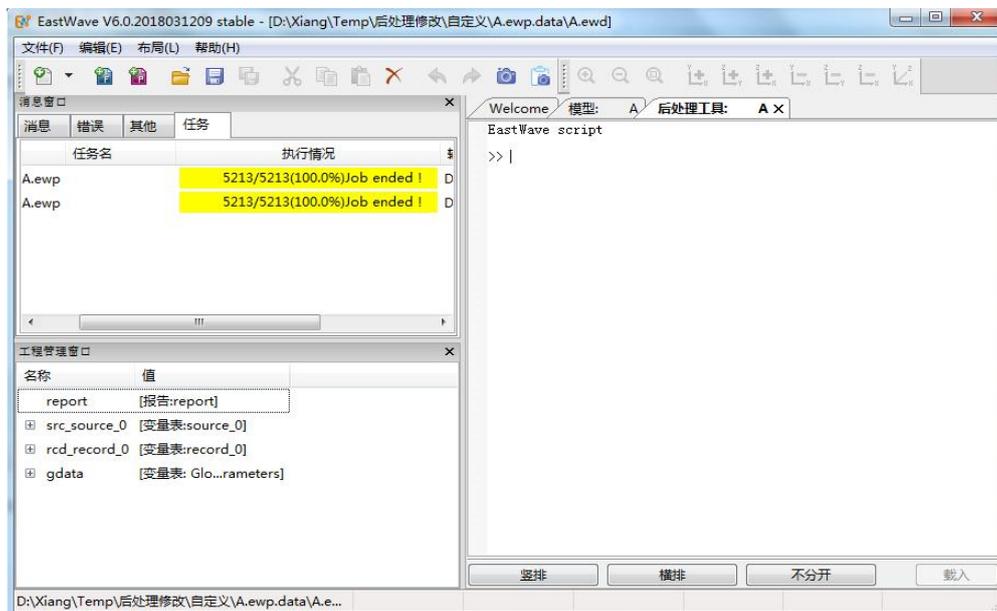


图 3-2-7-2 后处理界面

点击相应计算结果即可查看，如图 3-2-7-3。

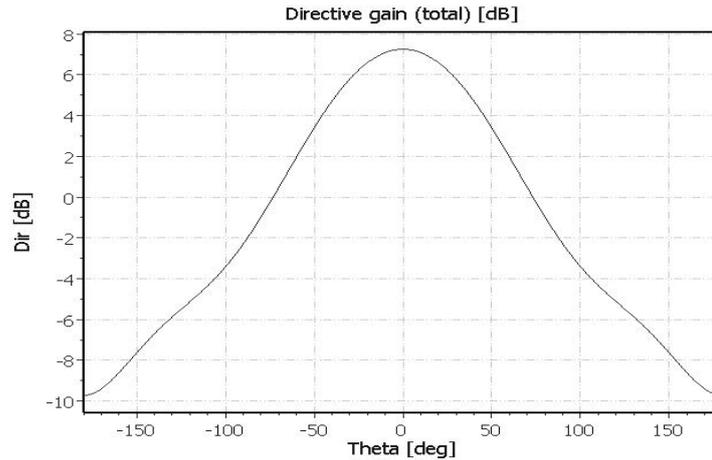


图 3-2-7-3 结果图

更详细的后处理方式请参考第七章 数据后处理。

使用 EastWave 脚本语言可实现更高级的后处理功能，详情请参考 8.1 后处理脚本语言。

3.3. 参数扫描和寻优

EastWave 支持局部优化（单纯型）和混合优化（全局+单纯型），结合 EastWave 电大体系计算优势和针对特定工程问题的快速算法，可实现快速参数寻优。

3.3.1. 参数扫描

EastWave 参数扫描功能可对自定义变量表中的一个或多个“常规变量”进行扫描计算。选择菜单“模型”-“参数扫描”或双击工具条“”，弹出“参数扫描”对话框如下图所示：

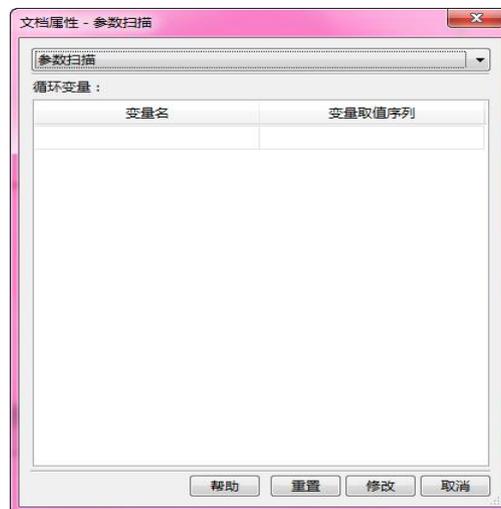


图 3-3-1 参数扫描和优化

参数扫描设置方法如下：

表 3-3-1 参数扫描对话框使用说明：

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|-----|---------------------------------|--------------|
| 变量名 | 需扫描的变量名称，输入变量窗口中已定义的常规变量（非数组变量） | 变量窗口中定义该变量时的 |

| | | |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 变量取值序列 | <p>输入数组，支持以下形式： <code>larray(x1,x2,x3,……,xn)</code>，数组枚举。扫描变量将依次采用 <code>x1,x2,x3,……,xn</code> 所对应的值。 如 <code>a=array(1,3,2)</code>，则依次扫描：<code>a=1; a=3; a=2</code>。 <code>linspace(xmin,xmax,n)</code>，等间隔数组。从 <code>xmin</code> 到 <code>xmax</code> 等间隔取 <code>n</code> 个值。 如 <code>a=linspace(0,10,3)</code>，则依次扫描：<code>a=0; a=5; a=10</code>。 <code>l(xmin:dx:xmax)</code> 等间隔数组。从 <code>xmin</code> 到 <code>xmax</code> 每隔 <code>dx</code> 取值。 如 <code>a=(1:3:10)</code>，则依次扫描：<code>a=1; a=4; a=7; a=10</code>。</p> | <p>值只影响建模效果。实际在参数扫描的计算中，变量取值以给定的变量取值序列为准。 注： 注意对于变量取值序列中的值，模型是否合理。 “变量取值序列”只要求输入的是一个数组即可，也可在上述方式调用内置函数。例如：若已定义 <code>b=1,c=PI/2</code>，可输入序列：<code>array(1,3+b,2)*sin(c)</code>，等效于 <code>array(0.5,2,1)</code>。</p> |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

3.3.2. 参数寻优

EastWave 的参数寻优功能可对自定义变量表中的一个或多个“常规变量”进行优化分析，最终得到满足条件的变量值。参数寻优设置步骤如下：

选择菜单“模型”-“参数扫描”或双击工具条“”，弹出“参数寻优”对话框：

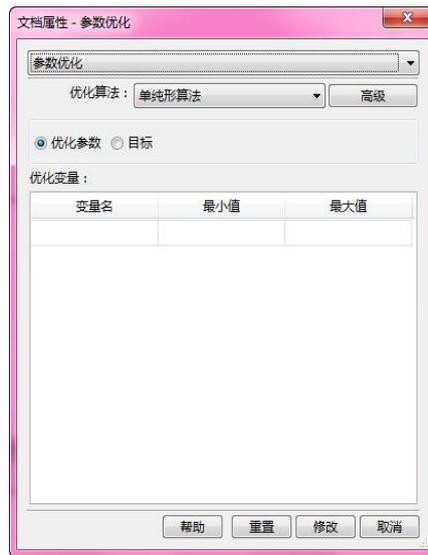


图 3-3-2 参数扫描对话框

(1) 确定需要优化的变量名和变量取值范围

在“参数寻优”页中指定需要优化的变量名和优化过程中变量允许的取值范围，输入内容如下：

表 3-3-2-1 参数扫描说明

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|-----|-------------------------------------------|----|
| 变量名 | 需优化的变量名称，输入变量窗口中已定义的常规变量（非数组变量），每行输入一个变量。 | |
| 最小值 | 优化过程中所在行的变量允许的最小值。 | |
| 最大值 | 优化过程中所在行的变量允许的最大值。 | |

(2) 确定优化目标

在“目标”页中指定“优化函数”和“优化目标”。

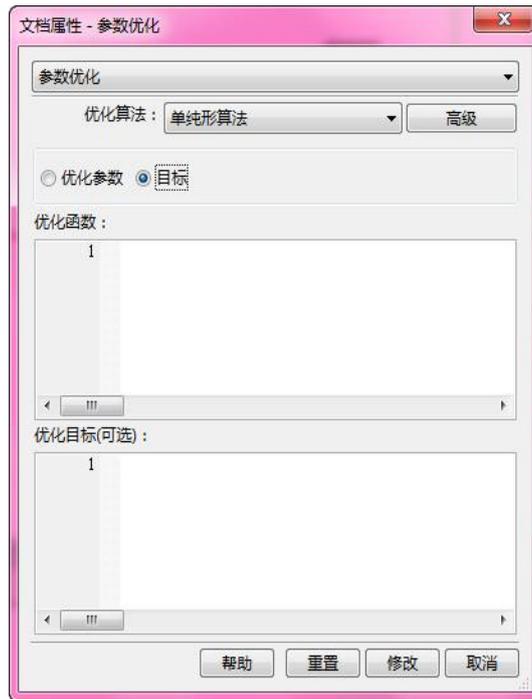


图 3-3-3 优化目标参数设置

其中“优化函数”可以是软件输出的某个结果，如自动计算透反率模式下输出的透反率系数，也可以是调用输出结果的某个目标函数。

更多情况下，通过定义“自定义脚本”，在每次计算后自动后处理返回需要的结果，在优化函数中调用该结果。此用法要求“自定义脚本”最后一行给出需返回的参量，以将该参量的值作为脚本返回值。

“优化目标”中给出结束优化的条件，即认为满足该条件时认为优化目标已达到。可以填入优化函数的目标值。

参数寻优的使用方法可参看“5.2 案例向导”中的相关案例。

(3) 确定优化算法

EastWave 中提供两种常用的优化算法：单纯形算法和混合算法。根据算法的特点，针对不同的寻优问题，应选择合适的算法：

- a. 单纯形算法：当满足条件的值集中在一个较小的范围内适用该方法；
- b. 混合算法：当满足条件的值分布于多个不同区域时适用该方法。

两种算法中，通常优先考虑单纯形算法，根据人为判断大致确定最优参数的范围。在采用单纯形算法达不到优化效果的情况下，再考虑采用混合算法。优化算法高级设置如图 5-30 所示：



图 3-3-4 优化算法高级设置

各参数对优化速度及结果的影响见下表：

表 3-3-2 参数寻优算法的比较

| 参数类型及名称 | | 全局性 | 总消耗时间 | 收敛速度 |
|---------|------|-----|-------|------|
| 单纯形参数 | 反射系数 | + | + | - |
| | 收敛系数 | - | - | = |
| | 收缩系数 | - | - | + |
| | 初始半径 | + | + | = |
| | 放大系数 | + | + | - |
| 遗传算法参数 | 代数 | + | + | = |
| | 变异率 | + | = | - |
| | 种群数 | ++ | + | = |
| | 淘汰率 | - | = | + |
| | 交叉率 | ? | = | ? |

其中，“+”表示正比关系，“-”表示反比关系，“=”表示线性无关，“?”表示关系不确定。全局性越高优化得到的结果越接近最优解。

(4) 执行优化

设置完优化参数后，即可启动计算开始循环搜索最优解，计算结束后将在后处理脚本数据树 gdata 下给出优化后的参数值和优化目标值。关于数据后处理可参见 第七章 数据后处理。

第四章 计算模式

本章节用来详细说明各个专业计算模式的功能、模式设定、输入参量、结果输出等。专业模式是省去了设置激励源、记录器和边界条件的步骤，计算完成后直接给出核心结果。在使用计算模式之前用户需要对模式的功能，模式参数的定义以及计算结果的输出有明确的理解。本章对此进行了说明。有关计算模式的其他介绍请见“1.2.2 个性化“计算模式”亮点优势”和“第三章 典型仿真流程”。

针对用户的工程需求，东峻研发团队集成开发，包括：天线罩模式、天线阵模式、RCS 模式、成像模式、电磁兼容模式。专业模式包含东峻针开发的独特快速算法，对于电大体系，相比于传统 FDTD 算法，可获得至少 10 倍以上的速度提升。

4.1. 自定义模式

在自定义模式下，用户需要对仿真问题的各个环节有深入的理解和设计，手动设置激励源，记录器和边界条件。在后处理部分，用户可能还要根据记录器的数据做进一步处理得到合适的结果。自定义模式操作流程请参考第三章 3.2 自定义模式仿真流程。

4.2. 自动计算透反率模式

● 概述

计算无穷大周期结构的透射/反射率（两端口 S 参数）的频率响应。计算模式根据输入参数（频率范围和入射方向等）和模型结构，自动设置激励源和记录器，计算结束后自动完成后处理，输出透射率/反射率。

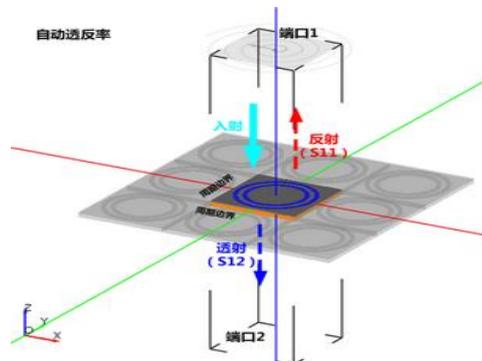


图 4-2-1 自动计算透反率计算模式示意图

• 模式设定

单位（默认设置）：

长度单位：mm

时间单位：自动关联长度单位

频率单位：GHz



注意事项

光电仿真类用户可根据情况修改单位设置。

激励源：

空间分布：扩展激励源（高斯窗），无限宽。

时域波形：脉冲（信号频率范围覆盖输入的频率范围）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“入射方向”。

位置：距离计算区域边界 5 个网格。

记录器：

类型：时域截面场平均。

位置：距离计算区域边界 3 个网格（透射和反射记录器分别位于激励源的发射方向和背向）。

边界设置：

入射/反射方向：开放边界（默认：16 层 PML 吸收边界）。

其他方向：周期边界。

- 模式视图



图 4-2-2 设置单位

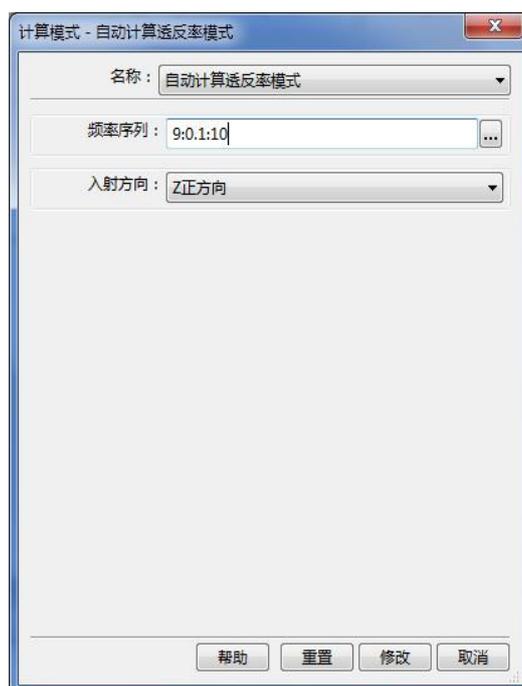


图 4-2-3 自动计算透反率模式设置窗口

- 输入参数

表 4-2-1 自动计算透反率输入参数

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 频率序列 | 输入形式：频率下限 a:频率间隔 b:频率上限 c。 例如，输入 9:0.1:10，表示计算频率范围 9GHz~10GHz，间隔 0.1GHz。 | 频率间隔越小，需要的计算时间越长。除非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小于中心频率的 1/100。 |
| 入射方向 | 选择电磁波的入射方向。 | 通常垂直于结构周期方向（正入射）。 |
| 保存场数据 | 是否保存自动后处理所使用的场数据。 | 保存场数据占用的磁盘空间较大。 |

- 输出结果

表 4-2-2 自动计算透反率输出结果：

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|------------|-------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ratio_TR | | | 透射率和反射率随频率的响应关系。包含 2 个方向的极化：A polarization 和 B polarization。每个极化方向的透反率可按照 magnitude(幅值透反系数)，Intensity（能量透反系数），dB 和 phase（相位）查看。 | 极化定义： A 极化：电矢量 E 的振动方向平行于入射轴下一轴。 B 极化：电矢量 E 的振动方向垂直于入射轴下一轴。 (例如，入射方向为 X 正方向，则 A 偏振电场沿 Y 轴，B 偏振电场沿 Z 轴。) |
| FDTD__Data | gdata | | 变量信息 | |
| | data | sys_source | 激励源时域波形 | |
| | | sys_record_ra | 反射记录器 A 极化信息 | |
| | | sys_record_rb | 反射记录器 B 极化信息 | |
| | | sys_record_ta | 透射记录器 A 极化信息 | |

| | | | | |
|--------|--|---------------|---------------|--|
| | | sys_record_tb | 透射记录器 B 极化信息 | |
| report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |



注意事项

1. 此计算模式中垂直于入射方向的横向边界设定为周期边界，适合计算垂直于结构周期方向的透射/反射率。若结构倾斜，请注意结构沿周期边界方向延拓后的体系是否需要计算的体系。
2. 计算模式采用时域记录器，反射方向的记录器采用了时域门技术截断了激励源本身微弱的背向发射信号。
3. 计算模式采用 45 度偏振激励源激励，记录器分别记录 0 度和 90 度场分量，后处理中自动对入射信号幅度进行了归一化处理。

4.3. 天线罩计算模式

天线罩计算模式可完成多频点、多角度的各种天线罩性能的仿真计算。计算目标包括透波率、BSE、和方向图等指标，角度扫描方式包含相扫和机扫两种类型。天线罩模式包含东峻针对该模式开发的快速算法，该计算模式配合 EastWave 丰富的天线罩建模功能和频选建模功能可快速高效的完成天线罩仿真。

4.3.1. 天线罩（功率传输系数，扫频/扫角，相扫）

● 概述

计算指定角度下，天线罩功率传输系数（透波率）随频率或角度的变化。模式使用口面（口径场）仿真发射天线，且口面发射方向固定朝向 Z 轴正方向。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（发射天线工作频率范围，发射天线口面参数、扫描角度、极化等）→ 建立天线罩模型 → 计算，计算模式根据发射天线的设置自动完成发射角扫描，得到天线罩透波率的频率响应 → 分析结果。

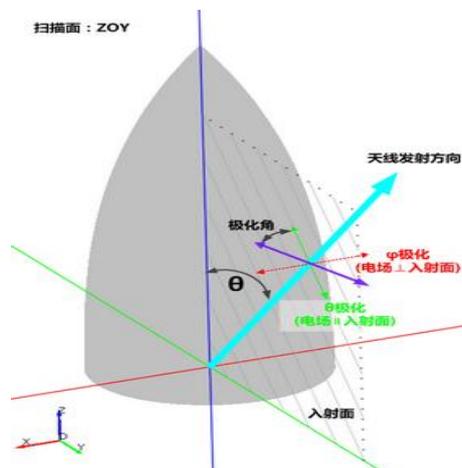


图 4-3-1 -1 天线罩（功率传输系数，扫频/扫角，相扫）计算模式示意图

- 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：发射天线口径场分布，根据输入的模式参数“发射天线-口面幅度分布”。

时域波形：脉冲（信号频率范围覆盖输入的频率范围）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“发射天线-扫描角 θ ”和“发射天线-扫描角 ϕ ”。

极化角度：根据用户输入的模式参数“发射天线-极化角度”。

位置：根据用户输入的模式参数“发射天线-口面中心”和“发射天线-口面宽度”。

记录器：

类型：时域远场记录器。

远场方向：激励源发射方向。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

- 模式视图



图 4-3-1-2 天线罩（功率传输系数，扫频/扫角，相扫）模式设置窗口

- 输入参数

表 4-3-1-1 天线罩（功率传输系数，扫频/扫角，相扫）模式输入参数：

| 输入项 | | 说明 | 备注 | |
|------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 频率范围 | | <p>输入发射天线工作频率范围。</p> <p>默认输入范围: <code>range(频率下限 a, 频率上限 b)</code>。例如, 输入 <code>range(1,2)</code>, 表示计算频率范围 1~2GHz, 频率间隔自动生成。</p> <p>可选输入序列: 频率下限 <code>a</code>: 频率间隔 <code>b</code>: 频率上限 <code>c</code>。例如, 输入 <code>1:0.1:2</code>, 表示计算频率范围 1~2GHz, 间隔 0.1GHz。</p> | <p>输入频率序列可指定频率间隔, 频率间隔越小, 需要的计算时间越长。</p> <p>计算结果中的频率响应曲线频率间隔小于或等于指定的频率间隔, 频率位置可能和输入的频率值略有偏移。</p> | |
| 发射天线 | 口面中心 | <p>设置发射天线等效口面的中心坐标和宽度。“口面宽度”设定应大于或等于发射天线在 X、Y 方向的最大尺寸。在以“口面宽度”为边长的正方形区域内, 通过口面幅度分布来设置实际有效的口面区域(幅度为 0 的区域为空气)。</p> | 口面尺寸一般远大于波长。 | |
| | 口面宽度 | | | |
| | 口面幅度分布 | 等幅分布 | 口面上各点电场幅度值相等, 默认为 1。 | |
| | | 导入二维幅度文件 | <p>导入二维幅度分布文件, 文件格式为二维数组:</p> <ol style="list-style-type: none"> 每一列对应一个 X 坐标, 随列序号增加对应 X 坐标增加, 行对应 Y 方向; 数据映射: 第一列(行)数据映射到口面 X (Y) 最小坐标, 最后一列(行)数据映射到口面 X (Y) 最大坐标; 数组元素的值对应相应坐标的幅度值, 按灰度显示相对幅度, 黑色对应幅度值最大。 | <p>文件格式示例:</p> <pre>A(1,1) A(2,1) A(3,1) ... A(1,2) A(2,2) A(3,2) ... A(1,3) A(2,3) A(3,3) A(X,Y)</pre> <p>注: 文本文件编码格式为 ANSI。</p> <p>对非正方形口面, 可设置一个正方形口面完整覆盖目标口面, 并将多余区域的幅值设置为 0。</p> |

| | | | |
|--|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 导入坐标幅度文件 | <p>导入坐标幅度分布文件，文件格式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第一列为 X 坐标，第二列为 Y 坐标，第三列为对应坐标[X,Y]的幅度值； 2. 坐标值[X,Y]应在以“口面宽度”为边长的正方形区域内，超出该区域的坐标对应幅值被忽略，未设置幅度或幅度为 0 的坐标为空气； 3. 数组元素的值对应相应坐标的幅度值，按灰度显示相对幅度，黑色对应幅度值最大。 | <p>文件格式示例：</p> <pre>1 1 A(1,1) 1 2 A(1,2) 1 3 A(1,3) ...</pre> <p>注：文本文件编码格式为 ANSI。 对非正方形口面，可设置一个正方形口面完整覆盖目标口面，并将多余区域的幅值设置为 0，或导入文件不包含幅值为 0 的坐标。</p> |
| | 按泰勒函数指定幅度分布 | <p>电场幅度按泰勒分布填充于以“口面宽度”为边长的正方形区域内。填写形式：taylor(m,n)，其中 m 为副瓣电平绝对值，n 为等副瓣数。</p> | <p>填写示例：taylor(30,5)，表示副瓣电平 30，等副瓣数为 5。</p> |
| | 工作平面 | <p>使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义扫描面、扫描角 θ 和极化角度。</p> | <p>工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。</p> |
| | 扫描角 θ | <p>发射天线在极坐标下的发射角 θ 和 ϕ，θ 和 ϕ 中必须有一个只输入单值，另一个可以输入数组。</p> | <p>计算模式锁定发射天线指向 Z 正方向，扫描面只能选择 ZOY 或 YOZ 面，且建模时天线罩头应朝向 Z 正方向。</p> |
| | 扫描角 ϕ | | |

| | | | |
|--|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 极化角度 | <p>极化角定义：取发射方向和“参考坐标系”Z轴共同所在面为参考面，极化角为0度时电矢量平行于参考面（即只含θ偏振分量，垂直极化），90度时垂直于参考面。</p> <p>参考坐标系：勾选了“在工作平面下定义”，则为所选工作平面的“局部坐标系”，否则为全局坐标系。</p> | <p>当入射方向沿Z轴时，极化角0（90）度对应电矢量沿$\phi=0$（90）度方向。</p> <p>注：可在以所选工作平面的“局部坐标系”定义发射角的情况下，仍以“全局坐标系”定义极化角度。</p> |
|--|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

• 输出结果

表 4-3-1-2 天线罩（功率传输系数，扫频/扫角，相扫）模式输出结果

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|---------------------|-----------------------------------|------|------------------------------------------------------|------------------------|
| Trans_theta | | | 透波率随角度 θ 的响应关系。可选择不同频点，不同方位角 ϕ 查看。 | |
| Trans_phi | | | 透波率随角度 ϕ 的响应关系。可选择不同频点，不同俯仰角 θ 查看。 | |
| Trans_freq | | | 透波率随频率freq的响应关系。可选择不同俯仰角 θ ，不同方位角 ϕ 查看。 | |
| Directivity_2d | | | 带罩二维方向图。可选择不同频率freq，不同俯仰角 θ ，不同方位角 ϕ 查看。 | |
| Far_Field_SmartData | ScanAngle_0 ScanAngle_1 ... | | 远场智能数据。可查看每个扫描角远场方向的详细信息，包含带罩方向图，电场强度，相位 | 需在模式设置对话框“远场智能数据”选项旁勾选 |

| | | | | |
|-----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | | | 等信息,精度任意可调。 | “启用” |
| FDTD_Data | results | ScanAngle_0 ScanAngle_1 ... | FDTD 仿真数据。包含每个扫描角下的激励源数据信息,远场时域和频域详细信息。 | 通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据,可实现更高级的后处理功能。 |
| | gdata | | 变量信息 | |
| | workmode | | 计算模式输入参数和相关参数 | |
| Report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |



注意事项

1. 此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 $LAMBDA/2$, 若手动设置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。

4.3.2. 天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫）

● 概述

计算特定频率下, 天线罩功率传输系数(透波率)随发射天线扫描角的变化, 同时给出方向图随扫描角的变化。模式使用口面(口径场)仿真发射天线, 且口面发射方向固定朝向 Z 轴正方向。

此模式的一般仿真流程: 设置基本参数(发射天线工作频率, 发射天线口面参数、扫描角度、极化等) → 建立天线罩模型 → 计算, 计算模式根据发射天线的设置自动完成发射角扫描, 得到天线罩透波率的角度响应和波束方向图等 → 分析结果。

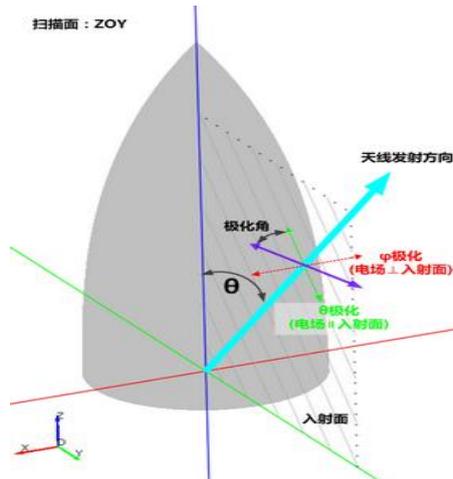


图 4-3-2-1 天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫）计算模式示意图

- 模式设定

单位:

长度单位: 1mm。

时间单位: 自动关联长度单位。

频率单位: GHz。

激励源:

空间分布: 发射天线口径场分布, 根据输入的模式参数“发射天线-口面幅度分布”。

时域波形: 持续波(单频)。

发射方向: 根据用户输入的模式参数“发射天线-扫描面”和“发射天线- θ 范围”。

极化角度: 根据用户输入的模式参数“发射天线-极化角度”。

位置: 根据用户输入的模式参数“发射天线-口面中心”和“发射天线-口面宽度”。

记录器:

类型: 频域远场记录器。

远场方向: 激励源发射方向。

位置: 若物体包围框完全位于计算区域内, 记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间; 若物体超出计算区域, 则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置:

开放边界(默认: 6层 PML 吸收边界)。

其他:

根据输入角度范围自动完成角度扫描。

- 模式视图

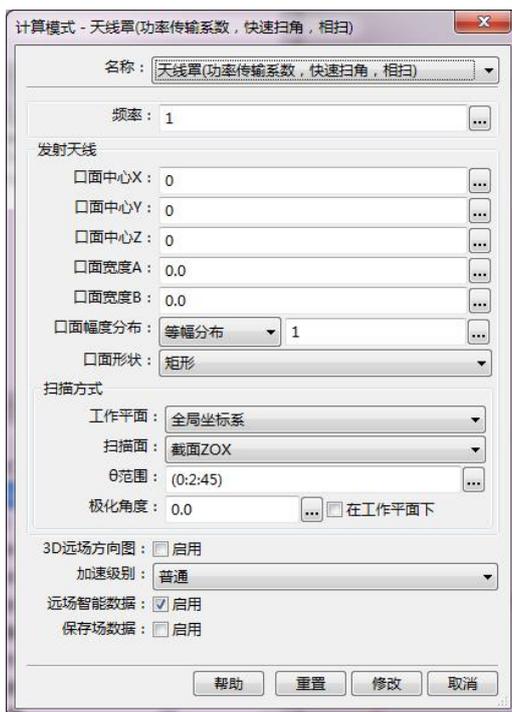


图 4-3-2-2 天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫）模式设置窗口

• 输入参数

表 4-3-2-1 天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫）模式输入参数：

| 输入项 | | 说明 | 备注 |
|------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 频率 | | 输入发射天线工作频率，只允许单值。 | |
| 发射天线 | 口面中心 | 设置发射天线等效口面的中心坐标和宽度。“口面宽度”设定应大于或等于发射天线在 X、Y 方向的最大尺寸。在以“口面宽度”为边长的正方形区域内，通过口面幅度分布来设置实际有效的口面区域（幅度为 0 的区域为空气）。 | 口面尺寸一般远大于波长。 |
| | 口面宽度 | | |
| 口 | 等幅分布 | 口面上各点电场幅度值相等，默认为 1。 | |

| | | | |
|-----------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 面 幅 度 分 布 | 导入二维 幅度文件 | <p>导入二维幅度分布文件，文件格式为二维数组：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 每一列对应一个 X 坐标，随列序号增加对应 X 坐标增加，行对应 Y 方向； 2. 数据映射：第一列（行）数据映射到口面 X（Y）最小坐标，最后一列（行）数据映射到口面 X（Y）最大坐标； 3. 数组元素的值对应相应坐标的幅度值，按灰度显示相对幅度，黑色对应幅度值最大。 | <p>文件格式示例：</p> <pre>A(1,1) A(2,1) A(3,1) ... A(1,2) A(2,2) A(3,2) ... A(1,3) A(2,3) A(3,3) A(X,Y) ...</pre> <p>注：文本文件编码格式为 ANSI。</p> <p>对非正方形口面，可设置一个正方形口面完整覆盖目标口面，并将多余区域的幅值设置为 0。</p> |
| | 导入坐标 幅度文件 | <p>导入坐标幅度分布文件，文件格式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第一列为 X 坐标，第二列为 Y 坐标，第三列为对应坐标[X,Y]的幅度值； 2. 坐标值[X,Y]应在以“口面宽度”为边长的正方形区域内，超出该区域的坐标对应幅值被忽略，未设置幅度或幅度为 0 的坐标为空气； 3. 数组元素的值对应相应坐标的幅度值，按灰度显示相对幅度，黑色对应幅度值最大。 | <p>文件格式示例：</p> <pre>1 1 A(1,1) 1 2 A(1,2) 1 3 A(1,3) ...</pre> <p>注：文本文件编码格式为 ANSI。</p> <p>对非正方形口面，可设置一个正方形口面完整覆盖目标口面，并将多余区域的幅值设置为 0，或导入文件不包含幅值为 0 的坐标。</p> |
| | 按泰勒函 数指定幅 度分布 | <p>电场幅度按泰勒分布填充于以“口面宽度”为边长的正方形区域内。填写形式：taylor(m,n)，其中 m 为副瓣电平绝对值，n 为等副瓣数。</p> | <p>填写示例：taylor(30,5)，表示副瓣电平 30，等副瓣数为 5。</p> |
| | 工作平面 | <p>使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义扫描面、扫描角θ和极</p> | <p>工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”</p> |

| | | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| | | 化角度。 | 类型的坐标变换。 |
| 扫描面 | YOZ | 选择在 YOZ 面或 ZOX 面内做发射角扫描。 | 计算模式锁定发射天线指向 Z 正方向，扫描面只能选择 ZOX 或 YOZ 面，且建模时天线罩头应朝向 Z 正方向。 |
| | ZOX | | |
| | θ 范围 | 发射天线在扫描面内的 θ 角扫描范围，可输入单值或序列。“序列”输入形式：角度下限 a: 角度间隔 b: 角度上限 c。 | |
| 极化角度 | 极化角定义：取发射方向和“参考坐标系”Z 轴共同所在面为参考面，极化角为 0 度时电矢量平行于参考面（即只含 θ 偏振分量，垂直极化），90 度时垂直于参考面。 参考坐标系：勾选了“在工作平面下定义”，则为所选工作平面的“局部坐标系”，否则为全局坐标系。 | 当入射方向沿 Z 轴时，极化角 0（90）度对应电矢量沿 $\varphi=0$ （90）度方向。 注：可在以所选工作平面的“局部坐标系”定义发射角的情况下，仍以“全局坐标系”定义极化角度。 | |
| 加速级别 | 加快角度扫描速度，扫描角度数量多时建议提高加速级别。 | 对部分物体（例如腔体结构），加速级别高可能导致计算精度降低。对此类模型，建议在大量计算前，测试不同加速级别下计算结果是否一致。 | |
| 保存场数据 | 是否保存自动后处理所使用的场数据。 | 保存场数据占用的磁盘空间较大。 | |

• 输出结果

表 4-3-2-2 天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫）模式输出结果：

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|--------------|------|------|---------------|----------------------------------|
| Transmission | | | 透波率随扫描角度的响应关系 | 天线罩功率传输系数定义：天线发射方向远场处，有罩状态和无罩状态的 |

| | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | | | | 能流密度的比值。 |
| Directivity_2d | | | 不同扫描角下的二维方向图，包含带罩和不带罩 2 种情况。 | |
| Directivity_3d | | | 不同扫描角下的三维方向图，包含带罩和不带罩 2 种情况。 | 在模式设置对话框“3D 远场方向图”选项旁勾选“启用” |
| NearField | | | 扫描面所在的截面上的天线罩近场电场分布。（例如扫描面为 ZOY，则显示 Y=0 的截面近场分布） | 需在模式设置对话框“保存场数据”选项旁勾选“启用” |
| Far_Field_SmartData | ScanAngle_0 ScanAngle_1 ... | | 远场智能数据。可查看每个扫描角远场方向的详细信息，包含带罩方向图，电场强度，相位等信息，精度任意可调。 | 需在模式设置对话框“远场智能数据”选项旁勾选“启用” |
| FDTD_Data | data | ScanAngle | 扫描角数组 | 通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据，可实现更高级的后处理功能。 |
| | | Transmisson | 透波率数组 | |
| | | WithStru | 有罩情况下的远场电场和方向图数据 | |
| | | WithoutStru | 无罩情况下的远场电场和方向图数据 | |
| | gdata | | 变量信息 | |
| workmode | | | 计算模式输入参数和相关参数。 | |

| | | | | |
|--------|--|--|---------------|--|
| Report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |
|--------|--|--|---------------|--|

• 天线罩表面 3D 结果呈现

(1) 打开结果节点 results 下的 Transmission, 下拉菜单中选择 Transmission [dB] On Radome:

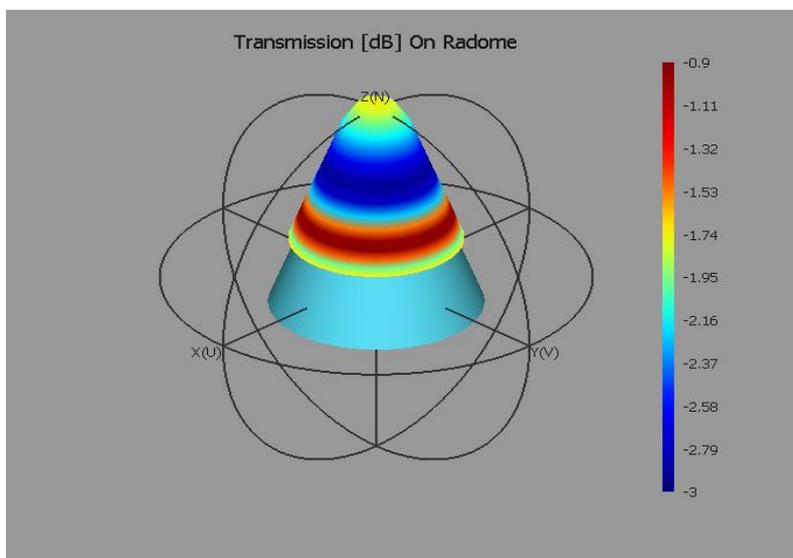


图 4-3-2-3 透波率 3D 图

(2) 打开结果节点 results 下的 Transmission, 下拉菜单中选择 Dir [dB] On Radome: (Efar_3D 也类似)。

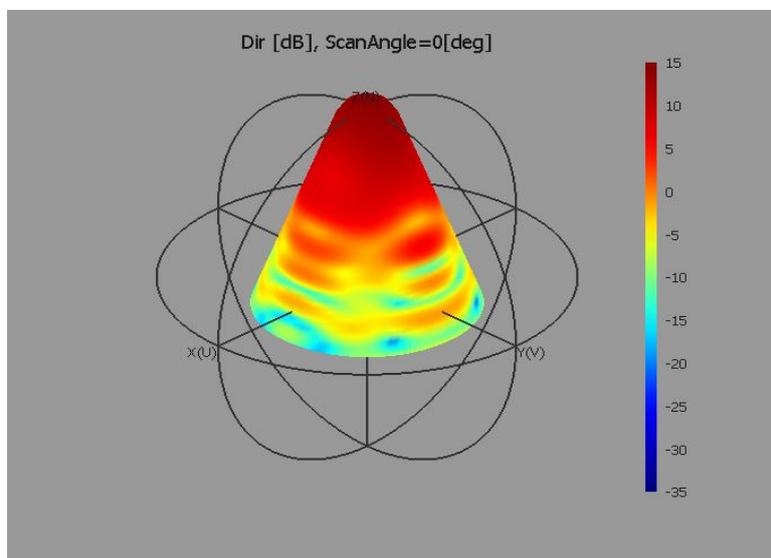


图 4-3-2-4 方向图 3D 显示



注意事项

1. 此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, 若手动设置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。

2. 本计算模式使用了加速算法。对于有强共振响应的结构 (如频率选择表面天线罩), 加速级别高可能导致透波率计算精度降低。对此类模型, 建议在大量计算前, 测试不同加速级别下计算结果是否一致。例如“普通”和“较低”两个加速级别下的计算结果差异可以忽略, 则说明使用“较低”加速级别可保证精度。

3. 本计算模式不允许用户自定义记录器。

4.3.3. 天线罩 (功率传输系数, 快速扫角, 机扫)

● 概述

计算特定频率下, 天线罩功率传输系数 (透波率) 随发射天线扫描角的变化, 同时给出方向图随扫描角的变化。模式旋转发射天线以计算不同扫描角下的方向图。

此模式的一般仿真流程: 设置基本参数 (发射天线工作频率, 发射天线口面参数、扫描角度、极化等) → 建立天线罩模型 → 计算, 计算模式根据发射天线的设置自动完成发射角扫描, 得到天线罩透波率的角度响应和波束方向图等 → 分析结果。

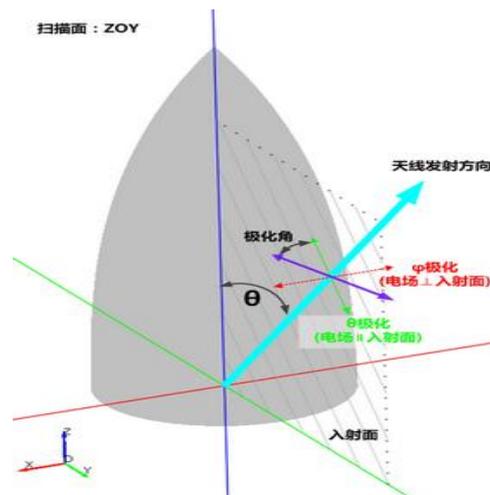


图 4-3-3-1 天线罩 (功率传输系数, 快速扫角, 机扫) 计算模式示意图

• 模式设定

单位 (进入建模界面后可修改):

长度单位: 1mm。

时间单位: 自动关联长度单位。

频率单位: GHz。

激励源:

空间位置、形状和口面分布: 斜面源。

发射方向: 在工作平面内按 n 轴旋转 ϕ 角, 即为扫描面; 在扫描面内按 θ 角扫描范围。

时域波形: 持续波 (单频)。

背景: 发射天线应位于空气中。

记录器:

类型: 频域远场记录器。

远场方向：由记录器工作平面给定。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

其他：

根据输入角度范围自动完成角度扫描。

- 模式视图

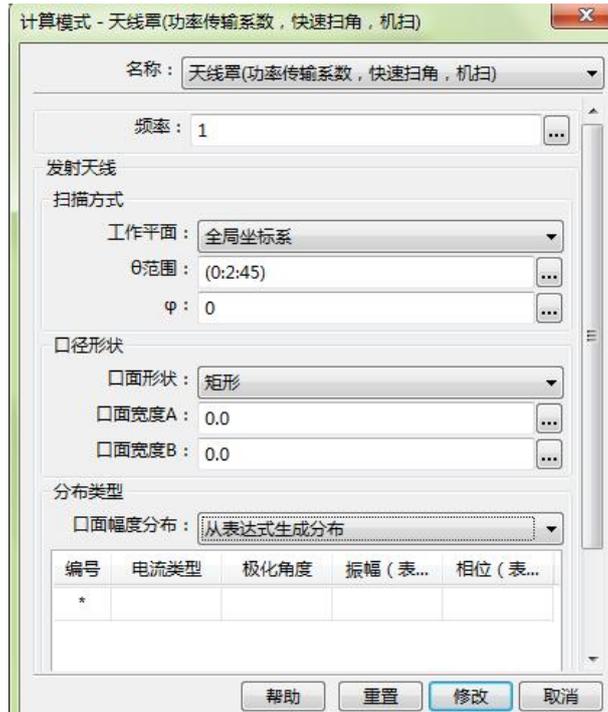


图 4-3-3-2 天线罩（功率传输系数，快速扫角，机扫）模式设置窗口

- 输入参数

表 4-3-3-1 天线罩（功率传输系数，快速扫角，机扫）模式输入参数：

| 输入项 | | 说明 | 备注 |
|------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 频率 | | 输入发射天线工作频率，只允许单值。 | |
| 发射天线 | 扫描方式 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义口面位置、口面形状，并在局部坐标系的基础上，根据“ ϕ 范围”定义扫描面，根据“ θ 范围”定义扫描角。 | 允许所选工作平面有“旋转”、“平移”类型的坐标变换。不允许缩放和对称操作。 |
| | θ 范围 | 发射天线在扫描面内的 θ 角扫描范围，可输入单值或序列。“序列”输入形式：角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。 | |

| | | | | | | |
|--------|--------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------|----------------|
| | 口径形状 | ϕ | 在工作平面内按 n 轴旋转 ϕ 角，即为扫描面 | | | |
| | | 形状类型 | 设置发射天线等效口面的形状（圆形/方形）。 | | | |
| | | 宽度 | 设置发射天线等效口面的宽度。当形状为长方形时，即为两个方向的长度；当形状为（椭）圆型时，即为两个方向的直径。 该方向由工作平面局部坐标系的 u 、 v 轴指定。 | 口面宽度一般远大于波长。 | | |
| | 口面幅度分布 | 等幅分布 | 幅度 | 幅度（单位 V/m） | | |
| | | | 偏振角 | 指定偏振角（单位：度） | | |
| | | | | 依赖于特征直角坐标系 | | |
| | | 泰勒分布 | 幅度 | 幅度（单位 V/m） | | |
| | | | 偏振角 | 指定偏振角（单位：度） | | |
| | | | | | | 依赖于特征直角坐标系 |
| | | | 副瓣电平 | 指定泰勒分布的副瓣电平（以 dB 给定） | | |
| | | | | 副瓣个数 | 指定泰勒分布的副瓣个数 | |
| | | 按函数形式设置 | 类型 | 选择电流还是磁流 | | |
| | | | 偏振角 | 设置电流或磁流的偏振角（单位：度） | | |
| | | | | | | 在特征坐标系 UV 面内设置 |
| | | | 幅度分布函数 | 幅度分布函数 | | |
| 相位分布函数 | 相位分布函数（单位：度） | | | | | |
| | | 按 SI 设置 | 选择是否按国际单位制进行设置。 不勾选时， J_e 、 J_h 按 1:1 单位制设置，即消去了平面波阻抗 $Z=377$ 。 | | | |

| | | | | | |
|---------|--------------------------------------------|-----------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|--|
| | | 按导入数据形式设置 | 类型 | 选择电流还是磁流 | |
| | | | 偏振角 | 设置电流或磁流的偏振角（单位：度） | |
| | | | | 在特征坐标系 UV 面内设置 | |
| | | | 幅度分布文件 | 幅度分布函数，允许按相对路径输入 | |
| | | | 相位分布文件 | 相位分布文件，允许按相对路径输入（单位：度） | |
| 按 SI 设置 | 选择是否按国际单位制进行设置。 | | | | |
| | 不勾选时，Je、Jh 按 1:1 单位制设置，即消去了平面波阻抗 $Z=377$ 。 | | | | |
| 加速级别 | | | 加快角度扫描速度，扫描角度数量多时建议提高加速级别。 | 对部分物体（例如腔体结构），加速级别高可能导致计算精度降低。对此类模型，建议在大量计算前，测试不同加速级别下计算结果是否一致。 | |
| 保存场数据 | | | 是否保存自动后处理所使用的场数据。 | 保存场数据占用的磁盘空间较大。 | |

• 输出结果

表 4-3-3-2 天线罩（功率传输系数、快速扫角）模式输出结果：

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|----------------|------|------|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| Transmisson | | | 透波率随扫描角度的响应关系 | 天线罩功率传输系数定义：天线发射方向远场处，有罩状态和无罩状态的能流密度的比值。 |
| Directivity_2d | | | 不同扫描角下的二维方向图，包含带罩和不带罩 2 种情况。 | |
| NearField | | | 扫描面所在的截面上的天线罩近场电场分布。（例如扫描面为 ZOY，则显示 Y=0 的截 | 需在模式设置对话框“保存场数据”选项旁勾选“启用” |

| | | | | |
|-----------|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------------------------------|
| | | | 面近场分布) | |
| FDTD_Data | Far_Field_Data | WithStruc0 | 远场外推原始数据 | 通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据，可实现更高级的后处理功能。 |
| | | WithoutStruc0 | WithStruc...为有罩远场数据 | |
| | | ... | WithoutStruc... 为无罩远场数据 | |
| | gdata | 变量信息 | | |
| | workmode | | 计算模式输入参数和相关参数。 | |
| Report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |



注意事项

1. 此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 $LAMBDA/2$ ，若手动设置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。
2. 本计算模式使用了加速算法。对于有强共振响应的结构（如频率选择表面天线罩），加速级别高可能导致透波率计算精度降低。对此类模型，建议在大量计算前，测试不同加速级别下计算结果是否一致。例如“普通”和“较低”两个加速级别下的计算结果差异可以忽略，则说明使用“较低”加速级别可保证精度。
3. 本计算模式不允许用户自定义记录器。

4.3.4. 天线罩（瞄准线误差，快速扫角，相扫）

● 概述

计算特定频率下，天线罩瞄准线误差（BSE）随发射天线扫描角的变化。模式使用口面（口径场）仿真发射天线，且口面发射方向固定朝向 Z 轴正方向。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（发射天线工作频率，发射天线口面参数、扫描角度、极化等）→ 建立天线罩模型 → 计算，计算模式根据发射天线的设置自动完成发射角扫描，得到天线罩 BSE 的角度响应等 → 分析结果。

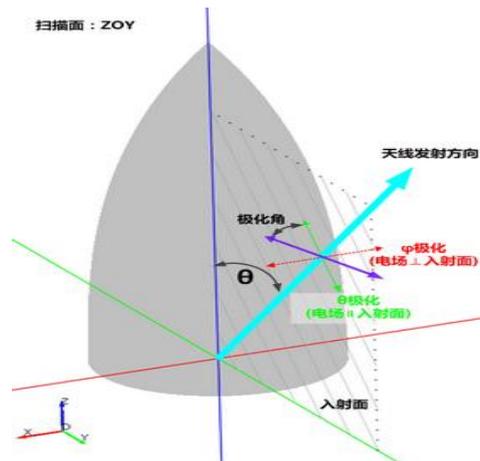


图 4-3-4-1 天线罩（瞄准线误差，快速扫角，相扫）计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：发射天线口径场分布，根据输入的模式参数“发射天线-口面幅度分布”。

时域波形：持续波（单频）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“发射天线-扫描面”和“发射天线- θ 范围”。

极化角度：根据用户输入的模式参数“发射天线-极化角度”。

位置：根据用户输入的模式参数“发射天线-口面中心”和“发射天线-口面宽度”。

记录器：

类型：频域远场记录器。

远场方向：激励源发射方向。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

其他：

根据输入角度范围自动完成角度扫描。

• 模式图示



图 4-3-4-2 天线罩（瞄准线误差，快速扫角，相扫）模式设置窗口

• 输入参数

表 4-3-4-1 天线罩（瞄准线误差，快速扫角，相扫）模式输入参数：

| 输入项 | | 说明 | 备注 |
|--------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 频率 | | 输入发射天线工作频率，只允许单值。 | |
| 发射天线 | 口面中心 | 设置发射天线等效口面的中心坐标和宽度。“口面宽度”设定应大于或等于发射天线在 X、Y 方向的最大尺寸。在以“口面宽度”为边长的正方形区域内，通过口面幅度分布来设置实际有效的口面区域（幅度为 0 的区域为空气）。 | 口面尺寸一般远大于波长。 |
| | 口面宽度 | | |
| | 等幅分布 | 口面上各点电场幅度值相等，默认为 1。 | |
| 口面幅度分布 | 导入二维幅度分布文件 | 导入二维幅度分布文件，文件格式为二维数组： 1. 每一列对应一个 X 坐标，随列序号增加对应 X 坐标增加，行对应 Y 方向； 2. 数据映射：第一列（行）数据映射到口面 X（Y）最小坐标，最后一列（行）数据映射到口面 X（Y）最大坐标； 3. 数组元素的值对应相应坐标的幅度值，按灰度显示相对幅度，黑 | 文件格式示例： A(1,1) A(2,1) A(3,1) ... A(1,2) A(2,2) A(3,2) ... A(1,3) A(2,3) A(3,3) A(X,Y) ... 注：文本文件编码格式为 ANSI。 对非正方形口面，可设置一个正方 |

| | | | | |
|--|-----|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | 色对应幅度值最大。 | 形口面完整覆盖目标口面,并将多余区域的幅值设置为0。 |
| | | 导入坐标幅度文件 | <p>导入坐标幅度分布文件,文件格式:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第一列为 X 坐标,第二列为 Y 坐标,第三列为对应坐标[X,Y]的幅度值; 2. 坐标值[X,Y]应在以“口面宽度”为边长的正方形区域内,超出该区域的坐标对应幅值被忽略,未设置幅度或幅度为0的坐标为空气; 3. 数组元素的值对应相应坐标的幅度值,按灰度显示相对幅度,黑色对应幅度值最大。 | <p>文件格式示例:</p> <pre>1 1 A(1,1) 1 2 A(1,2) 1 3 A(1,3) ...</pre> <p>注:文本文件编码格式为 ANSI。 对非正方形口面,可设置一个正方形口面完整覆盖目标口面,并将多余区域的幅值设置为0,或导入文件不包含幅值为0的坐标。</p> |
| | | 按泰勒函数指定幅度分布 | <p>电场幅度按泰勒分布填充于以“口面宽度”为边长的正方形区域内。 填写形式: <code>taylor(m,n)</code>,其中 m 为副瓣电平绝对值, n 为等副瓣数。</p> | <p>填写示例: <code>taylor(30,5)</code>,表示副瓣电平 30,等副瓣数为 5。</p> |
| | | 工作平面 | <p>使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义扫描面、扫描角 θ 和极化角度。</p> | <p>工作平面局部坐标系只影响角度定义,只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。</p> |
| | 扫描面 | <p>YOZ</p> <hr/> <p>ZOX</p> | <p>选择在 YOZ 面或 ZOX 面内做发射角扫描。</p> | <p>计算模式锁定发射天线指向 Z 正方向,扫描面只能选择 ZOX 或 YOZ 面,且建模时天线罩头应朝向 Z 正方向。</p> |
| | | θ 范围 | <p>发射天线在扫描面内的 θ 角扫描范围,可输入单值或序列。“序列”输入形式: 角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。</p> | |

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 极化角度 | 极化角定义：取发射方向和“参考坐标系”Z轴共同所在面为参考面，极化角为0度时电矢量平行于参考面（即只含 θ 偏振分量，垂直极化），90度时垂直于参考面。 参考坐标系：勾选了“在工作平面下定义”，则为所选工作平面的“局部坐标系”，否则为全局坐标系。 | 当入射方向沿Z轴时，极化角0（90）度对应电矢量沿 $\phi=0$ （90）度方向。 注：可在以所选工作平面的“局部坐标系”定义发射角的情况下，仍以“全局坐标系”定义极化角度。 |
| 加速级别 | 加快角度扫描速度，扫描角度数量多时建议提高加速级别。 | 对部分物体（例如腔体结构），加速级别高可能导致计算精度降低。对此类模型，建议在大量计算前，测试不同加速级别下计算结果是否一致。 |
| 保存场数据 | 是否保存自动后处理所使用的场数据。 | 保存场数据占用的磁盘空间较大。 |

• 输出结果

表 4-3-4-2 天线罩（瞄准线误差，快速扫角，相扫）模式输出结果：

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|----------------|------|------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |
| BSE | | | 瞄准线误差随扫描角的响应关系。 | 瞄准线误差定义：天线发射方向上，有罩状态下的差波束远场方向图零点所在角度与天线发射方向角的角度差值。 |
| DBSE | | | 瞄准线误差变化率随扫描角的变化。 | 瞄准线误差斜变化率定义：瞄准线误差对天线扫描角的一阶导数。 DBSE 选项只在扫描角大于等于 2 个时有值。 |
| Directivity_2d | | | 不同扫描角下的远场方向图，包含带罩和不带罩 2 种状 | 方向图只显示扫描角度士 4° 范围，角度间隔为 $1'$ （即 0.016° ） |

| | | | | |
|-----------|-------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | | | 态 | |
| E_Field | | | 扫描面所在的截面上的天线罩近场电场分布。（例如扫描面为 ZOX，则显示 Y=0 的截面近场分布） | 需在模式设置对话框下勾选“保存场数据” |
| FDTD_Data | data | ScanAngle | 扫描角原始数据 | 通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据，可实现更高级的后处理功能。 |
| | | BSE | BSE 原始数据 | |
| | | DBSE | DBSE 原始数据 | |
| | | D_2D_withStruc | 带罩二维方向图 | |
| | | D_2D_withoutStru | 不带罩二维方向图 | |
| | | WithStru | 带罩条件下的详细原始信息数据，包含远场和近场（如果勾选“保存场数据”）情况 | |
| | WithoutStru | 不带罩条件下的详细原始信息数据，包含远场和近场（如果勾选“保存场数据”）情况 | | |
| | gdata | | 变量信息 | |
| | workmode | | 计算模式输入参数和相关参数。 | |
| Report | | | 显示整个仿真过程的相关信息 | |



注意事项

1. 此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，若手动设置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。
2. 本计算模式使用了加速算法。对于有强共振响应的结构（如频率选择表面天线

罩），加速级别高可能导致 BSE 计算精度降低。对此类模型，建议在大量计算前，测试不同加速级别下计算结果是否一致。例如“普通”和“较低”两个加速级别下的计算结果差异可以忽略，则说明使用“较低”加速级别可保证精度。

3. 本计算模式不允许用户自定义记录器。
4. 新增 3D 模式绘制 BSE/DBSE 功能。

4.3.5. 天线罩（瞄准线误差，扫频/扫角，相扫）

● 概述

计算特定频率下，天线罩瞄准线误差（BSE）随发射天线扫描频率和角度的变化。模式使用口面（口径场）仿真发射天线，且口面发射方向固定朝向 Z 轴正方向。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（发射天线工作频率，发射天线口面参数、扫描角度、极化等）→ 建立天线罩模型 → 计算，计算模式根据发射天线的设置自动完成发射角扫描，得到天线罩 BSE 的角度响应等 → 分析结果。

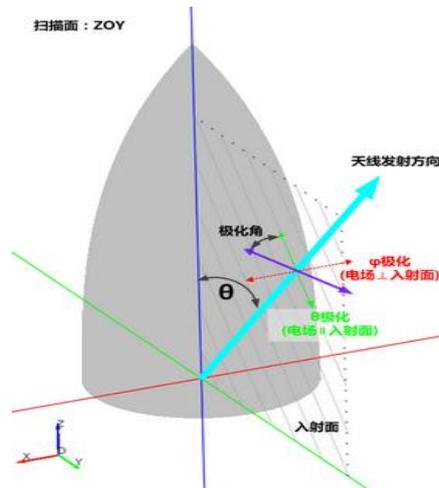


图 4-3-5-1 天线罩（瞄准线误差，快速扫角）计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：发射天线口径场分布，根据输入的模式参数“发射天线-口面幅度分布”。

时域波形：持续波（单频）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“发射天线-扫描面”和“发射天线- θ 范围”。

极化角度：根据用户输入的模式参数“发射天线-极化角度”。

位置：根据用户输入的模式参数“发射天线-口面中心”和“发射天线-口面宽度”。

记录器：

类型：频域远场记录器。

远场方向：激励源发射方向。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

其他：

根据输入角度范围自动完成角度扫描。

- 模式图示

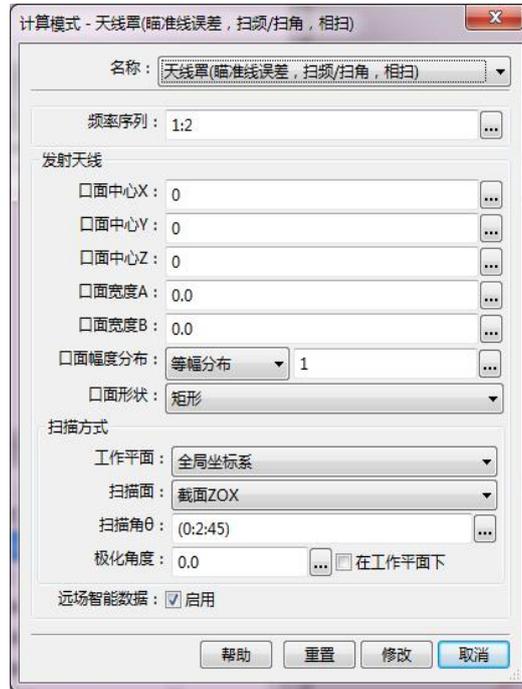


图 4-3-5-2 天线罩（瞄准线误差，扫频/扫角，相扫）模式设置窗口

- 输入参数

表 4-3-5-1 天线罩（瞄准线误差，扫频/扫角，相扫）模式输入参数：

| 输入项 | | 说明 | 备注 |
|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 频率序列 | | 输入发射天线工作频率，允许输入多个频点。 | |
| 发射天线 | 口面中心 | 设置发射天线等效口面的中心坐标和宽度。“口面宽度”设定应大于或等于发射天线在 X、Y 方向的最大尺寸。在以“口面宽度”为边长的正方形区域内，通过口面幅度分布来设置实际有效的口面区域（幅度为 0 的区域为空气）。 | 口面尺寸一般远大于波长。 |
| | 口面宽度 | | |
| 口面幅度分布 | 等幅分布 | 口面上各点电场幅度值相等，默认为 1。 | |

| | | | |
|--|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 导入二维幅度文件 | <p>导入二维幅度分布文件，文件格式为二维数组：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 每一列对应一个 X 坐标，随列序号增加对应 X 坐标增加，行对应 Y 方向； 2. 数据映射：第一列（行）数据映射到口面 X（Y）最小坐标，最后一列（行）数据映射到口面 X（Y）最大坐标； 3. 数组元素的值对应相应坐标的幅度值，按灰度显示相对幅度，黑色对应幅度值最大。 | <p>文件格式示例：</p> <pre>A(1,1) A(2,1) A(3,1) ... A(1,2) A(2,2) A(3,2) ... A(1,3) A(2,3) A(3,3) A(X,Y) </pre> <p>注：文本文件编码格式为 ANSI。</p> <p>对非正方形口面，可设置一个正方形口面完整覆盖目标口面，并将多余区域的幅值设置为 0。</p> |
| | 导入坐标幅度文件 | <p>导入坐标幅度分布文件，文件格式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第一列为 X 坐标，第二列为 Y 坐标，第三列为对应坐标[X,Y]的幅度值； 2. 坐标值[X,Y]应在以“口面宽度”为边长的正方形区域内，超出该区域的坐标对应幅值被忽略，未设置幅度或幅度为 0 的坐标为空气； 3. 数组元素的值对应相应坐标的幅度值，按灰度显示相对幅度，黑色对应幅度值最大。 | <p>文件格式示例：</p> <pre>1 1 A(1,1) 1 2 A(1,2) 1 3 A(1,3)...</pre> <p>注：文本文件编码格式为 ANSI。</p> <p>对非正方形口面，可设置一个正方形口面完整覆盖目标口面，并将多余区域的幅值设置为 0，或导入文件不包含幅值为 0 的坐标。</p> |
| | 按泰勒函数指定幅度分布 | <p>电场幅度按泰勒分布填充于以“口面宽度”为边长的正方形区域内。填写形式：<code>taylor(m,n)</code>，其中 m 为副瓣电平绝对值，n 为等副瓣数。</p> | <p>填写示例：<code>taylor(30,5)</code>，表示副瓣电平 30，等副瓣数为 5。</p> |
| | 工作平面 | <p>使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义扫描面、扫描角 θ 和极化角度。</p> | <p>工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。</p> |
| | 扫描面 | <p>YOZ</p> <p>选择在 YOZ 面或 ZOX 面内做发射角扫描。</p> <p>ZOX</p> | <p>计算模式锁定发射天线指向 Z 正方向，扫描面只能选择 ZOX 或 YOZ 面，且建模时天线罩头应朝向 Z 正方向。</p> |
| | 扫描角 θ | <p>发射天线在扫描面内的 θ 角扫描范围，可输入单值或序列。“序列”输入形式：角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。</p> | |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 极化角度 | 极化角定义：取发射方向和“参考坐标系”Z轴共同所在面为参考面，极化角为0度时电矢量平行于参考面（即只含 θ 偏振分量，垂直极化），90度时垂直于参考面。 | 当入射方向沿Z轴时，极化角0（90）度对应电矢量沿 $\phi=0$ （90）度方向。 |
| | 参考坐标系：勾选了“在工作平面下定义”，则为所选工作平面的“局部坐标系”，否则为全局坐标系。 | 注：可在以所选工作平面的“局部坐标系”定义发射角的情况下，仍以“全局坐标系”定义极化角度。 |
| 加速级别 | 加快角度扫描速度，扫描角度数量多时建议提高加速级别。 | 对部分物体（例如腔体结构），加速级别高可能导致计算精度降低。对此类模型，建议在大量计算前，测试不同加速级别下计算结果是否一致。 |
| 保存场数据 | 是否保存自动后处理所使用的场数据。 | 保存场数据占用的磁盘空间较大。 |

• 输出结果

表 4-3-5-2 天线罩（瞄准线误差，扫频/扫角，相扫）模式输出结果

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|---------------------|-------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |
| BSE_freq | | | 瞄准线误差随频率的响应关系 | 天线罩瞄准线误差定义：天线发射方向上，有罩状态和无罩状态差波束方向图零深位置之差。 |
| BSE_angel | | | 瞄准线误差随扫描角度的响应关系 | |
| Directivity_2D | | | 二维方向图。可选择不同频率 freq，不同扫描角 θ 查看。 | 方向图只显示扫描角度 $\pm 4^\circ$ 范围，角度间隔为 $1'$ （即 0.016° ） |
| Far_Field_SmartData | ScanAngle_0 | sys_FarFieldFD_str | 远场智能数据。可查看每个扫描角 | 需在模式设置对话框“远场智能数据”选项旁勾选“启用” |
| | ScanAngel_1 | sys_FarFieldTD_air | 远场方向的详细信息，包含带罩方 | |

| | | | | |
|-----------|-------------|--|------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| | ... | | 向图, 电场强度, 相位等信息, 精度任意可调。 | |
| FDTD_Data | ScanAngle_0 | | FDTD 仿真数据。包含每个扫描角下的激励源数据信息, 远场时域和频域详细信息。 | 通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据, 可实现更高级的后处理功能。 |
| | ScanAngel_1 | | | |
| | ... | | | |
| | gdata | | 全局变量。 | |
| | workmode | | 计算模式输入参数和相关参数。 | |
| Report | | | 显示整个仿真过程的相关信息 | |

4.4. 天线阵模式

天线阵计算模式能够精确快速计算大型/超大型天线阵的辐射、耦合（隔离度）和散射等特性，可获得多角度、宽频带的辐射方向图、主瓣增益和宽度、主副瓣比等指标，还可以进行“天线阵+天线罩联合仿真”的一体化仿真，评估阵和罩的耦合效应。天线阵模式包含东峻针对该类问题研发的独特快速算法，配合 EastWave 强大的阵列建模功能可高效的完成天线阵问题的仿真。

4.4.1. 天线阵（扫频/扫角）

- 概述

计算相控天线阵列在指定范围扫描角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。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（天线阵工作频率、发射方向等）→ 建立单个天线结构（如一个偶极子天线），作为“参考单元”→ 修改“基源”设置，使其能正确对“参考单元”馈电 → 对“参考单元”做阵列操作，计算模式根据“参考单元”的阵列操作，自动将“基源”扩展成“阵列馈源”，并根据相控阵发射角设置“阵列馈源”上的相位分布 → 计算、分析结果。

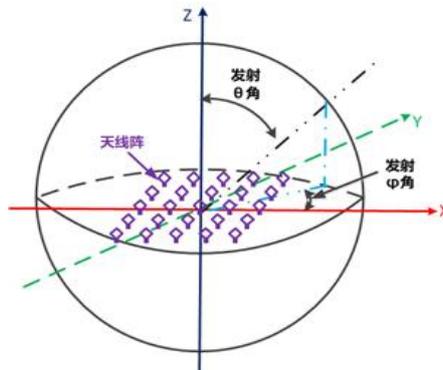


图 4-4-1-1 天线阵（扫频/扫角）计算模式示意图

- 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：阵列馈源（相控阵），根据用户设置的“基源”和“周期阵列结构”自动生成，“基源”类型和位置由模式参数设置界面设定。

时域波形：脉冲（信号频率范围覆盖输入的频率范围）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“ θ 范围、 ϕ 范围”，控制馈源阵元单元间的相对相位实现定向发射

位置：根据物体的周期阵列扩展方式自动对“基源”做相同扩展。

记录器：

类型：频域远场记录器。

远场方向：根据用户定义。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.05 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

- 模式设定



图 4-4-1-2 天线阵（扫频/扫角）计算模式设置窗口

- 输入参数

表 4-4-1-1 天线阵（扫频/扫角）计算模式输入参数

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 频率序列 | 输入形式：频率下限 a:频率间隔 b:频率上限 c。 例如，输入 1:0.1:2，表示计算频率范围 1GHz~2GHz 内透反率，间隔 0.1GHz。 | 频率间隔越小，需要的计算时间越长。除非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小于中心频率的 1/100。 |

| | | |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基源 | 天线阵列以“参考天线单元”进行周期扩展，计算模式根据“参考天线单元”的扩展方式对基源进行扩展，实现对整个天线阵列的馈电。设置“基源”适合正确给“参考天线单元”馈电即可。 | 各种“基源”类型的设置方法参见“核心模块-激励源模块”。或 EastWave 教程案例。例如集总端口对天线馈电示例，可参见教程案例 1.3。 |
| 阵列幅度分布 | 通过参数表达式的形式生成各个单元馈源的幅度。参数表达式将各个馈源的具体位置（_x、_y、_z，单位为文档长度单位）作为参量，解析后得到幅度值。 可参见馈源阵列中“阵列幅度分布”的说明。 | 例如：_x^2+_y^2 表示幅度以抛物面形式，中心馈电弱(x=0,y=0)，越往阵列边沿馈电越强；select(_x<0,+1,-1) 表示 X<0 部分幅度因子为 1，X>0 部分为-1，此函数可实现 X 方向的差波束。 |
| 绑定阵列名 | 当模型含有多个阵列或组时，可选择其中一个阵列对基源进行自动阵列化操作，基源生成阵列的方式和所选阵列的生成方式一致。 | |
| 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ 和 ϕ 。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| θ 范围 | 天线阵发射方向 θ 角，输入单值或一定范围的序列。序列输入形式：角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c，例如(0:5:30) | 以相控阵形式控制阵列发射方向。 |
| ϕ 范围 | 天线阵发射方向 ϕ 角，输入单值或一定范围的序列。序列输入形式：角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。例如(0:5:30) | |
| 远场记录器 | 定义远场记录器记录方向图等数据。可独立设置每个记录器的角度范围和角度精度。 默认定义了三个记录器： $\phi=0$ 度面： $\theta=-180\sim 180$ ，间隔 1 度； $\phi=90$ 度面： $\theta=-180\sim 180$ ，间隔 1 度； $\theta=90$ 度面： $\phi=0\sim 360$ ，间隔 1 度。 | 每个记录器可独立选择参考工作平面（用于定义局部坐标系），可用于同时记录多个斜记录面（ θ 、 ϕ 非常数）； 此模式用于 BSE 计算时，需要将记录器角度精度提高。 |
| 远场智能数据 | 开启远场智能数据。 | |

• 输出结果

表 4-4-1-2 天线阵（扫频/扫角）计算模式输出结果

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|---------------------|----------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 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。 | |
| Far_Field_SmartData | Angle_0 Angle_1.. | | 远场智能数据, 可查看每个扫描角的远场详细信息, 包含远场方向图, 电场强度, 磁场强度等, 范围和精度任意可调。 | 需在模式设置对话框“远场智能数据”选项旁勾选“启用” |
| Far_Field_Data | Angle_0 Angle_1.. | report | 显示整个计算过程的相关信息 | FDTD 仿真原始数据。包含每个扫描角下的激励源数据信息, 远场时域和频域详细信息。 |
| | | RCD_1 | 二维远场方向图范围 ($\phi=0^\circ$, $\theta=-180^\circ \sim 180^\circ$), 角度间隔 1° | |
| | | RCD_2 | 二维远场方向图范围 ($\phi=90^\circ$, $\theta=-180 \sim 180^\circ$), 角度间隔 1° | |
| | | RCD_3 | 三维远场方向图范围 ($\phi=0 \sim 360^\circ$, $\theta=-180 \sim 180^\circ$), 角度间隔 3° | |
| | | FeedArray | 天线阵单元信息 | |
| | | gdata | 变量信息 | |
| | | workmode | 计算模式输入参数和相关参数 | |



注意事项

1. 此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 $LAMBDA/2$ ，若手动设置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。
2. 建议使用计算模式过程中不要切换计算模式，如果需要切换计算模式，请注意设置合适的单位。天线阵模式中默认使用长度单位为 mm、频率单位 GHz。但若在建模过程中切换计算模式，相关单位不会随计算模式切换。
3. 建议开始计算前，使用网格预览查看网格划分，保证每个天线单元上网格划分都足够精细。
4. 天线阵模式中使用了馈源阵列功能，参考 馈源阵列 部分内容，特别注意馈源阵列的绑定坐标系为局部坐标系。
5. 新增角度指示器功能，显示天线阵模式内部激励源的辐射方向。

4.4.2. 天线阵（快速扫角）

● 概述

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。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（天线阵工作频率、发射方向等）→ 建立单个天线结构（如一个偶极子天线），作为“参考单元”→ 修改“基源”设置，使其能正确对“参考单元”馈电 → 对“参考单元”做阵列操作，计算模式根据“参考单元”的阵列操作，自动将“基源”扩展成“阵列馈源”，并根据相控阵发射角设置“阵列馈源”上的相位分布 → 计算、分析结果。

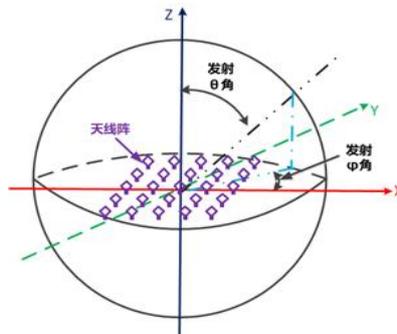


图 4-4-2-1 天线阵（快速扫角）计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：阵列馈源（相控阵），根据用户设置的“基源”和“周期阵列结构”自动生成，“基源”类型和位置由模式参数设置界面设定。

时域波形：持续波（单频）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“ θ 、 ϕ ”，控制馈源阵元单元间的相对相位实现定向发射。

位置：根据物体的周期阵列扩展方式自动对“基源”做相同扩展。

记录器：

类型：频域远场记录器。

远场方向：根据用户定义。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.05 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

- 模式图示

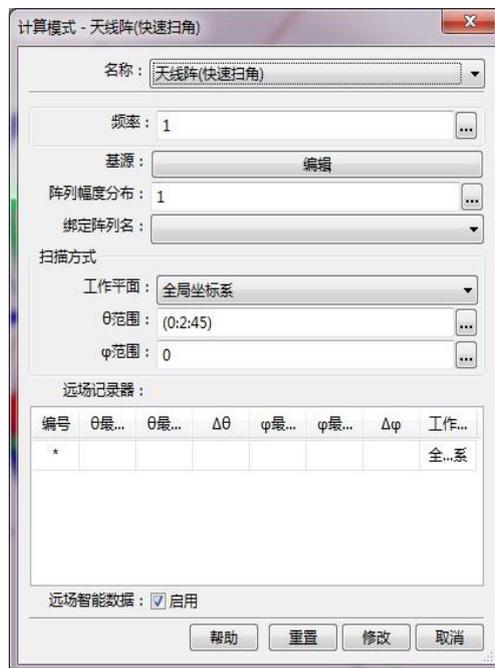


图 4-4-2-2 天线阵（快速扫角）计算模式设置窗口

- 输入参数

表 4-4-2-1 天线阵（快速扫角）计算模式输入参数：

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 频率 | 天线阵工作频率，只允许单值。 | |
| 基源 | 天线阵列以“参考天线单元”进行周期扩展，计算模式根据“参考天线单元”的扩展方式对基源进行扩展，实现对整个天线阵列的馈电。设置“基源”适合正确给“参考天线单元”馈电即可。 | 各种“基源”类型的设置方法参见“核心模块-激励源模块”。或 EastWave 教程案例。例如集总端口对天线馈电示例，可参见教程案例 1.3。 |
| 阵列幅度分布 | 通过参数表达式的形式生成各个单元馈源的幅度。参数表达式将各个馈源的具体位置 (x 、 y 、 z ， | 例如： $_x^2 + _y^2$ 表示幅度以抛物面形式，中心馈电弱($x=0, y=0$)，越往 |

| | | |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 单位为文档长度单位) 作为参量, 解析后得到幅度值。 可参见馈源阵列中“阵列幅度分布”的说明。 | 阵列边沿馈电越强; <code>select(_x<0,+1,-1)</code> 表示 $X<0$ 部分幅度因子为 1, $X>0$ 部分为 -1, 此函数可实现 X 方向的差波束。 |
| 绑定阵列名 | 当模型含有多个阵列或组时, 可选择一个阵列对基源进行自动阵列化操作, 基源生成阵列的方式和所选阵列的生成方式一致。 | |
| 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ 和 ϕ 。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义, 只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| θ 范围 | 天线阵发射方向 θ 角扫描范围, 可输入单值或序列。“序列”输入形式: 角度下限 a: 角度间隔 b: 角度上限 c。 | 以相控阵形式控制阵列发射方向。 |
| ϕ 范围 | 天线阵发射方向 ϕ 角扫描范围, 可输入单值或序列。“序列”输入形式: 角度下限 a: 角度间隔 b: 角度上限 c。 | |
| 远场记录器 | 定义远场记录器记录方向图等数据。可独立设置每个记录器的角度范围和角度精度。 默认定义了三个记录器: $\phi=0$ 度面: $\theta=-180\sim 180$, 间隔 1 度; $\phi=90$ 度面: $\theta=-180\sim 180$, 间隔 1 度; $\theta=90$ 度面: $\phi=0\sim 360$, 间隔 1 度。 | 每个记录器可独立选择参考工作平面 (用于定义局部坐标系), 可用于同时记录多个斜记录面 (θ 、 ϕ 非常数); 此模式用于 BSE 计算时, 需要将记录器角度精度提高。 |
| 远场智能数据 | 开启远场智能数据 | |

• 输出结果

表 4-4-2-2 天线阵 (快速扫角) 计算模式输出结果:

| 一级节点 | 二级节点 | 说明 | 备注 |
|-----------------|------|-----------------------------------------|----|
| Directivity_zox | | ZOX ($X=0$) 截面远场方向图。可选择不同频率, 不同扫描角查看。 | |
| Directivity_yoz | | YOZ ($X=0$) 截面远场方向图。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。 | |

| | | | |
|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Far_Field_SmartData | Theta0_phi0 Theta0_phi1 ... | 远场智能数据，可查看每个扫描角的远场详细信息，包含远场方向图，电场强度，磁场强度等，范围和精度任意可调。 | 需在模式设置对话框“远场智能数据”选项旁勾选“启用” |
| FDTD_Data | Far_Field_Data | 远场原始数据。默认包含 ZOX 面，YOZ 面和三维下每个扫描角的远场信息。 | FDTD 仿真原始数据。包含每个扫描角下的激励源数据信息，远场时域和频域详细信息，变量信息，计算模式参数信息等。 |
| | FeedArray | 天线阵单元信息 | |
| | gdata | 变量信息 | |
| | workmode | 计算模式输入参数和相关参 | |
| Report | | 显示整个计算过程的相关信息 | |



注意事项

1. 此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 $LAMBDA/2$ ，若手动设置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。
2. 建议使用计算模式过程中不要切换计算模式，如果需要切换计算模式，请注意设置合适的单位。天线阵模式中默认使用长度单位为 mm、频率单位 GHz。但若在建模过程中切换计算模式，相关单位不会随计算模式切换。
3. 建议开始计算前，使用网格预览查看网格划分，保证每个天线单元上网格划分都足够精细。
4. 天线阵模式中使用了馈源阵列功能，参考“馈源阵列”部分内容，特别注意馈源阵列的绑定坐标系为局部坐标系。
5. 本计算模式不允许用户自定义记录器。
6. 新增角度指示器功能，显示天线阵模式内部激励源的辐射方向。

4.5. 天线阵（扫频/扫角） RCS 计算模式

RCS 计算模式可实现多频点，多角度的整机，整舰及零部件的 RCS 严格计算，可包含吸波材料/超材料、二面角、腔体（进气口和船舱）、天线阵、天线罩等复杂材料与结构的散射效应。RCS 计算模式包含东峻针对该类问题开发的独特快速算法。

4.5.1. RCS（单站，快速扫角，电大体系）

● 概述

计算电大尺寸物体对指定频率的单站 RCS 角度响应。计算模式根据输入参数（扫描角度等），自动设置激励源和记录器，完成角度扫描，并自动完成后处理给出 RCS 的角度响应曲线。此模式

适用于计算电大体系（一般 10 倍波长以上），若物体电尺寸小于该尺度，不能进行仿真计算，建议使用“RCS（单站，扫频，扫角）”计算模式。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（发射雷达的工作频率、入射角度范围、极化等，接收雷达频率和接收角度同发射雷达）→ 建立散射体模型（RCS 目标）→ 计算，计算模式根据设定角度范围自动完成单站 RCS 角度扫描，得到指定频点下单站 RCS 的角度响应曲线 → 分析结果。

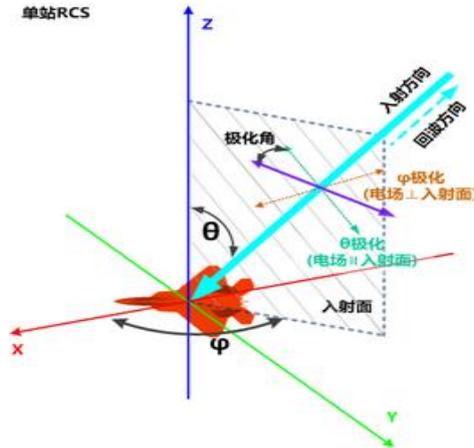


图 4-5-1-1 RCS（单站，快速扫角，电大体系）计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：平面波（总场散射场）。

时域波形：持续波（单频）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“入射雷达波- θ 、 ϕ ”。

极化角度：根据用户输入的模式参数“入射雷达波-极化角度”。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，激励源位于物体包围框和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则激励源包围框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.2 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

记录器：

类型：频域远场记录器。

频率：根据用户输入的模式参数。

远场方向：激励源发射方向反向。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6 层 PML 吸收边界）。

其他：

计算模式根据输入角度范围自动完成角度扫描。

• 模式图示

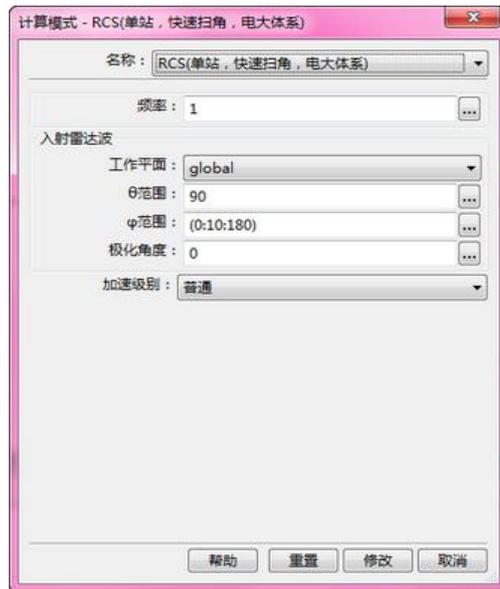


图 4-5-1-2 RCS（单站，快速扫角，电大体系）计算模式设置窗口

• 输入参数

表 4-5-1-1 RCS（单站，快速扫角，电大体系）计算模式输入参数

| 输入项 | | 说明 | 备注 |
|-------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 频率 | | 输入入射雷达波频率，只允许单值。 | |
| 入射雷达波 | 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ ， ϕ 和极化角度。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| | θ 范围 | 入射雷达（所处方位的） θ 角和 ϕ 角范围，必须有一个为单值。 | 每次计算只允许扫描 θ 或 ϕ 中的一个，即 θ 或 ϕ 中只能有一个是范围； |
| | ϕ 范围 | 单值默认输入形式：角度值；范围默认输入形式：range(角度下限 a, 角度上限 b)，可选输入“序列”形式（不推荐）：角度下限:角度间隔:角度上限。 | 计算模式根据“角度范围”智能生成角度间隔，默认输出结果的角度间隔为 0.1 度。若用户输入“角度序列”形式，则以用户指定的角度序列间隔输出。 |
| 极化角度 | | 入射雷达波极化角，输入单值。极化角以所选工作平面的局部坐标系为参照，使用球坐标系定义。 | 见下面注意事项。 |
| 加速级别 | | 加快角度扫描速度，扫描角度数量多时建议提高加速级别。 | 对部分物体（例如腔体结构），加速级别高可能导致计算精度降低。对此类模型，建议在大量计算前，测试不同加速级别下计算结果是否一致。 |



注意事项

1. 入射波的传播方向与雷达方位正好相反，入射波的波矢量的 $\theta'=180-\theta$ ， $\varphi'=\varphi+180$ 。
2. 从入射波真实的波矢量对应的 $\theta' (=180-\theta)$ 和 $\varphi' (= \varphi+180)$ 下定义的极化角。当 $\theta'=0$ 且 $\varphi'=0$ 时，极化角=0度时极化矢量与 X+方向一致，极化角=90度时极化矢量与 Y+方向一致。对于非零度的情况，可以从 $(\theta', \varphi')=(0,0)$ 先绕 Y 轴逆时针旋转 θ' 角度后，再绕 Z 轴旋转 φ' 角。
3. 简单的判别方法：以 $\theta=0$ 且 $\varphi=0$ ，且极化角 $\alpha=0$ 为初始条件看，入射波的极化矢量沿着 x 轴的负方向； $(\theta, \varphi, \alpha)$ 相当于对入射波进行了一系列坐标变换：（1）绕 Y 轴逆时针旋转 θ （2）绕 Z 轴逆时针旋转 φ （3）极化矢量以绕入射波方向（k 方向）（右手螺旋）转动 α 角。

• 输出结果

表 4-5-1-2 RCS（单站，快速扫角，电大体系）计算模式输出结果

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|-----------|----------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| RCS | | | RCS 随角度的响应关系，包含 RCS——RCS Total； θ 极化 RCS —— RCS(Theta polarization)； ϕ 极化 RCS——RCS(phi polarization)。 | |
| FDTD_Data | Far_Field_Data | Freq | RCS 仿真频率 | FDTD 仿真原始数据。通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据，可实现更高级的后处理功能。 |
| | | Theta | θ 范围角度数值 | |
| | | phi | ϕ 范围角度数值 | |
| | | theta_polar | θ 极化 RCS 随角度的响应关系 | |
| | | phi_polar | ϕ 极化 RCS 随角度的响应关系 | |
| | | Total | RCS 随角度的响应关系 | |
| | gdata | | 变量信息 | |
| | workmode | | 计算模式输入参数和相关参数。 | |
| report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |



注意事项

1. 此计算模式每次只允许扫描 θ 或 ϕ 中的一个，即 θ 或 ϕ 中只能有一个是范围。

计算模式在输入指定的角度范围内智能生成角度间隔，自动生成的角度间隔小于输入的角度序列指定间隔。

2. 此计算模式根据计算区域和物体自动生成总场散射场激励源和频域远场记录器。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 $LAMBDA/2$ ，若手动设置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。

3. 本计算模式使用了加速算法。对于有强共振响应的腔体结构等，加速级别高可能导致 RCS 计算精度降低。对此类模型，建议在大量计算前，测试不同加速级别下计算结果是否一致。例如“普通”和“较低”两个加速级别下的计算结果差异可以忽略，则说明使用“普通”加速级别可保证精度。

4. 本计算模式不允许用户自定义记录器。

5. 新增角度指示器功能，显示 RCS 模式内部激励源的入射方位。

4.5.2. RCS（单站，扫频/扫角）

● 概述

计算物体单站 RCS 的频率响应或角度响应。计算模式根据输入参数（频率范围或扫描角度等），自动设置激励源和记录器，完成频率或角度扫描，并自动完成后处理给出 RCS 的频率/角度响应曲线。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（发射雷达的工作频率、入射角度范围、极化等，接收雷达频率和接收角度同发射雷达）→ 建立散射体模型（RCS 目标）→ 计算，计算模式根据设定角度范围自动完成单站 RCS 角度扫描，得到每个角度下的 RCS 频率响应曲线 → 分析结果。

若希望得到指定频点的单站 RCS 角度响应曲线，将扫描角度中 θ 或 ϕ 一个设置为单值、另一个设置为范围，得到的 RCS 角度响应曲线对应频率范围的中心频点（也可将频率范围设置单值）。

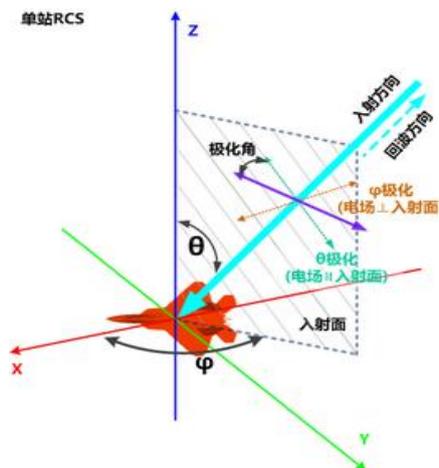


图 4-5-1-1 RCS（单站，扫频/扫角）计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：平面波（总场散射场）。

时域波形：脉冲（信号频率范围覆盖输入的频率范围）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“入射雷达波 θ 、 ϕ ”。

极化角度：根据用户输入的模式参数“入射雷达波极化角度”。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，激励源位于物体包围框和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则激励源包围框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.2 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

记录器：

类型：时域远场记录器。

远场方向：激励源发射方向反向。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

其他：

根据输入角度范围自动完成角度扫描。

- 模式图示

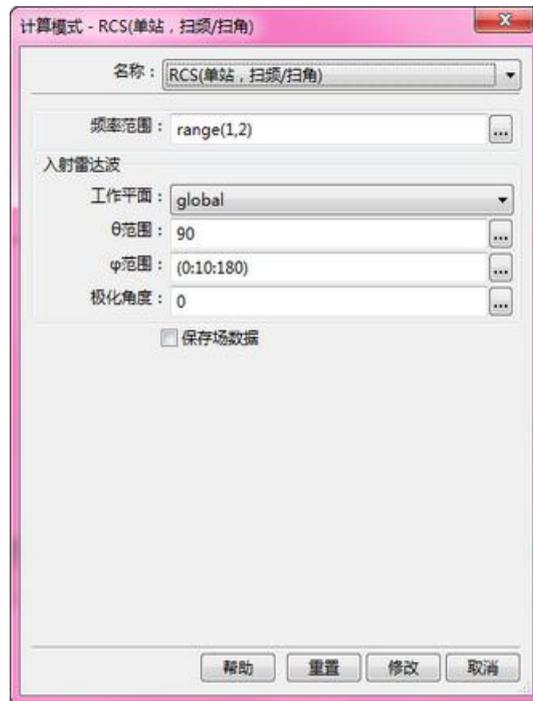


图 4-5-1-2 RCS（单站，扫频/扫角）计算模式设置窗口

- 输入参数

表 4-5-1-1 RCS（单站，扫频/扫角）计算模式输入参数：

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|-----|----|----|
|-----|----|----|

| | | | |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 频率范围 | | <p>输入形式：单值、范围或序列。 默认输入范围：range(频率下限 a, 频率上限 b)。例如，输入 range(1,2)，表示计算频率范围 1~2GHz，频率间隔自动生成。 可选输入序列：频率下限 a:频率间隔 b:频率上限 c。例如，输入 1:0.1:2，表示计算频率范围 1~2GHz，间隔 0.1GHz。</p> | <p>输入频率序列可指定频率间隔，频率间隔越小，需要的计算时间越长。 计算结果中 RCS 频率响应曲线的频率间隔小于或等于指定的频率间隔，但频率位置可能和输入的频率值有偏移。</p> |
| 入射雷达波 | 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ ， ϕ 和极化角度。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| | θ 范围 | 入射雷达波 θ 角范围，可输入单值或序列。“序列”输入形式：角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。 | 当 θ 或 ϕ 中任一个为单值时，后处理将自动给出中心频率的 RCS 角度响应曲线。 |
| | ϕ 范围 | 入射雷达波 ϕ 角范围，可输入单值或序列。“序列”输入形式：角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。 | |
| 极化角度 | 入射雷达波极化角，输入单值。极化角以所选工作平面的局部坐标系为参照，使用球坐标系定义：取入射方向和 Z 轴共同所在面为参考面，极化角为 0 度时电矢量平行于参考面（即只含 θ 偏振分量，垂直极化），90 度时垂直于参考面。 | 当入射方向沿 Z 轴时，极化角 0（90）度对应电矢量沿 $\phi=0$ （90）度方向。 | |
| 保存场数据 | | 是否保存自动后处理所使用的场数据。 | 保存场数据占用的磁盘空间较大。 |

• 输出结果

表 4-5-1-2 RCS（单站，扫频/扫角）计算模式输出结果

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|---------------|------|------|--------------------------------------------------|----|
| RCS_frequency | | | RCS 随频率的响应关系，可按不同的雷达方位查看，角度可选择 θ ， ϕ | |
| RCS_Theta | | | RCS 随角度 θ 的响应关系，可按不同的频率和角度 ϕ 查看 | |
| RCS_Phi | | | RCS 随角度 ϕ 的响应关系，可按不同的频率和角度 θ 查看 | |
| Far_Field_ | | | 远场智能数据，可查看远场的详细信息，包含 RCS，电场，磁场和场相位等信息。 | |
| SmartData | | | | |

| | | | | |
|-----------|----------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| FDTD_Data | Far_Field_Data | ScanAngle_0 ScanAngle_1 ... | FDTD 仿真原始数据。包含每个雷达方位下的激励源信息, θ 极化 RCS、 ϕ 极化 RCS 和总 RCS 随频率的响应关系。 | 通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据, 可实现更高级的后处理功能。 |
| | gdata | | 全局变量。 | |
| | workmode | | 计算模式输入参数和相关参数。 | |
| report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |



注意事项

1. 此计算模式根据计算区域和物体自动生成总场散射场激励源和时域远场记录器。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 $LAMBDA/2$, 若手动设置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。
2. 输入频率序列可指定频率间隔, 频率间隔越小, 需要的 FDTD 迭代步数越大, 将导致计算时间越长。一般建议频率间隔不小于中心频率的 $1/100$, 对电大体系, 建议将频率间隔尽量设大 (软件将自动保证一定的频率分辨率)。
3. 计算结果中 RCS 频率响应曲线的频率间隔将小于或等于指定的频率间隔, 但由内置的时域远场记录器自动傅立叶变换后得到频率位置可能和输入的频率序列有偏移。
4. 新增角度指示器功能, 显示 RCS 模式内部激励源的入射方位。

4.5.3. RCS(双站, 角度响应)

● 概述

对给定频率范围内的每个频率点, 计算物体在固定入射角下双站 RCS 随接收角度的变化。

此模式的一般仿真流程: 设置基本参数 (发射雷达和接收雷达的工作频率, 发射雷达入射角度, 接收雷达的接收角度范围) → 建立散射体模型 (RCS 目标) → 计算, 计算模式自动计算指定发射雷达入射角下, 双站 RCS 随接收角的变化曲线, 频率范围内每个频点一条曲线 → 分析结果。

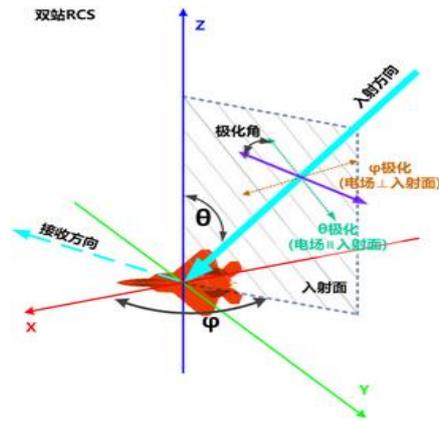


图 4-5-3-1 RCS（双站，角度响应）计算模式示意图

- 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：总场散射场。

时域波形：脉冲（信号频率范围覆盖输入的频率范围）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“发射雷达 θ 、 ϕ ”。

极化角度：根据用户输入的模式参数“发射雷达极化角度”。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，激励源位于物体包围框和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则激励源包围框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.2 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

记录器：

类型：频域远场记录器。

频率：根据用户输入的模式参数。

远场方向：根据用户输入的模式参数“接收雷达 θ 、 ϕ ”。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

- 模式图示



图 4-5-3-2 RCS（双站，角度响应）计算模式设置窗口

• 输入参数

表 4-5-3-1 RCS（双站，角度响应）计算模式参数输入

| 输入项 | 说明 | 备注 | |
|------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 频率序列 | 输入序列: 频率下限 a:频率间隔 b:频率上限 c。 例如, 输入 1:0.2:2, 表示计算频率范围 1~2GHz, 间隔 0.2GHz。 | 输入频率序列可指定频率间隔, 频率间隔越小, 需要的计算时间越长。 | |
| 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ 、 ϕ 和极化角度。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义, 只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 | |
| 发射雷达 | θ | 入射雷达波 θ 角, 输入单值。 | |
| | ϕ | 入射雷达波 ϕ 角, 输入单值。 | |
| | 极化角度 | 入射雷达波极化角, 输入单值。 极化角按全局球坐标系定义: 取入射方向和 Z 轴所在面为参考面, 极化角为 0 度时电矢量平行于参考面 (即只含 θ 偏振分量, 垂直极化), 90 度时垂直于参考面。 | 当入射方向沿 Z 轴时, 极化角 0 (90) 度对应电矢量沿 $\phi=0$ (90) 度方向。 |
| | 在工作平面下定义 | 勾选此项, 则发射雷达的 θ 、 ϕ 角和极化角度均使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义, 否则使用全局坐标系定义。 | 接收雷达的角度始终以所选工作平面的“局部坐标系”来定义。 |

| | | | |
|-------|-------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 接收雷达 | θ 范围 | 接收雷达 θ 角范围, 输入单值或序列。“序列”输入形式: 角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。 | 若 θ 和 ϕ 只有一个为范围, 则给出 RCS 对相应角度的响应曲线; 若 θ 和 ϕ 同时为范围, 则给出三维图。 |
| | ϕ 范围 | 接收雷达 ϕ 角范围, 输入单值或序列。“序列”输入形式: 角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。 | |
| 保存场数据 | | 是否保存自动后处理所使用的场数据。 | 保存场数据占用的磁盘空间较大。 |

• 输出结果

表 4-5-3-2 RCS (双站, 角度响应) 计算模式输出结果:

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|---------------------|----------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| RCS_frequency | | | RCS 随频率的响应关系, 可按照不同接收雷达方位 (θ , ϕ) 查看。 | |
| RCS_Theta | | | RCS 随角度 θ 的响应关系, 可按照不同接收雷达方位 ϕ 角和频率查看。 | |
| RCS_Phi | | | RCS 随角度 ϕ 的响应关系, 可按照不同接收雷达方位 θ 角和频率查看。 | |
| Far_Field_SmartData | | | 远场智能数据, 可查看远场的详细信息, 包含双站 RCS, 电场, 磁场和场相位等信息, 精度和范围任意可调。 | |
| FDTD_Data | Far_Field_Data | sys_source | 激励源信息 | FDTD 仿真原始数据。通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据, 可实现更高级的后处理功能。 |
| | | sys_record | 不同频点下双站 RCS 随接收雷达方位角度的响应关系, 包含总极化 RCS, θ 极化 RCS, ϕ 极化 RCS 三个量, 若接收雷达方位角度范围同时包含 θ 和 ϕ , 则给出三维 RCS 分布结果。 | |
| | gdata | | 变量信息 | |

| | | | |
|--|----------|--|----------------|
| | workmode | | 计算模式输入参数和相关参数。 |
| | report | | 显示整个计算过程的相关信息 |



注意事项

1. 此计算模式根据计算区域和物体自动生成总场散射场激励源和频域远场记录器。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 $LAMBDA/2$ ，若手动设置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。
2. 新增角度指示器功能，显示 RCS 模式内部激励源的入射方位。

4.6. 电磁兼容模式

电磁兼容模式可以严格计算多层次（板级、箱级、系统级和大平台级）的场场耦合、EMP 实时响应、天线耦合、非线性效应（倍频、互调和交调等）和杂波影响等电磁兼容问题，可实现电大/超电大体系的快速仿真，支持多参量优化和子设备布局优化功能。

4.6.1. 电磁兼容（多阵列，扫频，相扫）

● 概述

计算多个相控天线阵列在各自辐射条件（含不辐射）下的电磁场，可一次完成宽频范围内多个频点计算。

此模式与单一天线阵模式类似，一般仿真流程：建立若干独立的天线阵（参考单阵列计算模式流程）→ 在计算模式中新增相应的辐射阵列馈源，绑定到指定的阵列物体上 → 计算、分析结果。

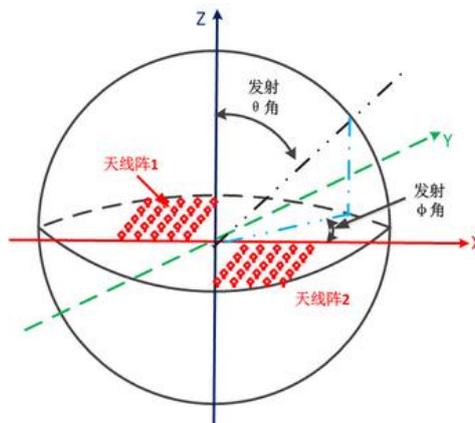


图 4-6-1-1 天线阵（单频，扫角度）计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：阵列馈源（相控阵）表格，根据用户设置的“基源”和“周期阵列结构”自动生成，“基源”类型和位置由模式参数设置界面设定。

时域波形：脉冲（信号频率范围覆盖输入的频率范围）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“ θ 、 ϕ ”，控制馈源阵元单元间的相对相位实现定向发射

位置：根据物体的周期阵列扩展方式自动对“基源”做相同扩展。

记录器：

类型：频域远场记录器。

远场方向：根据用户定义。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.05 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

- 模式设定

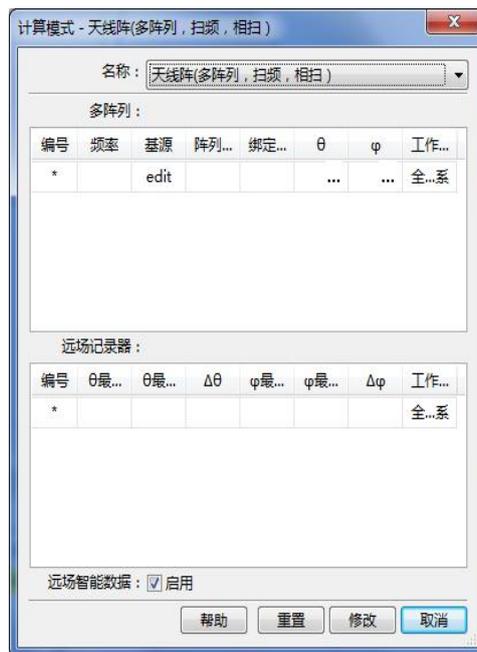


图 4-6-1-2 天线阵（单角度，扫频）计算模式设置窗口

- 输入参数

表 4-6-1-1 天线阵（单角度，扫频）计算模式输入参数

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 频率序列 | 输入形式：频率下限 a:频率间隔 b:频率上限 c。 例如，输入 1:0.1:2，表示计算频率范围 1GHz~2GHz 内透反率，间隔 0.1GHz。 | 频率间隔越小，需要的计算时间越长。除非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小于中心频率的 1/100。 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基源 | 天线阵列以“参考天线单元”进行周期扩展，计算模式根据“参考天线单元”的扩展方式对基源进行扩展，实现对整个天线阵列的馈电。设置“基源”适合正确给“参考天线单元”馈电即可。 | 各种“基源”类型的设置方法参见“核心模块-激励源模块”。或EastWave 教程案例。例如集总端口对天线馈电示例，可参见教程案例1.3。 |
| 阵列幅度分布 | 通过参数表达式的形式生成各个单元馈源的幅度。参数表达式将各个馈源的具体位置（ x 、 y 、 z ，单位为文档长度单位）作为参量，解析后得到幅度值。 可参见馈源阵列中“阵列幅度分布”的说明。 | 例如： x^2+y^2 表示幅度以抛物面形式，中心馈电弱($x=0,y=0$)，越往阵列边缘沿馈电越强； $select(x<0,+1,-1)$ 表示 $X<0$ 部分幅度因子为 1, $X>0$ 部分为-1, 此函数可实现 X 方向的差波束。 可参见“激励源”-“馈源阵列”中对“阵列幅度分布”的说明。 |
| 绑定阵列名 | 当模型含有多个阵列或组时，可选择一个阵列对基源进行自动阵列化操作，基源生成阵列的方式和所选阵列的生成方式一致。 | |
| 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ 和 ϕ 。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| θ | 天线阵发射方向 θ 角，输入单值。 | 以相控阵形式控制阵列发射方向。 |
| ϕ | 天线阵发射方向 ϕ 角，输入单值。 | |
| 远场记录器 | 定义远场记录器记录方向图等数据。可独立设置每个记录器的角度范围和角度精度。 默认定义了三个记录器： $\phi=0$ 度面： $\theta=-180\sim 180$ ，间隔 1 度； $\phi=90$ 度面： $\theta=-180\sim 180$ ，间隔 1 度； $\theta=90$ 度面： $\phi=0\sim 360$ ，间隔 1 度。 | 每个记录器可独立选择参考工作平面（用于定义局部坐标系），可用于同时记录多个斜记录面（ θ 、 ϕ 非常数）； 此模式用于 BSE 计算时，需要将记录器角度精度提高。 |

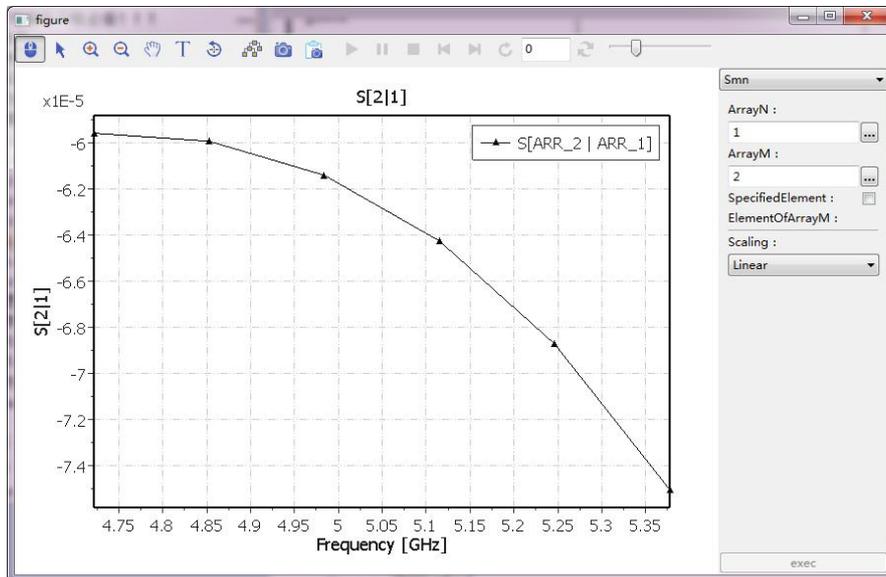
• 输出结果

表 4-6-1-2 天线阵（单角度，扫频）计算模式输出结果

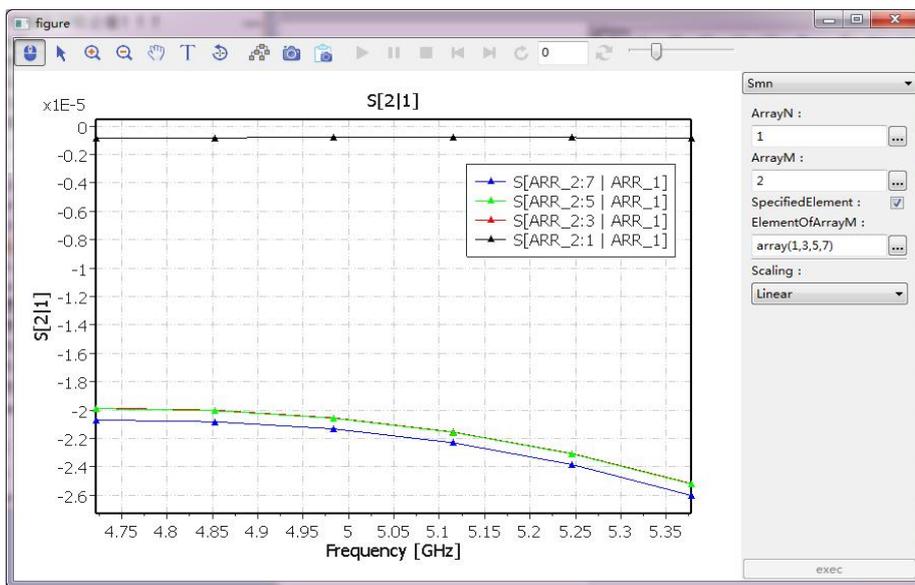
| 一级节点 | 二级节点 | 说明 |
|-------------------------|-------------|--------------------|
| report | | 屏幕输出信息记录。 |
| sys_FarFieldFD_1,2,3... | | 频域远场记录结果。 |
| sys_FeedArray1,2,3.... | nf_0,1,2... | 各个馈源阵列中各馈源单元的相关数据。 |

| | | |
|----------|---------------|-------------------------------------------------------|
| data | | 方向图原始数据，可在后处理中直接调用其中的数组。 |
| workmode | | 计算模式输入参数和相关参数，包含多个阵列的信息。 |
| | RCD_1,2,3... | 对应计算模式界面记录器编号的各个记录器结果，挂载内容的含义参见“核心模块-记录模块-[频域]远场记录器”。 |
| | ARRAY1,2,3... | 阵列信息。 |
| gdata | | 全局变量。 |
| S21 | | 互耦系数智能数据 |

• S21 智能数据



(a) 整体 S21



(b) 阵列 1 对阵列 2 中部分单元的干扰

图 4-6-1-3 S21 智能数据

双击结果中的 S21 节点，可以打开处理多个阵列的 S21 的智能数据。这里约定 S_{mn} 定义为： m 端口接收到的（有功）功率比上从 n 端口发出的（有功）功率：

$$S_{mn} = -\frac{\mathcal{R}(U_m I_m^*)}{\mathcal{R}(U_n I_n^*)}$$

我们这里约定 N 阵列（ArrayN）表示的是馈出天线（Excited Antenna），M 阵列是无馈出的天线（Unexcited Antenna）。其中 M 阵列在勾选 SpecifiedElement 选项后，可以选择其中的部分单元，计算出 N 阵列对这些单元的 S21，并绘制到结果图中。

4.6.2. 电磁兼容（多阵列，快速扫角，相扫）

● 概述

计算多个相控天线阵列在各自辐射条件（含不辐射）下的电磁场，一次完成指定单频下多个辐射角度的计算。

此模式与单一天线阵模式类似，一般仿真流程：建立若干独立的天线阵（参考单阵列计算模式流程）→ 在计算模式中新增相应的辐射阵列馈源，绑定到指定的阵列物体上 → 计算、分析结果。

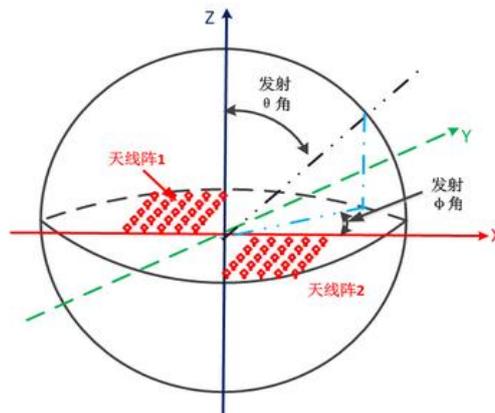


图 4-6-2-1 天线阵（单频，扫角度）计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：1mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：阵列馈源（相控阵）表格，根据用户设置的“基源”和“周期阵列结构”自动生成，“基源”类型和位置由模式参数设置界面设定。

时域波形：脉冲（信号频率范围覆盖输入的频率范围）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“ θ 、 ϕ ”，控制馈源阵元单元间的相对相位实现定向发射

位置：根据物体的周期阵列扩展方式自动对“基源”做相同扩展。

记录器：

类型：频域远场记录器。

远场方向：根据用户定义。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.05 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

- 模式设定

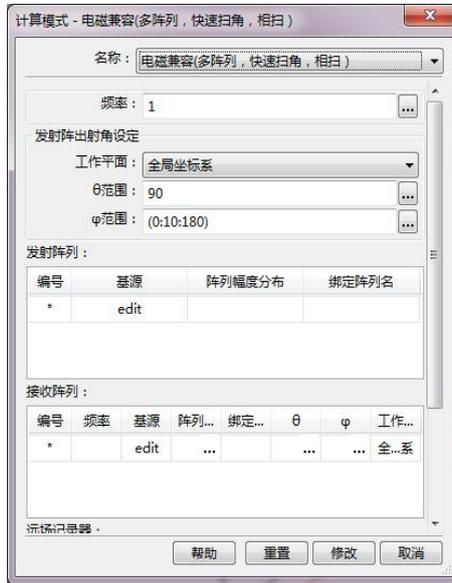


图 4-6-2-2 天线阵（单角度，扫频）计算模式设置窗口

- 输入参数

表 4-6-2-1 天线阵（单角度，扫频）计算模式输入参数

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 频率 | 输入形式：单一频率 | |
| 基源 | 天线阵列以“参考天线单元”进行周期扩展，计算模式根据“参考天线单元”的扩展方式对基源进行扩展，实现对整个天线阵列的馈电。 | 各种“基源”类型的设置方法参见“核心模块-激励源模块”。或 EastWave 教程案例。例如集总端口对天线馈电示例，可参见教程案例 1.3。 |
| 阵列幅度分布 | 通过参数表达式的形式生成各个单元馈源的幅度。参数表达式将各个馈源的具体位置（_x、_y、_z，单位为文档长度单位）作为参量，解析后得到幅度值。可参见馈源阵列中“阵列幅度分布”的说明。 | 例如： $\sqrt{x^2 + y^2}$ 表示幅度以抛物面形式，中心馈电弱 ($x=0, y=0$)，越往阵列边沿馈电越强； $\text{select}(x < 0, +1, -1)$ 表示 $X < 0$ 部分幅度因子为 1， $X > 0$ 部分为 -1，此函数可实现 X 方向的差波束。 可参见“激励源”-“馈源阵列”中对“阵列幅度分 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | 布”的说明。 |
| 绑定阵列名 | 当模型含有多个阵列或组时,可选择一个阵列对基源进行自动阵列化操作,基源生成阵列的方式和所选阵列的生成方式一致。 | |
| 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ 和 ϕ 。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义,只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| θ | 天线阵发射方向 θ 角,输入单值。 | 以相控阵形式控制阵列发射方向。 |
| ϕ | 天线阵发射方向 ϕ 角,输入单值。 | |
| 远场记录器 | 定义远场记录器记录方向图等数据。可独立设置每个记录器的角度范围和角度精度。 默认定义了三个记录器: $\phi=0$ 度面: $\theta=-180\sim 180$, 间隔 1 度; $\phi=90$ 度面: $\theta=-180\sim 180$, 间隔 1 度; $\theta=90$ 度面: $\phi=0\sim 360$, 间隔 1 度。 | 每个记录器可独立选择参考工作平面(用于定义局部坐标系),可用于同时记录多个斜记录面(θ 、 ϕ 非常数);此模式用于 BSE 计算时,需要将记录器角度精度提高。 |

• 输出结果

表 4-6-2-2 天线阵(单角度,扫频)计算模式输出结果:

| 一级节点 | 二级节点 | 说明 | 备注 |
|-------------------------|-------------|--------------------------|----|
| report | | 屏幕输出信息记录。 | |
| sys_FarFieldFD_1,2,3... | | 频域远场记录结果。 | |
| sys_FeedArray1,2,3.... | nf_0,1,2... | 各个馈源阵列中各馈源单元的相关数据。 | |
| data | | 方向图原始数据,可在后处理中直接调用其中的数组。 | |
| workmode | | 计算模式输入参数和相关参数,包含多个阵列的信息。 | |

| | | | |
|-------|---------------|-------------------------------------------------------|--|
| | RCD_1,2,3... | 对应计算模式界面记录器编号的各个记录器结果，挂载内容的含义参见“核心模块-记录模块-[频域]远场记录器”。 | |
| | ARRAY1,2,3... | 阵列信息。 | |
| gdata | | 全局变量。 | |
| S21 | | 互耦系数智能数据，参见 S21 智能数据。 | |

4.7. 雷达目标成像模式

成像计算模式可以对舰船、飞机 坦克等目标进行成像和目标识别的精确计算（包含背景环境杂波和噪声等影响），再现目标在指定频率和雷达发射角下散射热点分布，可应用于目标识别和隐身设计。

4.7.1. 二维 SAR 成像

● 概述

散射热点成像模式基于环状宽带双站 RCS 数据，再现目标在指定频率和雷达发射角下散射热点分布。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（成像雷达的工作频率、入射角度、极化等）→ 建立成像目标模型→ 计算，计算模式根据成像雷达的设置自动计算得到目标的散射热点成像图→ 分析结果。

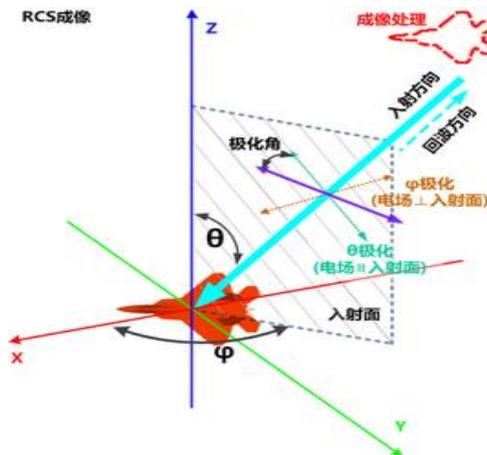


图 4-7-1-1 二维 SAR 成像计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：1mm

时间单位：自动关联长度单位

频率单位：GHz

激励源：

空间分布：总场散射场

时域波形：脉冲（信号频率范围覆盖输入的频率范围）

发射方向：根据用户输入的模式参数

极化角度：根据用户输入的模式参数“成像雷达极化角度”

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，激励源位于物体包围框和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则激励源包围框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.2 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

记录器：

类型：频域远场记录器

频率：根据用户输入的模式参数

远场方向：根据用户输入的模式参数

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

- 模式图示

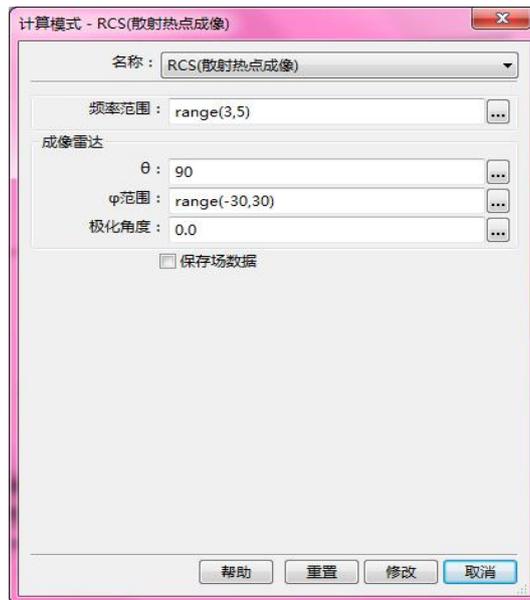


图 4-7-1-2 二维 SAR 成像计算模式设置窗口

- 输入参数

表 4-7-1-1 二维 SAR 成像计算模式输入参数

| 输入项 | | 说明 | 备注 |
|------|------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| 频率范围 | | 输入范围：range(频率下限 a, 频率上限 b)。中心频率为成像热点的参考频率。 | 若物体的散射特征对频率敏感，则频率范围设置不宜过大。 |
| 成像雷达 | θ | 成像雷达入射 θ 角，输入单值。 | 模式计算探测雷达以入射角 (θ, 中心 φ 角) 照射物体时的散 |
| | φ 范围 | 成像雷达接收 φ 角，输入范围：range(φ 下限, φ 上限)。 | |

| | | | |
|-------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| | | | 射热点分布。 |
| | 极化角度 | 成像雷达入射雷达波的极化角。 极化角按全局球坐标系定义：取入射方向和 Z 轴所在面为参考面，极化角为 0 度时电矢量平行于参考面（即只含 θ 偏振分量，垂直极化），90 度时垂直于参考面。 | 当入射方向沿 Z 轴时，极化角 0（90）度对应电矢量沿 $\phi=0$ （90）度方向。 |
| 保存场数据 | | 是否保存自动后处理所使用的场数据。 | 保存场数据占用的磁盘空间较大。 |

• 输出结果

表 4-7-1-2 二维 SAR 成像计算模式输出结果

| 一级节点 | 二级节点 | 说明 | 备注 |
|-----------|----------|---------------|----|
| Images | | 二维 SAR 图像 | |
| FDTD_Data | gdata | 变量信息 | |
| | workmode | 模式输入参数和相关计算参数 | |
| | | | |
| Report | | 显示整个计算过程相关信息 | |



注意事项

1. 此计算模式根据计算区域和物体自动生成总场散射场激励源和频域远场记录器。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 $LAMBDA/2$ ，若手动设置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。
2. 散射成像的机理决定，从远场的散射信息变换回近场时得到一个截面的 2D 周期函数，远场的坐标远点与近场的坐标原点没有明确的规定，建议将散射物体的中心放置在计算区域的坐标原点，这样可以得到较容易理解的成像结果。
3. 新增角度指示器功能，显示 RCS 模式内部激励源的入射方位。

4.7.2. 一维成像

● 概述

一维成像计算模式基于目标距离向散射场数据，以及成熟的一维成像算法，获取目标距离像。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（成像雷达的工作频率、信号类型、极化等）→ 建立成像目标模型 → 计算，计算模式根据成像雷达的设置自动计算得到目标的一维距离像。

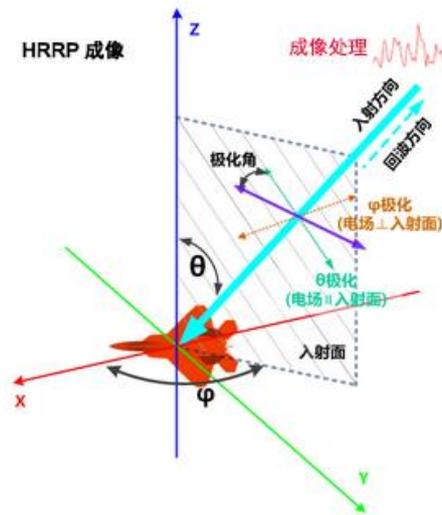


图 4-7-2-1 一维成像计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：1mm

时间单位：可设定是否自动关联长度单位

频率单位：GHz

激励源：

空间分布：平面波

时域波形：频率步进信号

发射方向：默认 X 轴正方向

极化角度：可选垂直极化和水平极化

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，激励源位于物体包围框和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则激励源包围框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.2 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

记录器：

类型：[时域]远场记录器

频率：根据用户输入的模式参数

远场方向：后向散射方向

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。



图 4-7-2-2 一维成像计算模式设置窗口

- 输入参数

表 4-7-2-1 一维成像计算模式输入参数

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 频率序列 | 输入步进频率的序列，比如格式 f1: Δ f:f2。f1 为起始频点，Δ f 为频率步长，f2 为终止频点。 | 频率范围和频率步长的设置要根据目标尺寸和预期分辨率来设置。 |
| 雷达位置 | 成像雷达与记录器的间距（即散射场外推距离） | |
| 信号振幅 | 激励源信号幅度 | |
| 频率权重 | 给出各频率的权重，以数组的形式给出。比如对 4 个频率给出均等的权重，可写作 ones(4)。默认参数“\$AUTO”表示所有频率的权重均相等（即所有频率的权重均为 1）。 | |
| 信号类型 | 频率步进信号。 | |
| θ | 成像雷达入射角 | |
| φ | 成像雷达方位角 | |

| | | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 极化类型 | <p>成像雷达入射雷达波的极化。</p> <p>极化类型分为垂直极化 (vertical polarization) 和水平极化 (horizontal polarization)，当电场方向与 θ 方向一致时为垂直极化，与 ϕ 方向一致时为水平极化。</p> | <p>垂直极化又称为 θ 极化，水平极化称为 ϕ 极化。</p> |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|

• 输出结果

| 一级节点 | 二级节点 | 说明 | 备注 |
|-----------|-------------|--------------|----|
| Images | | 一维距离像 | |
| FDTD_Data | sys_source | 激励源时域波形 | |
| | sys_recordT | 记录器 | |
| | gdata | 变量信息 | |
| Report | | 显示整个计算过程相关信息 | |

4.8. 阵罩联合仿真

阵罩联合仿真模式可以实现天线阵和天线罩联合下，功率传输系数和瞄准线误差的计算。该计算模式包含东峻针对该类问题研发的快速算法，配合 EastWave 强大的阵列建模功能可高效的完成联合仿真。

4.8.1. 阵罩联合仿真（功率传输系数，快速扫角，相扫）

● 概述

计算特定频率下，天线罩和天线阵联合下的功率传输系数（透波率）随发射天线扫描角的变化，同时给出方向图随扫描角的变化。

此模式的一般仿真流程：设置基本参数（发射天线工作频率、扫描角度、加速级别等，部分参数可在模型建立后再进行设置）→建立单个天线单元，作为“参考单元”→将“参考单元”扩充成天线阵列→建立天线罩模型 → 设置基元参数，使之能对天线单元正确馈电→ 绑定天线阵和天线罩 →计算、分析结果。

计算模式根据发射天线的设置自动完成发射角扫描，得到天线罩和天线阵联合仿真透波率的角度响应和波束方向图等。

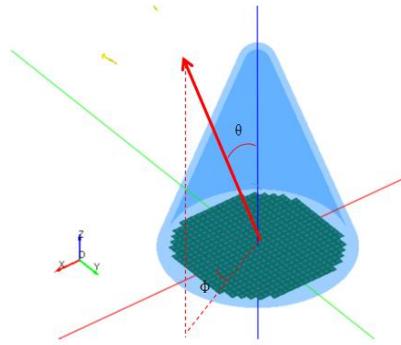


图 4-9-1-1 阵罩联合仿真（功率传输系数，快速扫角，相扫）计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：阵列馈源（相控阵），根据用户设置的“基源”和“周期阵列结构”自动生成，“基源”类型和位置由模式参数设置界面设定。

时域波形：持续波（单频）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“ θ 、 ϕ ”，控制馈源阵元单元间的相对相位实现定向发射。

位置：根据物体的周期阵列扩展方式自动对“基源”做相同扩展。

记录器：

类型：频域远场记录器。

远场方向：激励源发射方向。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

• 模式视图

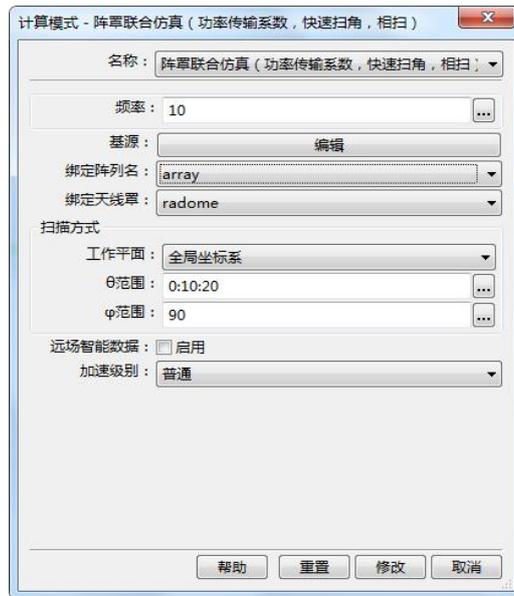


图 4-9-1-2 阵罩联合仿真（功率传输系数，快速扫角，相扫）计算模式设置窗口

• 输入参数

表 4-9-1-1 天线罩天线阵联合仿真（功率传输系数，快速扫角，相扫）模式输入参数：

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 频率 | 天线阵工作频率，只允许单值。 | |
| 基源 | 天线阵列以“参考天线单元”进行周期扩展，计算模式根据“参考天线单元”的扩展方式对基源进行扩展，实现对整个天线阵列的馈电。 | 各种“基源”类型的设置方法参见“5.3 核心模块-激励源模块”。或 EastWave 教程案例。例如集总端口对天线馈电示例 |
| 绑定阵列名 | 基源根据绑定的阵列名所对应的阵列进行自动化阵列操作，基源生成阵列的方式和所绑定阵列的生成方式一致。 | |
| 绑定天线罩 | 绑定的天线罩在第二次计算时材料自动设置为空气。当天线罩含有频选等结构时，应将罩体和频选结构打包成组，然后绑定整体组结构；如果只存在单一的罩体，则可通过复制形成 2 份完全重合的罩体，将其打包成组，然后绑定组结构。 | |
| 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ 和 ϕ 。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| θ 范围 | 天线阵发射方向 θ 角扫描范围，可输入单值或序列。“序列”输入形式：角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。 | 以相控阵形式控制阵列发射方向。 |

| | | |
|-----------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| ϕ 范围 | 天线阵发射方向 ϕ 角扫描范围, 可输入单值或序列。“序列”输入形式: 角度下限 a: 角度间隔 b: 角度上限 c。 | |
| 远场智能数据 | 开启远场智能数据 | |
| 加速级别 | 选择扫角计算速度 | 对部分物体(例如腔体结构), 加速级别高可能导致计算精度降低。对此类模型, 建议在大量计算前, 测试不同加速级别下计算结果是否一致。 |

- 输出结果

表 4-9-1-2 天线罩天线阵联合仿真(功率传输系数, 快速扫角, 相扫)结果输出:

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|-------------------|----------------|-------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Transmisson_theta | | | 透波率随扫描角 θ 的响应关系, 可选择不同的 ϕ 角度查看 | |
| Transmisson_phi | | | 透波率随扫描角 ϕ 的响应关系, 可选择不同的 θ 角度查看 | |
| Directivity_2d | | | 远场方向图, 同时显示带罩和不带罩 2 种情况。可选择不同的扫描角查看。 | |
| FDTD_Data | Far_Field_Data | WithStru | 不同扫描角的带罩方向图 | FDTD 仿真数据。包含每个扫描角下的激励源数据信息, 远场频域详细信息。通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据, 可实现更高级的后处理功能。 |
| | | WithoutStru | 不同扫描角的不带罩方向图 | |
| | gdata | 变量信息 | | |
| Report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |

4.8.2. 阵罩联合仿真(瞄准线误差, 快速扫角, 相扫)

- 概述

计算特定频率下, 天线罩和天线阵联合下的瞄准线误差(BSE)随发射天线扫描角的变化, 同时给出方向图随扫描角的变化。

此模式的一般仿真流程: 设置基本参数(发射天线工作频率、扫描角度、加速级别等, 部分参数可在模型建立后再进行设置) → 建立单个天线单元, 作为“参考单元” → 将“参考单元”扩充成天线阵列 → 建立天线罩模型 → 设置基元参数, 使之能对天线单元正确馈电 → 绑定天线阵和天线罩 → 计算、分析结果。

计算模式根据发射天线的设置自动完成发射角扫描，得到天线罩和天线阵联合仿真 BSE 的角度响应和差波束方向图等。

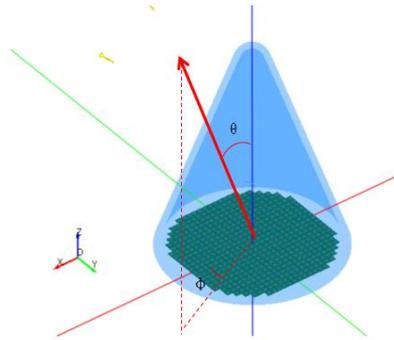


图 4-9-2-1 阵罩联合仿真（瞄准线误差，快速扫角，相扫）计算模式示意图

• 模式设定

单位：

长度单位：mm。

时间单位：自动关联长度单位。

频率单位：GHz。

激励源：

空间分布：阵列馈源（相控阵），根据用户设置的“基源”和“周期阵列结构”自动生成，“基源”类型和位置由模式参数设置界面设定。

时域波形：持续波（单频）。

发射方向：根据用户输入的模式参数“ θ 、 ϕ ”，控制馈源阵元单元间的相对相位实现定向发射。

位置：根据物体的周期阵列扩展方式自动对“基源”做相同扩展。

记录器：

类型：频域远场记录器。

远场方向：激励源发射方向。

位置：若物体包围框完全位于计算区域内，记录器外推框位于激励源和计算区域边界之间；若物体超出计算区域，则记录器外推框位于计算区域边界内侧距离边界 $0.1 * \text{LAMBDA} / 2$ 处。

边界设置：

开放边界（默认：6层 PML 吸收边界）。

• 模式视图

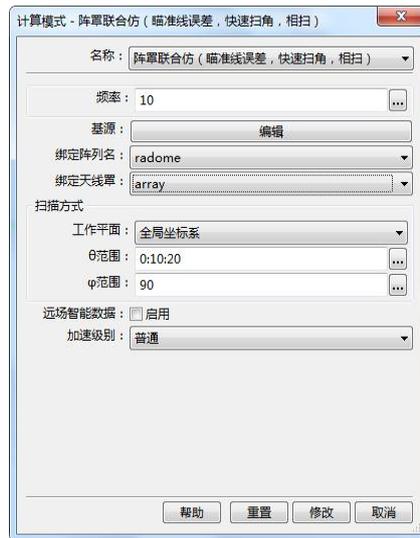


图 4-9-2-2 阵罩联合仿真（瞄准线误差，快速扫角，相扫）计算模式设置窗口

• 输入参数

表 4-9-2-1 阵罩联合仿真（瞄准线误差，快速扫角，相扫）模式输入参数：

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 频率 | 天线阵工作频率，只允许单值。 | |
| 基源 | 天线阵列以“参考天线单元”进行周期扩展，计算模式根据“参考天线单元”的扩展方式对基源进行扩展，实现对整个天线阵列的馈电。 | 各种“基源”类型的设置方法参见“5.3 核心模块-激励源模块”。或 EastWave 教程案例。例如集总端口对天线馈电示例 |
| 绑定阵列名 | 基源根据绑定的阵列名所对应的阵列进行自动化阵列操作，基源生成阵列的方式和所绑定阵列的生成方式一致。 | |
| 绑定天线罩 | 绑定的天线罩在第二次计算时材料自动设置为空气。当天线罩含有频选等结构时，应将罩体和频选结构打包成组，然后绑定整体组结构；如果只存在单一的罩体，则可通过复制形成 2 份完全重合的罩体，将其打包成组，然后绑定组结构。 | |
| 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ 和 ϕ 。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |

| | | |
|-------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| θ 范围 | 天线阵发射方向 θ 角扫描范围，可输入单值或序列。“序列”输入形式：角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。 | 以相控阵形式控制阵列发射方向。 |
| ϕ 范围 | 天线阵发射方向 ϕ 角扫描范围，可输入单值或序列。“序列”输入形式：角度下限 a:角度间隔 b:角度上限 c。 | |
| 远场智能数据 | 开启远场智能数据 | |
| 加速级别 | 选择扫角计算速度 | 对部分物体（例如腔体结构），加速级别高可能导致计算精度降低。对此类模型，建议在大量计算前，测试不同加速级别下计算结果是否一致。 |

• 输出结果

表 4-9-2-2 天线罩天线阵联合仿真（瞄准线误差，快速扫角，相扫）结果输出：

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 说明 | 备注 |
|----------------|----------------|-------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| BSE_theta | | | BSE 随扫描角 θ 的响应关系，可选择不同的 ϕ 角度查看 | |
| BSE_phi | | | BSE 随扫描角 ϕ 的响应关系，可选择不同的 θ 角度查看 | |
| Directivity_2d | | | 远场方向图，同时显示带罩和不带罩 2 种情况。可选择不同的扫描角查看。 | |
| FDTD_Data | Far_Field_Data | WithStru | 不同扫描角的带罩方向图信息 | FDTD 仿真数据。包含每个扫描角下的激励源数据信息，远场频域详细信息。通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据，可实现更高级的后处理功能。 |
| | | WithoutStru | 不同扫描角的不带罩方向图信息 | |
| | gdata | | 变量信息 | |
| Report | | | 显示整个计算过程的相关信息 | |

第五章 核心模块

5.1. 物体模块

EastWave 包含丰富的建模功能。除了基本的几何模型外，东峻从工程应用角度出发，开发了特色建模功能：（1）内置天线罩建模，（2）阵列建模，（3）FSS 天线罩建模，（4）多层物体建模。使用 EastWave 特色建模功能可快速生成适合特定工程问题的物体模型，大大减小建模的复杂度。EastWave 的参数扫描建模方式为建模提供了较大的灵活性，可建立任意已知解析表达方式的模型。EastWave 支持导入第三方软件建立的模型。

“模型”工具条包含所有的建模选项。



5.1.1. 立方体

立方体可用于设计长方体、正方体物体。立方体参数设置对话框如下图所示：

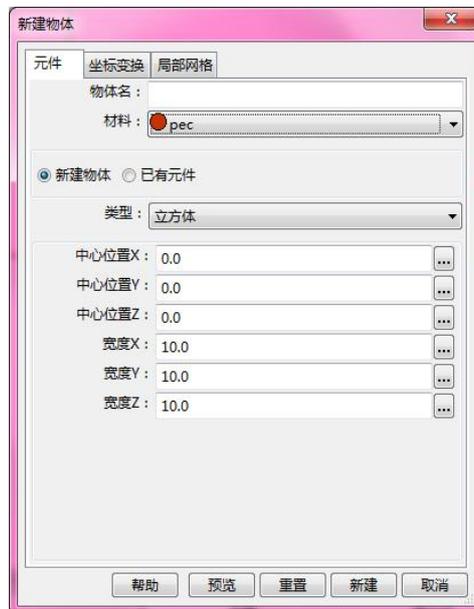


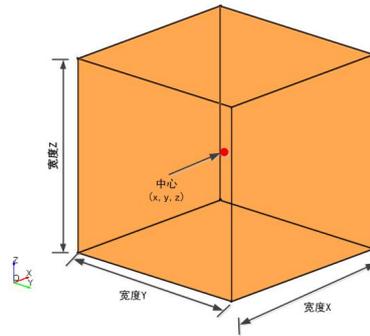
图 5-1-1 立方体参数设置

各参数含义见下表：

表 5-1-1 立方体参数说明表：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|----------------------|----|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 中心位置 | 指定立方体中心点的坐标(X,Y,Z) | |
| 宽度 | 指定立方体 X、Y、Z 三个方向上的长度 | |

立方体参数示意图如下：



5.1.2. 圆柱体

圆柱体可用于设计截面为正圆或椭圆的柱形物体。圆柱体参数设置对话框如下图所示：

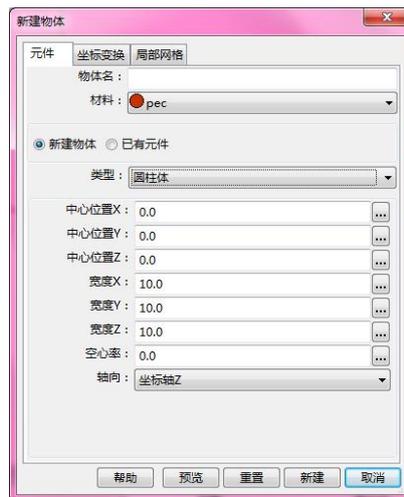


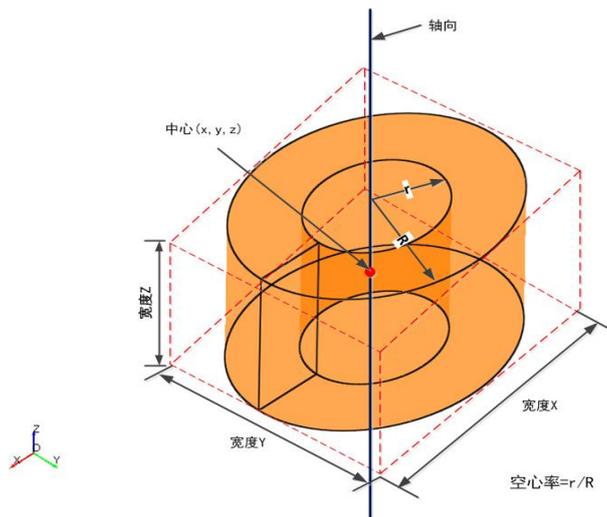
图 5-1-2 圆柱体参数设置

各参数含义见下表：

表 5- 1-2 圆柱体参数说明表：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|---------------------------|-------------------|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 中心位置 | 指定圆柱体外接立方体的中心坐标(X,Y,Z) | |
| 宽度 | 指定圆柱体外接立方体 X、Y、Z 三个方向上的长度 | |
| 空心率 | 指定圆柱体空心的比例 | 空心率=截面内圆直径/截面外圆直径 |
| 轴向 | 指定圆柱体中心轴线的方向 | |

圆柱体参数示意图如下：



5.1.3. 球体

球体元件可用于设计正球体和椭球结构。球体元件参数设置对话框如下图所示：

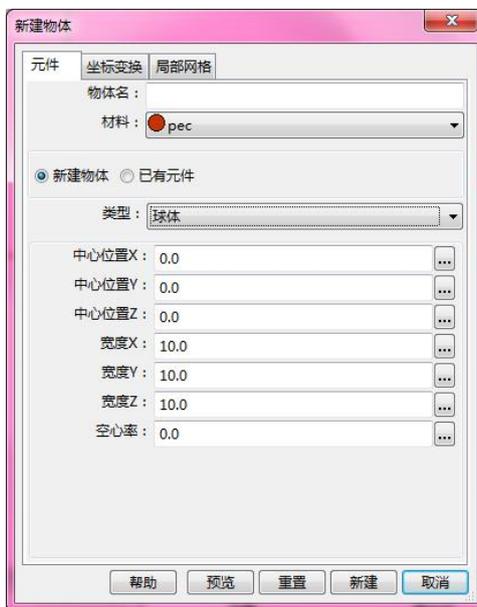


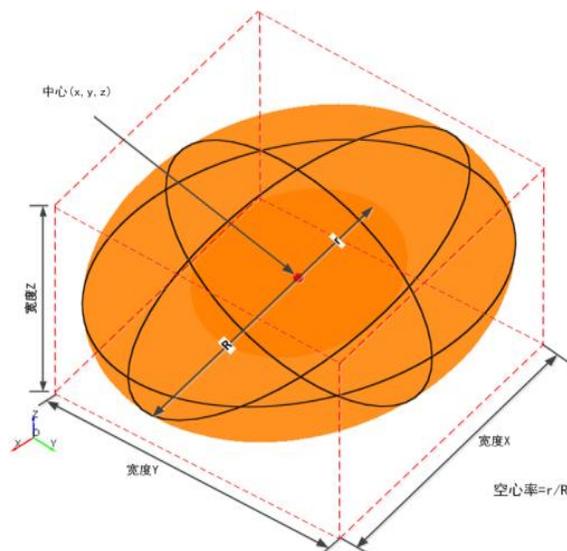
图 5-1-3 球体参数设置

各参数含义见下表：

表 5-1-3 球体参数含义：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|-------------------------------------|-------------------------|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 中心位置 | 指定球体中心点的坐标(X,Y,Z) | |
| 宽度 | 指定球体外接立方体 X、Y、Z 三个方向上的长度（即三个方向上的轴长） | |
| 空心率 | 指定球体空心的比例 | 空心率 = 球中心截面内直径/球中心截面外直径 |

球体元件显示如下：



5.1.4. 圆锥体

圆锥体可用于设计三维形状为圆锥形的物体。圆锥体参数如下图所示：

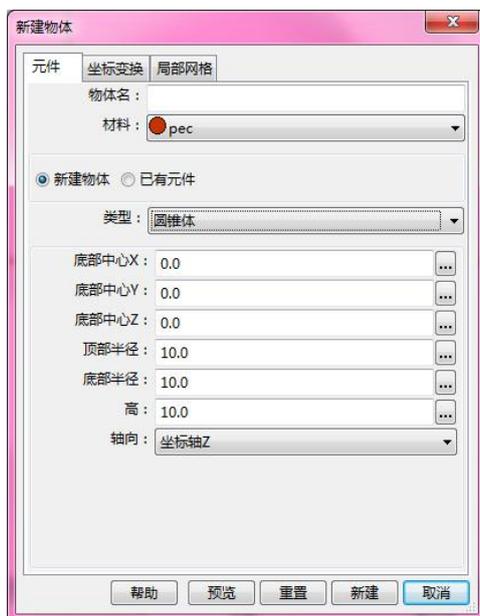


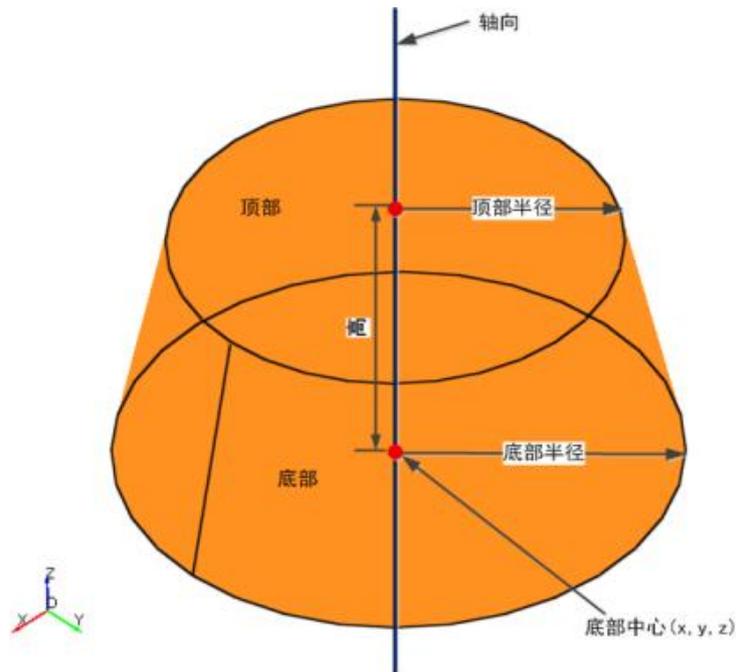
图 5-1-4 圆锥体参数设置

各参数见下表：

表 5-1-4 圆锥体参数说明表

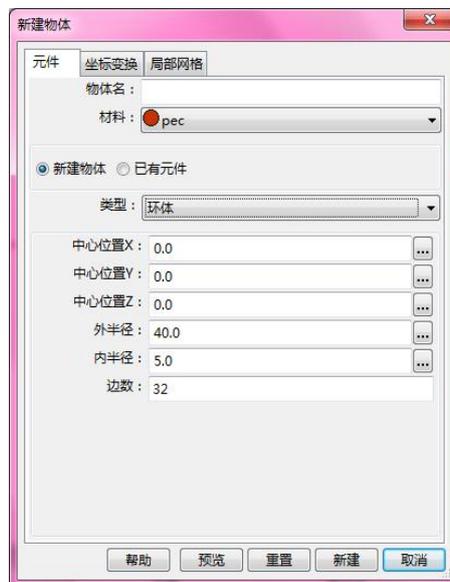
| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|-------------------------|----|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 中心位置 | 指定圆锥体外接立方体的中心坐标 (X,Y,Z) | |
| 顶部半径 | 指定圆锥体顶部圆截面的半径 | |
| 底部半径 | 指定圆锥体底部圆截面的半径 | |
| 高 | 指定圆锥体的高度 | |

| | | |
|----|--------------|--|
| 轴向 | 指定圆柱体中心轴线的方向 | |
|----|--------------|--|



5.1.5. 环体

环体可用于建立常见的闭环结构（方环、圆环体等）。其参数设置如下：



5-1-5-1 环体参数设置

各参数见下表：

表 5- 1-5 环体参数说明

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|-------------------------|----|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 中心位置 | 指定圆锥体外接立方体的中心坐标 (X,Y,Z) | |

| | | |
|-----|-------------------|--|
| 外半径 | 环体外轮廓（正多边形）外接圆的半径 | |
| 内半径 | 环体内轮廓（正多边形）外接圆的半径 | |
| 边数 | 环体内轮廓、外轮廓的边数 | |

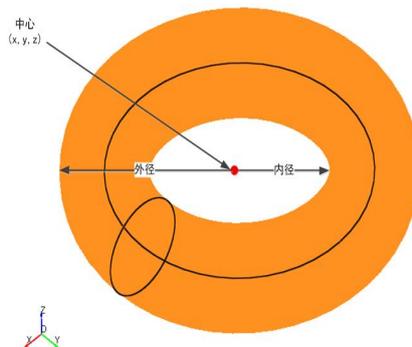


图 5-1-5-6 环体示意图

5.1.6. 管形物体

管形物体用于建立方管、圆管、喇叭等物体。



图 5-1-6 管形物体设置

各参数见下表：

表 5-1-6 环体参数说明：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|-----|------------|----|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 管形 | 制定管的截面形状类型 | |
| 厚度 | 管壁的厚度 | |

| | | |
|------|---------|------------------------|
| 底部宽度 | 底部内壁的宽度 | 方管的宽度对应长和宽;圆管的宽度对应长短轴。 |
| 顶部宽度 | 顶部内壁的宽度 | |

5.1.7. 扇形柱体

扇形柱体可用于设计截面为扇形的柱体物体。扇形柱体参数设置对话框如下图所示。



图 5-1-7 扇形柱体参数设置

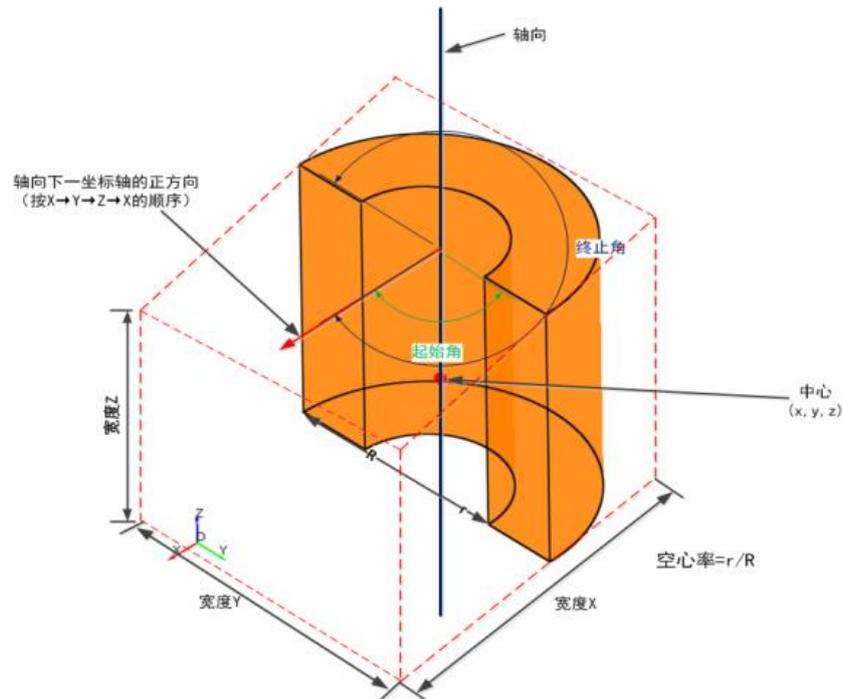
各参数含义见下表:

表 5-1-7 扇形柱体元件参数含义

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 中心位置 | 指定扇形柱体旋转轴中点坐标(X,Y,Z) | |
| 宽度 | 指定扇形柱体的参考圆柱体的外接立方体 X、Y、Z 三个方向上的长度 | “参考圆柱体”指将扇形柱体的扇面扩展为360°后形成的柱体 |
| 起始角 | 指扇形起始边与轴向量的夹角 | 这里的轴向量指扇形柱体轴向的下一轴(按 X→Y→Z→X 顺序)的正方向 |
| 终止角 | 指扇形终止边与轴向量的夹角 | |
| 空心率 | 指定扇形柱体空心的比例 | 空心率=截面扇形内直径/截面扇形外直径 |

| | | |
|----|---------------|--|
| 轴向 | 指定扇形柱体中心轴线的方向 | |
|----|---------------|--|

扇形柱体元素显示如下：



5.1.8. 天线罩

EastWave 根据常用天线罩外形线预定义了内置天线罩模型，用户使用时只需输入模型所对应的外形线参数。为避免参数定义混乱，内置天线罩模型作如下约定：

- 1) 天线罩厚度为表面切线的法向厚度，法向厚度等厚；
- 2) 天线罩“头部朝向”默认朝向 Z 轴正方向（注意：天线罩相关计算模式约定将天线罩头部朝向 Z 轴正方向）；
- 3) 天线罩顶点位于建模坐标原点，输入“平移距离”为向“头部朝向”方向移动的距离。

• 正切卵形(Tangent Ogive):

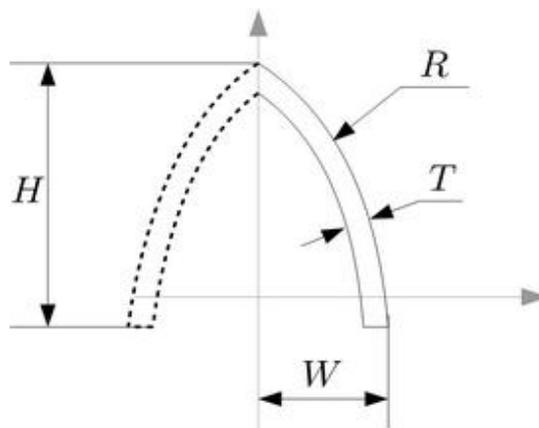


图 5-1-8-1 正切卵形示意图

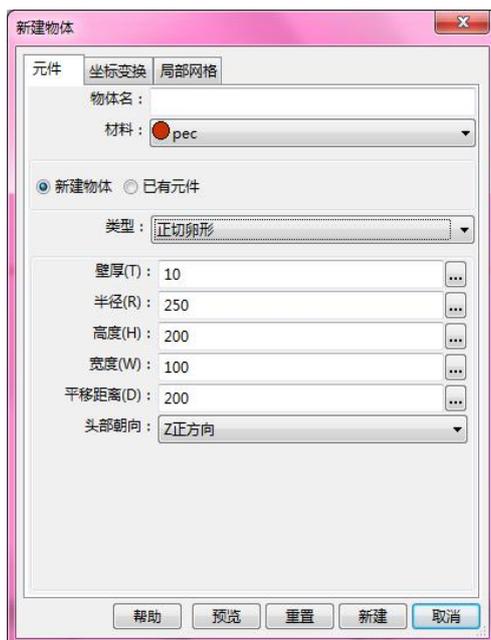


图 5-1-8-2 正切卵形参数设置

表 5-1-8-1 正切卵形天线罩参数含义:

| 参数 | 说明 | 备注 |
|---------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| 壁厚(T) | 天线罩的厚度 | |
| 半径(R) | 天线罩外形线（圆弧）的半径 | 外（内）形线即该天线罩的外（内）母线，是一段圆弧，其圆心落在图中的横轴（灰色）上。 |
| 高度(H) | 天线罩顶点到底面的高度 | |
| 宽度(W) | 外形线距离中轴线最远处的距离 | |
| 平移距离(D) | 顶点位置从原点处沿轴向平移的距离 | 轴向即天线罩头部的朝向。当 D=0 时，天线罩顶部（外形线处）处于原点。 |
| 头部朝向 | 天线罩头部的朝向，可选 X 正方向/Y 正方向/Z 正方向 | |

- 尖锥 (Conical):

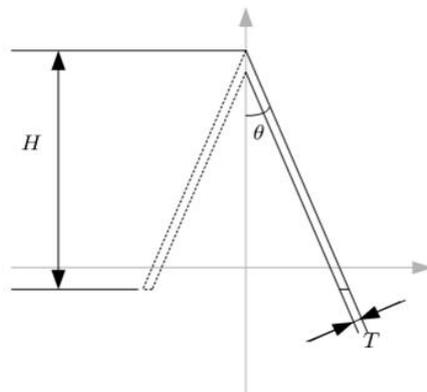


图 5-1-8-3 尖锥示意图

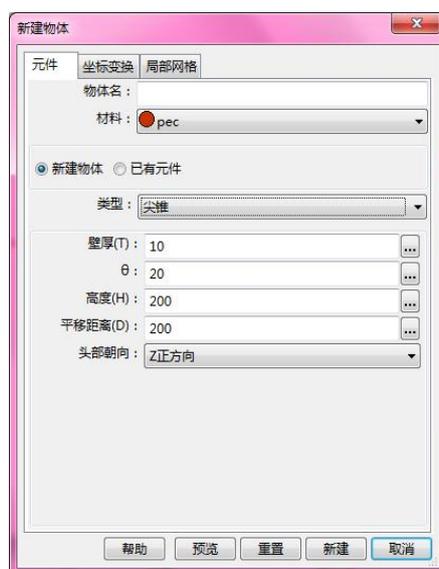


图 5-1-8-4 尖锥参数设置

表 5-1-8-2 尖锥形天线罩参数含义：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|----------|-------------------------------|--------------|
| 壁厚(T) | 天线罩的厚度 | |
| 高度(H) | 天线罩顶点到底面的高度 | |
| θ | 尖锥的半锥角 | |
| 平移距离(D) | 顶点位置从原点处沿轴向平移的距离 | 轴向即天线罩头部的朝向。 |
| 头部朝向 | 天线罩头部的朝向,可选 X 正方向/Y 正方向/Z 正方向 | |

• 球形鼻锥 (Spherically-blunted Cone) :

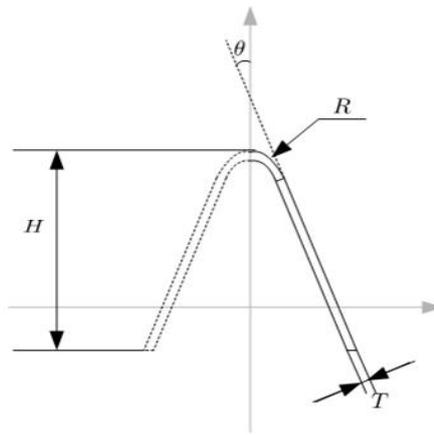


图 5-1-8-5 球形鼻锥示意图

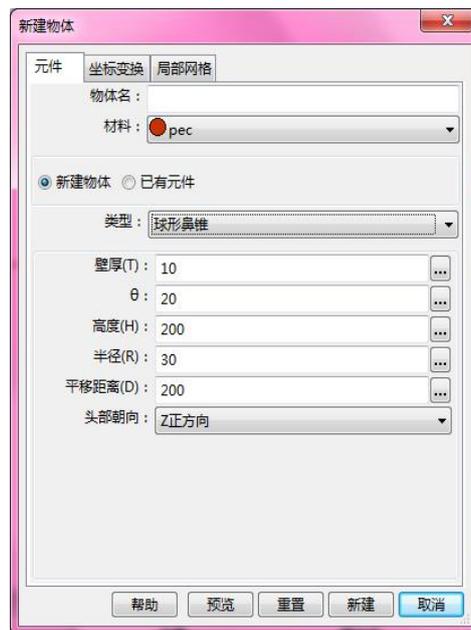


图 5-1-8-6 球形鼻锥参数设置

表 5-1-8-3 球形鼻锥天线罩参数含义:

| 参数 | 说明 | 备注 |
|----------|--------------------------------|-------------|
| 壁厚(T) | 天线罩的厚度 | |
| 高度(H) | 天线罩顶点到底面的高度 | |
| 半径(R) | 球形鼻锥头部球体的半径 | |
| θ | 尖锥的半锥角 | |
| 平移距离(D) | 顶点位置从原点处沿轴向平移的距离 | 轴向即天线罩头部的朝向 |
| 头部朝向 | 天线罩头部的朝向, 可选 X 正方向/Y 正方向/Z 正方向 | |

• 幂次形旋转体 (Power Series) :

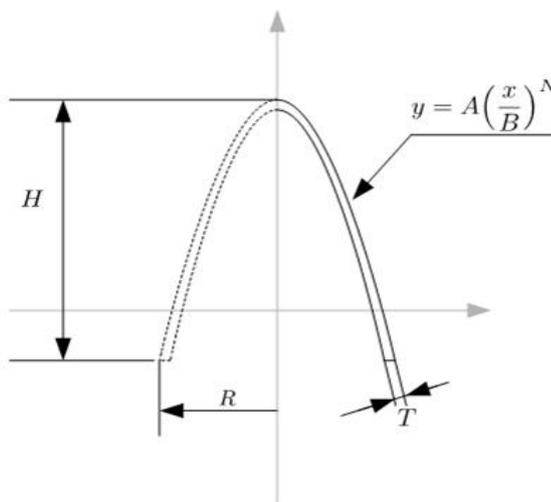


图 5-1-8-7 幂次形旋转体示意图



图 5-1-8-8 幂次形旋转体参数设置

表 5-1-8-4 幂次形旋转体天线罩参数含义：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|-------|---------------------------------------------|----|
| 壁厚(T) | 天线罩的厚度 | |
| 半径(R) | 天线罩底部半径 | |
| 系数(A) | 幂函数 $y = A\left(\frac{x}{B}\right)^N$ 的系数 A | |
| 系数(B) | 幂函数 $y = A\left(\frac{x}{B}\right)^N$ 的系数 B | |

| | | |
|---------|------------------------------------------------|--------------|
| 指数(N) | 幂函数 $y = A \left(\frac{x}{B} \right)^N$ 的指数 N | |
| 平移距离(D) | 顶点位置从原点处沿轴向平移的距离 | 轴向即天线罩头部的朝向。 |
| 头部朝向 | 天线罩头部的朝向, 可选 X 正方向 /Y 正方向/Z 正方向 | |

5.1.9. 导入 CAD 模型

EastWave 支持从外部导入常见 CAD 格式模型, 在该元件中支持 STL/STEP/IGES 三类格式。CAD 模型导入设置对话框如下图:

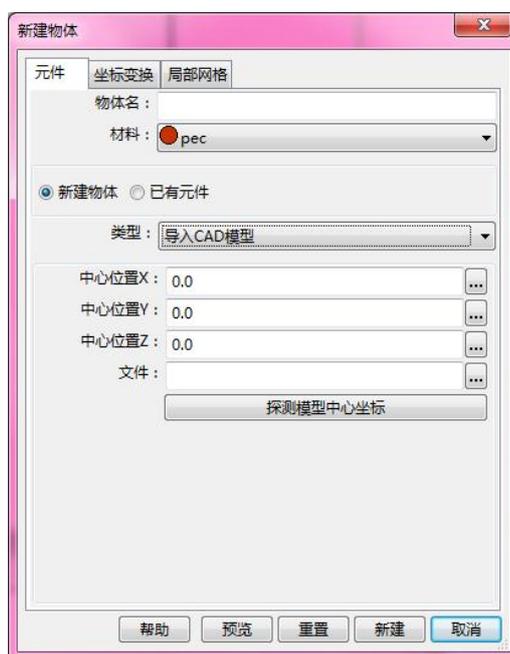


图 5-1-9-1 导入 CAD 模型参数设置

各参数含义见下表:

表 5-1-9 导入 CAD 模型参数说明表:

| 参数 | 说明 | 备注 |
|--------------|------------------------|-------------------------------------------------------|
| 物体名 | 指定导入物体的名称 | |
| 中心位置 (X,Y,Z) | 指定导入后模型的中心坐标位置 (X,Y,Z) | |
| CAD 文件 | 指定本地 CAD 模型文件的路径 | EastWave 支持导入 STL、STEP、IGES 等 CAD 格式模型。建议优先考虑 STL 格式。 |
| 探测模型 | 自动检测模型的中心坐标信息, 将其作 | |

| | |
|------|-------------|
| 中心坐标 | 为导入后模型的中心位置 |
|------|-------------|

EastWave 还支持导入 VRML 格式，并作为多个物体和元件的方式装载到 FDTD 工程中。详见附录 VII 导入 VRML 模型文件的说明。

5.1.10. 多层物体

多层物体是导入面按照特定方向生长多层材料的一种建模方式，其参数设置如下图 5-1-10 所示：

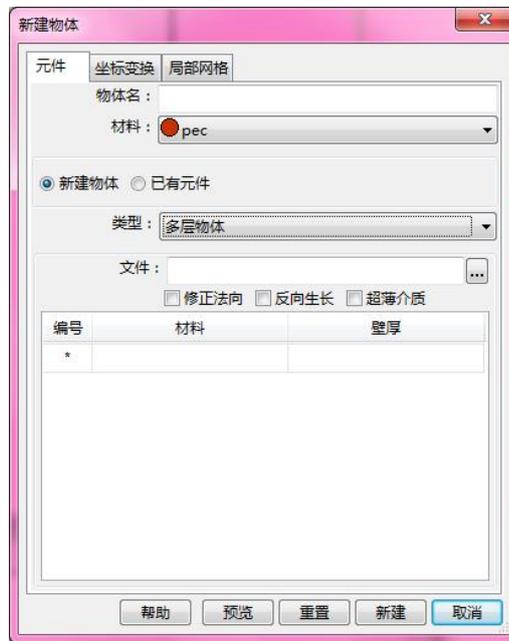


图 5-1-10 多层物体参数设置

各项参数意义如下：

表 5-1-10 多层物体参数说明：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 物体名 | 指定导入物体的名称 | |
| 文件 | 指定本地 CAD 模型文件的路径 | EastWave 支持导入 STL、STEP、IGES 等 CAD 格式模型。建议优先考虑 STL 格式。 |
| 修正法向 | 对连续表面的法向信息修正 | 如果不勾选此项，某些法向信息混乱的模型文件可能导致生长错误。 |
| 反向生长 | 生长方向与模型文件法向相反 | 用此参数调节曲面生长向外或向内。强烈建议根据情况勾选或不勾选此项，保证曲面向外部生长。一些模型的局部曲率比较大，且生长厚度较厚时，如果向内生长可能导致部分区域重叠。 |

| | | |
|------|------------|-----------------------------------------------------------|
| 超薄介质 | 使用等效超薄介质技术 | 开启此项后,若生长薄层厚度小于 1/40 特征波长(中心频率对应波长)时,采用等效介质网格技术,降低网格精度要求。 |
|------|------------|-----------------------------------------------------------|

5.1.11. 棱锥截头体

棱锥截头体元件可用于设计底面为圆形或多边形的椎体或台体结构。棱锥截头体元件参数设置对话框如下图 5-1-11-1 所示:



图 5-1-11-1 棱锥截头体参数设置

各参数含义见下表:

表 5-1-11 棱锥截头体参数说明

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 顶面中心 | 指定棱锥截头体顶面多边形外接圆的中心点坐标 (X,Y,Z) | 顶面中心 X、Y、Z 的值坐标必须大于底面中心对应 X、Y、Z 的值 |
| 底面中心 | 指定棱锥截头体底面多边形外接圆中心坐点标 (X,Y,Z) | |
| 顶部宽度 | 指定棱锥截头体顶面多边形外接圆两条轴线的长度 | A 指棱锥截头体轴向的下一个轴上的长度, B 指棱锥截头体轴向的下下一个轴上的长度 (按 X→Y→Z→X 顺序) |

| | | |
|------|------------------------|-------------------|
| 底部宽度 | 指定棱锥截头体底面多边形外接圆两条轴线的长度 | |
| 轴向 | 指定棱锥截头体轴线的方向 | |
| 边数 | 指定底面多边形的边数 | |
| 空心率 | 指定棱锥截头体空心的比例 | 空心率=截面内圆直径/截面外圆直径 |

棱锥截头体元件显示如下：

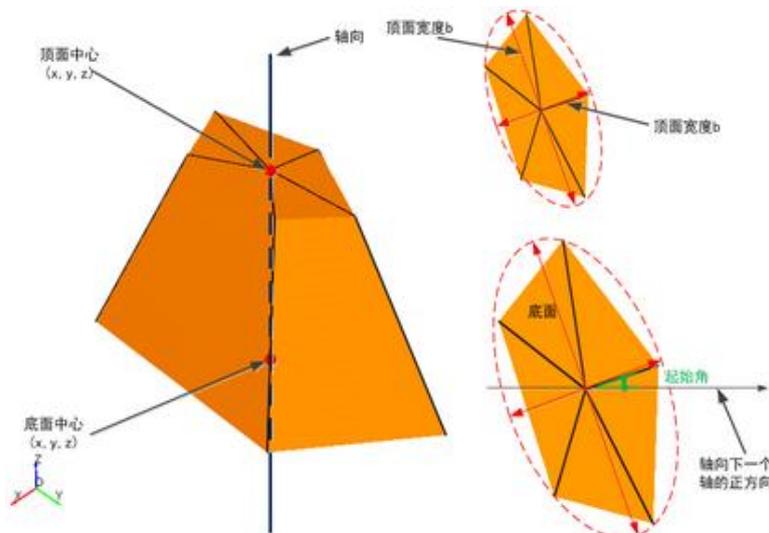


图 5-1-11-2 棱锥截头体示意图

5.1.12. 参数多边形曲线柱

参数多边形曲线柱体可用于设计各种不规则复杂结构，如螺旋线。参数曲线多边形柱体参数设置如下图 5-1-12-1 所示：

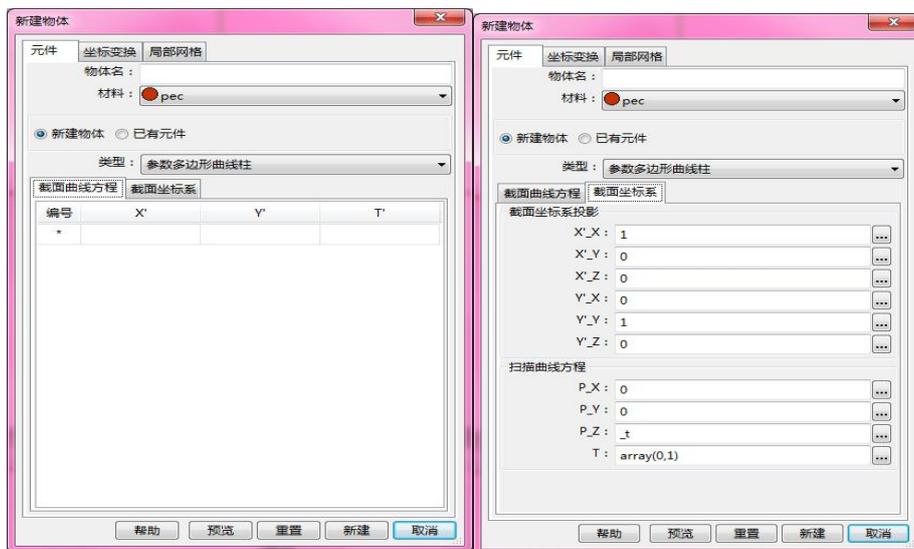


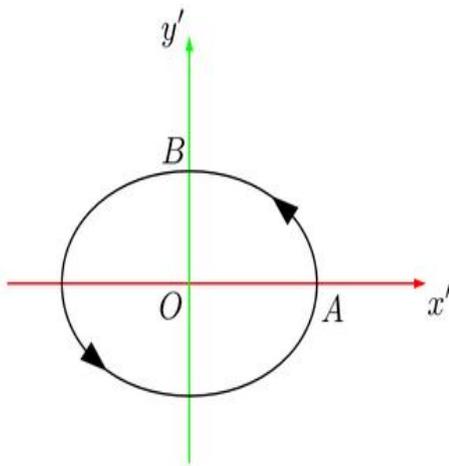
图 5-1-12-1 参数多边形曲线柱体参数设置

各参数含义见下表：

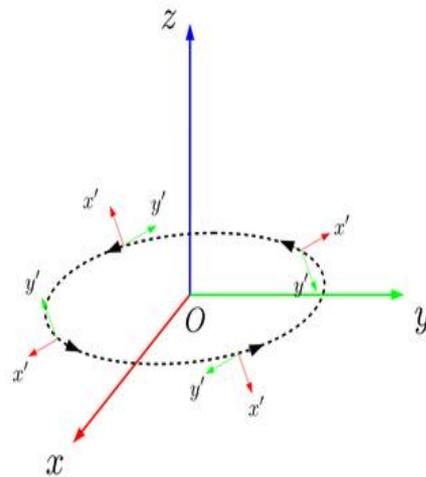
表 5-1-12 参数多边形曲线柱体参数说明表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 截面曲线方程 | 指定参数多边形曲线柱体剖面轮廓在局部坐标系下的曲线方程，其中 X' 、 Y' 可以是关于 $_t$ 的函数， T' 中指定 $_t$ 的取值范围。如曲线无法用一个方程来表示，则可以分段，用多个方程对其进行描述 | 带有单撇记号 (') 的参数表示局部坐标，不带单撇记号的表示全局坐标。因此 X'_Z 就表示局部坐标系中的 X 值在全局坐标系 Z 方向上的投影； T' 仅仅表示截面局部坐标系的扫描参数。 |
| 截面坐标系 | 指定截面曲线在全局坐标系下的映射关系，映射关系可以使关于 $_t$ 的函数， T 中指定 $_t$ 的取值范围。 | |
| 扫描曲线方程 | 指定参数曲线多边形柱体扫描曲线方程，其中 P_X 、 P_Y 、 P_Z 可以是关于 $_t$ 的函数， T 中指定 $_t$ 的取值范围 | |

如图所示：



5-1-12(a) 截面方程所在局部坐标系



5-1-12(b) 截面方程在全局坐标系沿扫描线方程转动

5.1.13. 多边形柱体

多边形柱体元件可用于设计底面为任意多边形的柱体结构。多边形柱体元件参数设置对话框如下图 5-1-13-1 所示：

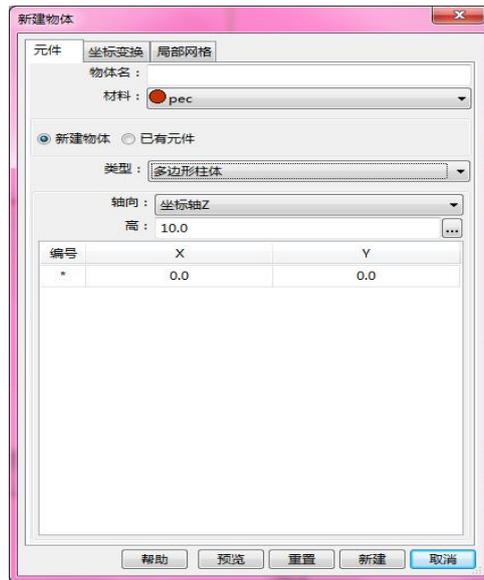


图 5-1-13-1 多边形柱体参数设置

各参数含义见下表：

表 5-1-13 多边形柱体参数说明表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|------------------|--------------------------------------|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 顶点列表 | 指定多边形柱体底面多边形顶点坐标 | 可以使用数组变量进行定义，要求对应的 X 和 Y 为元素个数相等的数组。 |
| 高 | 指定多边形柱体的高度 | |
| 轴向 | 指定多边形柱体中心轴的方向 | |

多边形柱体元件显示如下：

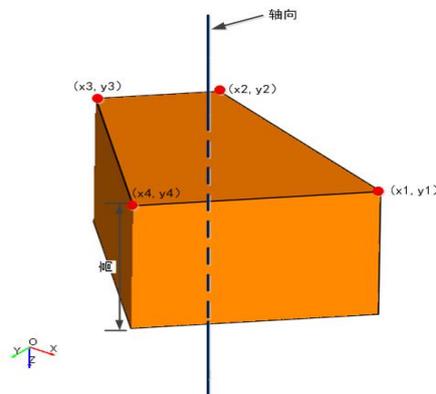


图 5-1-13-2 多边形柱体示意图

5.1.14. 梯形台体

梯形台体元件可用于设计底面为四边形的台体结构。梯形台体元件参数设置对话框如下图 5-1-14-1 所示：

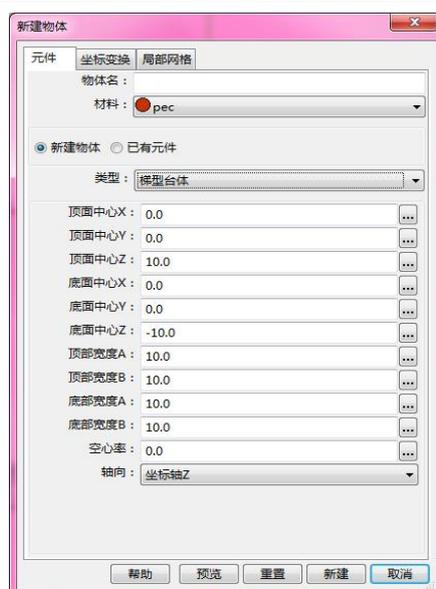


图 5-1-14-1 梯形台体

各参数含义见下表：

表 5-1-14 梯形台体参数说明

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 顶面中心 | 指定梯形台体顶面多边形中心点的坐标(X,Y,Z) | 顶面中心 X、Y、Z 个坐标必须大于底面中心相应坐标 |
| 底面中心 | 指定梯形台体底面多边形中心点的坐标(X,Y,Z) | |
| 顶部宽度 | 指定梯形台体顶面长方形两边的长度 | A 指轴向的下一个轴上的长度， B 指轴向的下一个轴上的长度 (按 X→Y→Z→X 顺序) |
| 底部宽度 | 指定梯形台体底面长方形两边的长度 | |
| 轴向 | 指定梯形台体轴线的方向 | |
| 空心率 | 指定梯形台体空心的比例 | 该比值等于内框四边形的顶点到中心的距离和外框四边形的对应顶点到中心的距离的比值。 |

梯形台体元件显示如下图 5-1-14-2：

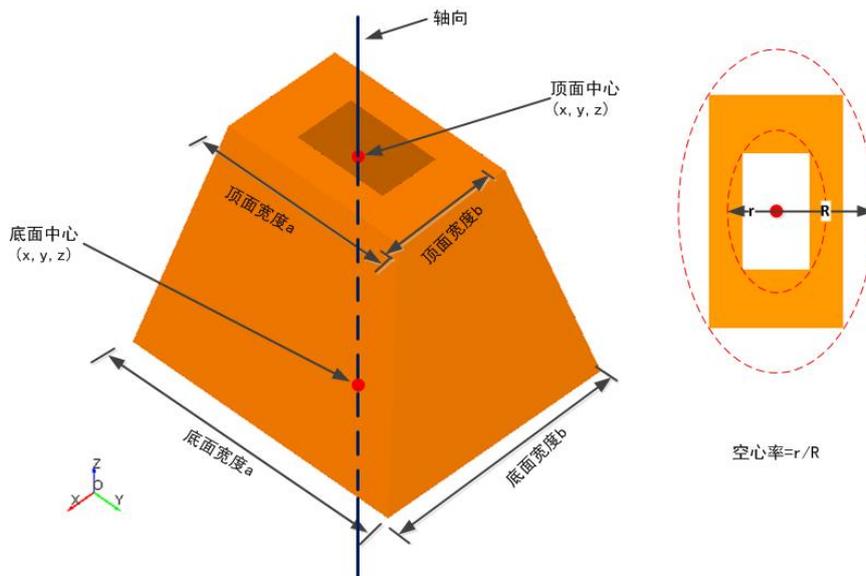


图 5-1-14-2 梯形台体示意图

5.1.15. 截面导入

截面导入可以将实验得到的扫描探针显微镜（SPM 含原子力显微镜 AFM 等）或设计草图的位图信息等导入到 EastWave 中，并通过图片的灰度信息生成物体。截面导入参数设置对话框如下图 5-1-15-1 和 5-1-15-2 所示：

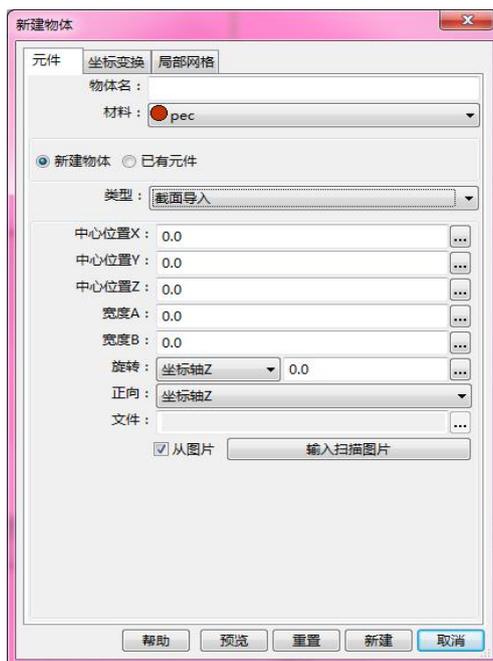


图 5-1-15-1 截面导入对话框

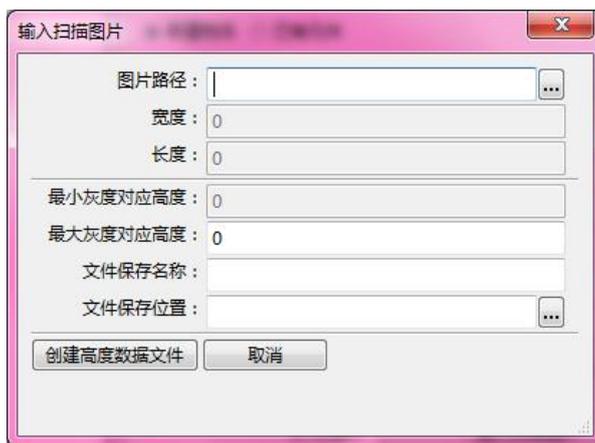


图 5-1-15-2 外部导入高度参数设置

各参数含义见下表：

表 5-1-15 外部导入高度参数说明表：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|----------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 中心位置 | 指定底面长方形中心点坐标 (X,Y,Z) | |
| 宽度 | 指定底边长方形两边的长度 | A 指正向下一个轴上的长度，B 指正向下一个轴上的长度（按 X→Y→Z→X 顺序） |
| 正向 | 指定结构拓展方向 | |
| 文件 | 指定外部需要导入的数据文件 | 未选择“从图片”下有效 |
| | 数据文件格式为文本格式的二维数组，每个值表示该位置的高度值 | |
| 输入扫描图片 | 进入图片导入参数设置窗口 | 选择“从图片”下有效 |
| 图片路径 | 指定需要导入的位图路径 | |
| 图片宽（像素） | 系统自动获取的图片一边宽度 | 单位为像素 |
| 图片高（像素） | 系统自动获取的图片另一边宽度 | 单位为像素 |
| 最小灰度对应高度 | 设置元件沿拓展方向的最小高度 | |
| 最大灰度对应高度 | 设置元件沿拓展方向的最大高度 | |

| | | |
|--------|--------------------|--------------------------------|
| 文件保存名称 | 指定对图片分析后输出的数据文件的名称 | EastWave 将会把位图数据转化为一个二维数组的文本文件 |
| 文件保存位置 | 指定图片分析数据文件输出保存的路径 | |

下图 5-1-15-3 显示从外部导入的带缺陷正方晶格的光子晶体的建模草图（位图）：

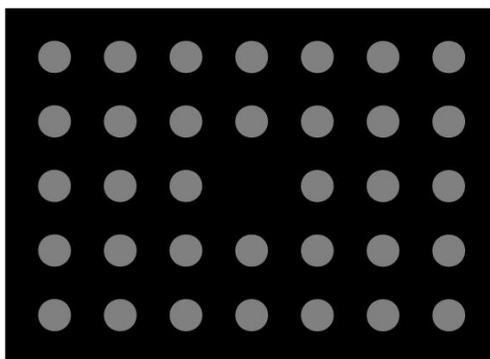


图 5-1-15-3 建模草图



注意事项

1. 用户在科研中通常可使用此类草图交由聚焦离子束（Focused Ion Beam）或电子束刻蚀制作光刻掩模版后制作批量样品，并将光电实测结果与 EastWave 仿真结果对照。
2. 建议使用扫描探针显微镜（含原子力显微镜）对表面光子晶体进行扫描成像的照片，而不要直接使用扫描电子显微镜（SEM）的照片，因为前者可以精确反应物体表面的高度信息（注意水平面修正）。

5.1.16. 旋转对称体

旋转对称体用于设计各种对称物体。旋转对称体参数设置对话框如下图 5-1-16-1 所示：



图 5-1-16-1 旋转对称体参数设置

各参数含义见下表：

表 5-1-16 旋转对称体参数说明表：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|----------------------|---------------------------|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 中心位置 | 指定旋转对称体中心点的坐标(X,Y,Z) | |
| 旋转 | 将生成的模型绕某个坐标轴旋转一定角度 | |
| 高 | 指定旋转对称体轴线方向和高度大小 | |
| 外型线 | 指定需导入的外轮廓的数据文件 | 数据文件是一列数据，每个值表示型线上点到轴线的距离 |
| 内型线 | 指定需导入的内轮廓的数据文件 | |

一种旋转对称体元件显示如下图 5-1-16-2 所示。

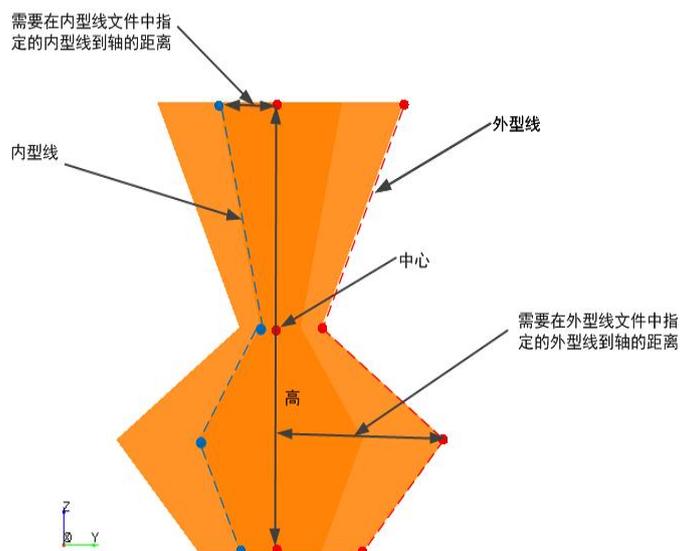


图 5-1-16-2 旋转对称体示意图

5.1.17. 自定义阵列

自定义阵列元件用于设计基于某种元件，空间位置（和强度、相位信息）由用户自己定义的阵列结构或阵列激励源。自定义阵列元件参数设置如下图 5-1-17-1 所示：

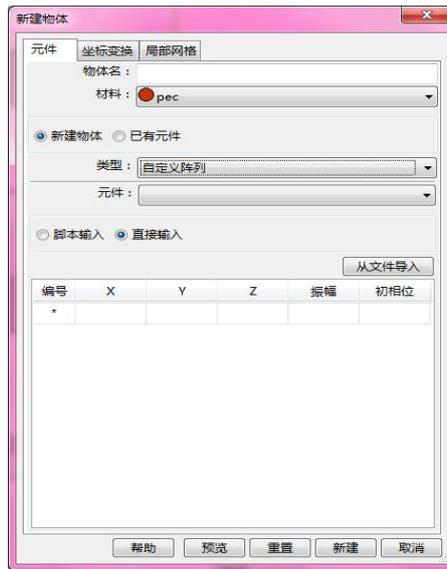


图 5-1-17-1 自定义阵列元件参数设置

各参数意义见表下表：

表 5-1-17 自定义阵列元件参数说明表：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 元件 | 指定阵列中单元的元件信息 | |
| 从文件导入 | 从外部文本文件中导入阵列的空间位置信息、相应位置激励源的振幅信息和初相位信息。导入的文本文件数据格式为 5 列，第一列为空间位置的 X 坐标信息，第二列为空间位置的 Y 坐标信息，第三列为空间位置的 Z 坐标信息，第四列为激励源调制振幅，第五列为调制相位。 | 第四列、第五列数据在天线阵计算模式下有效，其他情况下将这两列数据设为 1 |
| 自定义列表 | 同上 | |



用户提示

EastWave 提供的建模模板中有两个使用了自定义阵列功能，使用从模板新建时可以打开，他们放在“电磁波工程”目录下，分别是：

- (1) 简单微波暗室
- (2) 平面阵列方向图

5.1.18. 参数扫描体

EastWave 6.0 新增高级物体。支持对参数扫描面、体进行建模。

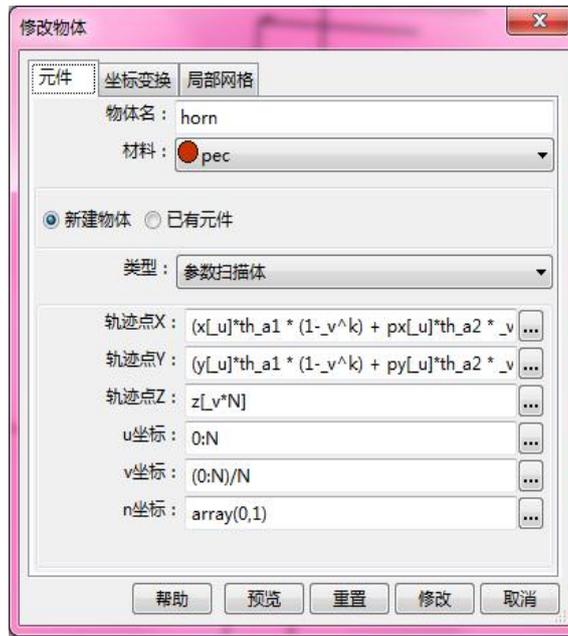


图 5-1-18 参数扫描体设置

各参数意义见表下表：

表 5-1-18 参数扫描体参数说明：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 轨迹点 (X/Y/Z) | 设置扫描轨迹点的表达式。一般是参数坐标系(u, v, n)的函数。 | |
| $u/v/n$ 坐标 | 参数坐标的数据，要求输入数组。 | 如果(u, v, n)三个坐标中恰好有一个坐标只定义了一个数值，则产生一个曲面；如果该曲面封闭则可能形成实体 (Solid)。 |

5.1.19. FSS 天线罩

FSS (频率选择表面) 天线罩功能是针对天线罩设计用户开发的专用功能，用于在给定的天线罩表面铺设 FSS 单元。FSS 天线罩建模对话框如图 5-1-19-1。

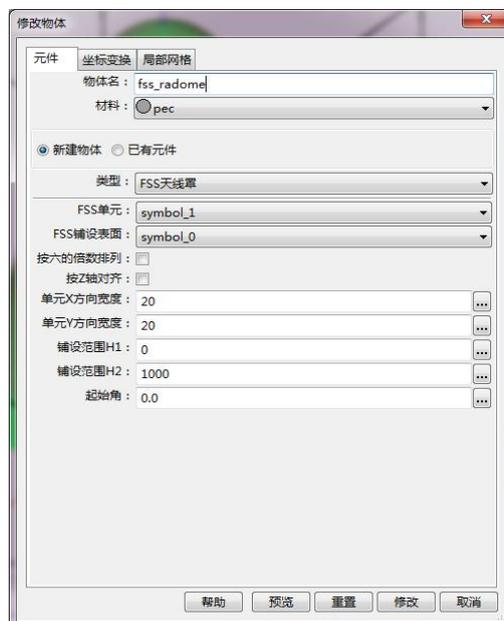


图 5-1-19-1

建立的 FSS 天线罩模型如图 5-1-19-2。

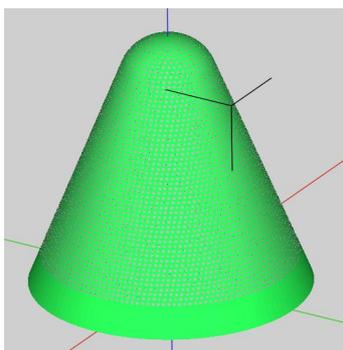


图 5-1-19-2 FSS 天线罩参数设置

表 5-1-19 FSS 天线罩参数说明：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|-----------|------------------------------------------------------------|-------------|
| FSS 单元 | FSS 单元元件 | |
| FSS 铺设表面 | FSS 铺设表面，通常是天线罩、机体等。 从外部导入 STL 文件时，先用导入 CAD 功能，然后再指定元件。 | |
| 按六的倍数排列 | 每一层铺设的元件数量是 6 的倍数。 | |
| 按 Z 轴对齐 | 按 Z 轴对齐。即每一层的 Z 方向位置都是相同的（以 Z 为高度方向，每一层 FSS 单元位于等高线上）。 | |
| 单元 X 方向宽度 | 单元 X 方向宽度 | |
| 单元 Y 方向宽度 | 单元 Y 方向宽度 | |
| 铺设范围 H1 | FSS 单元铺设时在高度方向的起始位置。 | |
| 铺设范围 H2 | FSS 单元铺设时在高度方向的终止位置。 | |
| 起始角 | FSS 单元在每一层铺设时，开始铺设的起始旋转角度。 | 对非旋转对称体不精确。 |



注意事项

1. 对于旋转对称天线罩，铺设的情况一般较好。

2. 天线罩顶部的单元建议用户自行控制。
3. 对于非旋转对称体铺设效果不如旋转对称体，用户可以考虑分段铺设。

5.1.20. 物体操作

EastWave 支持对创建的物体进行进一步的操作，包括：坐标变换、组合和构建阵列三类。

(1) 坐标变换

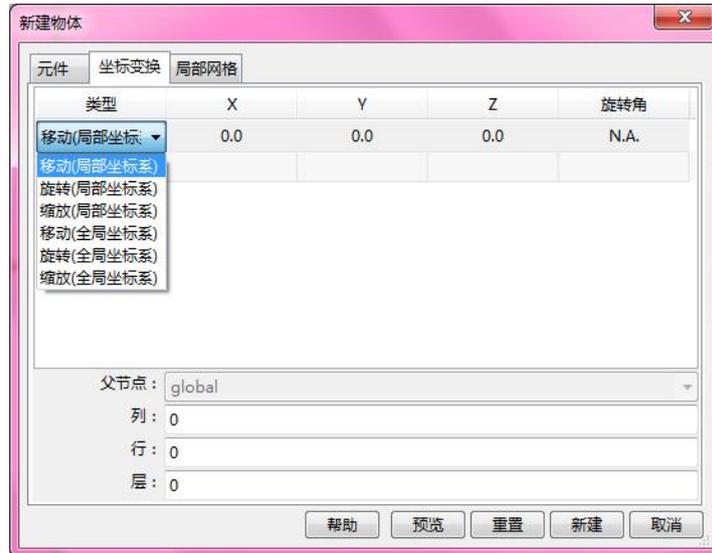


图 5-1-20-1 操作物体的坐标变换

- 坐标变换按坐标系类型分为全局坐标变换和局部坐标变换，详细内容参考 附录 IV 坐标变换。
- 坐标变换按操作方式分为移动、旋转、缩放。

EastWave 支持对物体的移动、旋转的快捷操作，使用方法是右键单击物体，弹出的右键菜单中选择“移动”或“旋转”。EastWave 支持操作附带的复制动作。在 5.1 版本中一级菜单中的操作不带复制（不包含“独特”），而二级菜单“复制”下的操作均带有复制（非独特）。

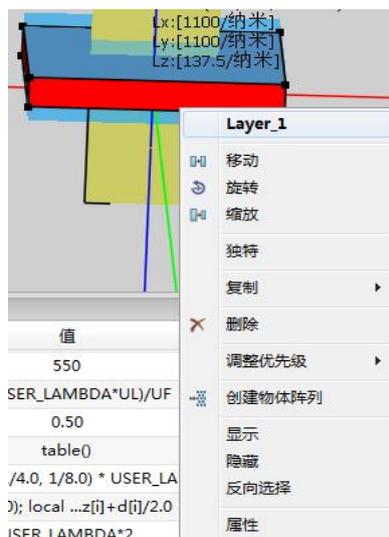


图 5-1-20-2 操作物体的快捷右键菜单

在旋转的快捷操作中支持直接定义旋转轴不过原点的操作。



注意事项与操作技巧

- 对于需要装进组（见下）的元件应尽可能用局部坐标系进行处理；
- “镜像”操作可以使用“缩放”实现：三个分量中有 2 个为 1，1 个为-1；
- “中心对称”操作可以用“缩放”实现：二维中心对称时三个分量中有两个为-1，三维中心对称三个分量均为-1；
- 共轭操作：当需要绕不是原点的轴进行缩放、旋转时，可以先将物体移动到原点进行相应操作然后再反向移回原位。

(2) 元件、物体重用和独特功能

EastWave 支持物体模型的重用。EastWave 是通过内置元件实现模型重用功能。用户可以点击菜单“布局” -> “选项” -> “基本” -> “观察器”窗口，并且将“隐藏元件”钩选框前的钩去掉，然后关闭当前工程并重新打开后即可看到工程管理窗口下出现了“元件”节点。高级用户建议开启该功能。用户若需要构建具有高可复用性的工程文件可联系东峻的工程师。



物体和元件的概念

- 元件只有几何尺寸、位置信息
- 物体 = 元件 + { 坐标变换 + 材料信息 }
- 一个元件可以被多个物体引用
- 多个物体共用一个元件时可以拥有各自不同的坐标变换、材料信息
- 高级用户可以在物体属性对话框中选择“已有元件”重新关联物体所引用的元件

用户在右键快捷菜单中选择“移动”、“旋转”时选中复制钩选框时会创建一个引用的副本。用户此时如果修改一个物体的基本参数（如立方体的中心位置、宽度）会使得两个副本都同时改变。如果用户希望单独修改一个副本的参数就应该右键点击该物体，并选中“独特”，然后用户就可以编辑这个物体的参数了。

通常情况下，在构建组合、阵列时应当维持副本的重用状态。

(3) 组

组是一种复合物体，是通过组元件实现的。在工程管理窗口中按住 Ctrl 键选中多个物体后再右键点击，在弹出的右键菜单中选择“组”即可将两个物体组合为一个物体。用户也可以使用工具栏上的  实现同样的功能。

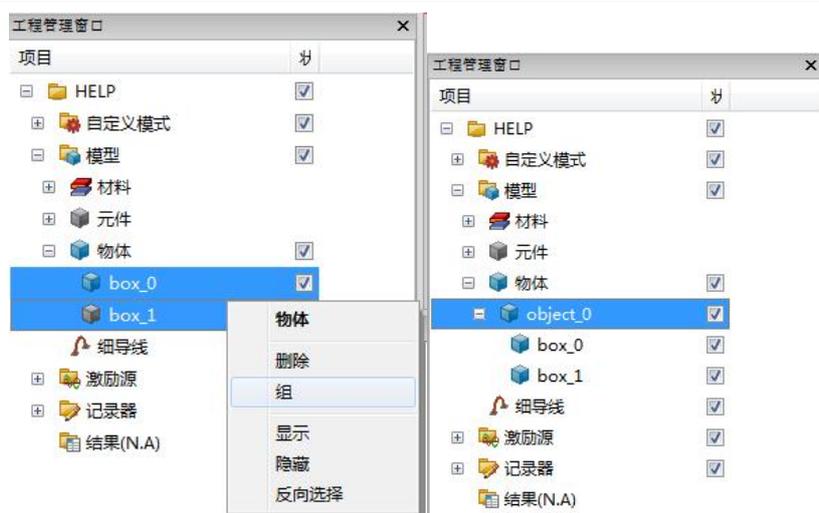


图 5-1-20-3 组合物体

左键单击已经构成组的物体，该物体会作为一个树节点展开，下面的子节点就是它的成员物体。

用户如果需要取消组，只要右键点击组，在弹出菜单中选择“取消组”即可。

(4) 构建阵列

阵列是一种附带有阵列操作功能的特殊的组。用户可以右键单击需要创建阵列的物体，在弹出的右键菜单中选择“创建物体阵列”，在弹出窗口中设置列、行、层的参数即可创建该物体的阵列。用户也可以使用工具栏上的  按钮实现阵列功能。

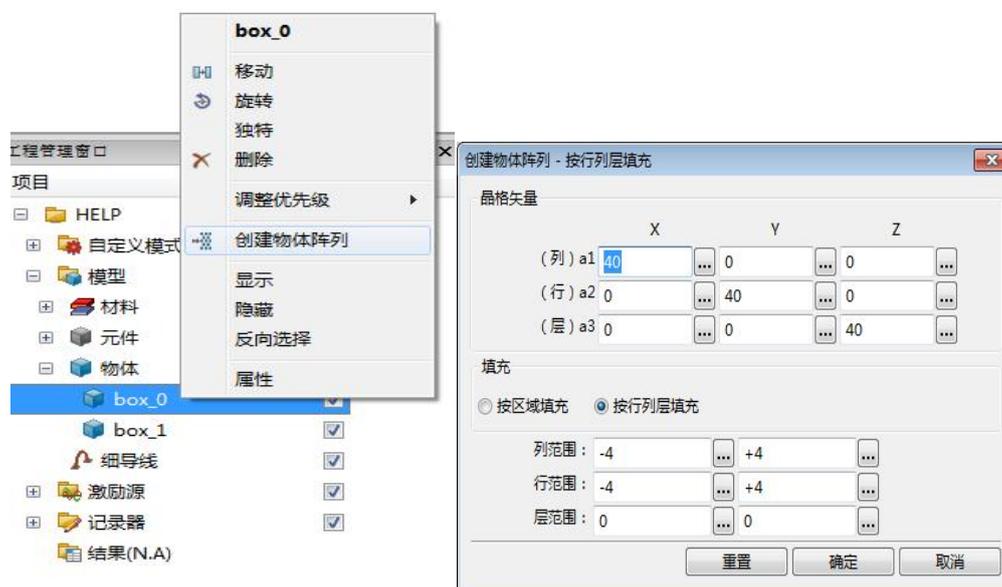


图 5-1-20-4 创建物体阵列

创建了一个阵列以后，用户还可以在阵列中添加、删除、独特具体的元胞。用户还可以对行、列、层中的区域进行元胞填充。

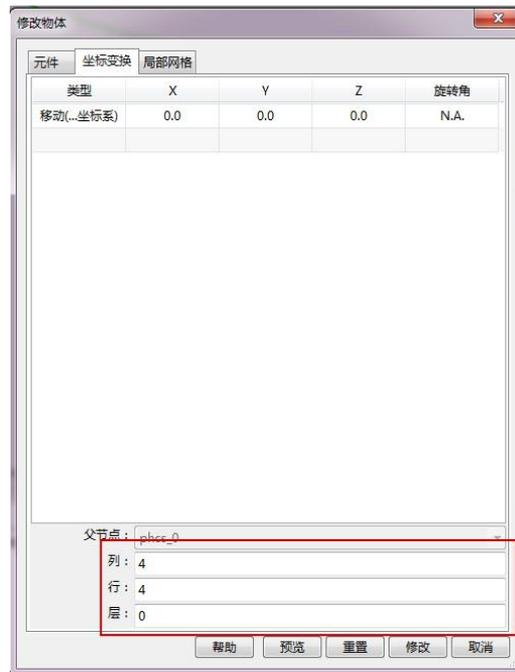


图 5-1-20-5 阵列元胞的坐标属性（列、行、层）



注意事项

- 建立阵列时如果元胞过多会导致界面性能降低，因此 EastWave 会不再显示更多的元胞，但不影响计算。
- 如果只需要部分元胞可以在界面上通过填充和删除功能来实现。

5.2. 材料模块

EastWave 的材料模型采用具有严格意义的物理模型，可支持几乎所有的电磁/光电材料，包括电介质材料、金属材料、各向异性材料、激光材料、磁性材料等。如果面对的是一种全新的材料，只要有实测的宽频色散曲线，EastWave 就可利用内部引擎进行色散自动拟合，进行稳定的 FDTD 求解。EastWave 6.0 版本新增条件选择材料，可通过隐式解析形式赋予单一物体模型多种材料，大大降低了特殊物体的建模难度。

5.2.1. 公共属性

光电材料的频域电磁性质由复介电系数 $\epsilon(\omega)$ 和复磁导率 $\mu(\omega)$ 决定的。介质的损耗、色散、吸收、增益、非线性等特性均可以通过 $\epsilon(\omega)$ 和 $\mu(\omega)$ 来描述，EastWave 根据严格的物理模型，内建了描述各种不同材料不同特性的介电系数和磁导率模型，并提供了灵活直观的设置方式，完美支持模拟计算各种材料的电磁学特性。材料公共参数设置对话框如下图所示：

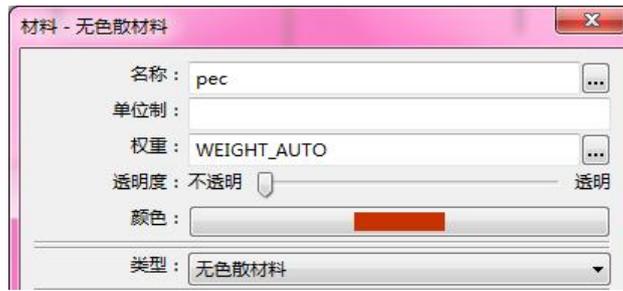


图 5-2-1 材料公共属性

材料参数的含义见下表：

表 5-2-1 材料公共属性参数说明表：

| 参数 | 说明 | 备注 |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 名称 | 为材料指定一个名称。 | |
| 单位制 | 设置单位制，使用空字符串可设置为与文档保持一致；设置 SI 表示使用国际单位制；使用 GHz,mm,ns 表示使用 GHz 作为频率单位，mm 作为长度单位，ns 作为时间单位。可以使用常见的诸如 MHz、m、ms 等单位，或者直接使用数值形式，此形式下要求用逗号分隔。 | |
| 权重 | 离散化权重，用于划分非均匀网格时材料部分的权重，一般采用默认值即可。 | 参见 6.3.3 非均匀网格（策略一） |
| 透明度 | 调整材料显示的透明度。 | |
| 颜色 | 为材料指定一种颜色。 | |
| 类型 | 指定材料的基础材料模型。 | |

本章文档中的物理公式使用了一些符号，其中常用的符号见下表：

表 5-2-2 材料属性物理符号

| 参数 | 说明 | 备注 |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------|
| ϵ_0 | 真空介电常数 | Vacuum Permittivity, 真空电容率 |
| μ_0 | 真空磁导率（或磁诱导率） | Vacuum Permeability, |
| ϵ_r | 相对介电系数： $D=\epsilon_0\epsilon_rE$ | 软件界面和帮助文档中若无特殊说明均使用相对系数概念。 |
| μ_r | 相对磁导率： $B=\mu_0\mu_rH$ | |

| | | |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| σ_e | 电导率 | Electric Conductivity σ_e 输入以(S/m)为单位的数值 σ_e 与电损耗角正切 $\tan \delta_e$ 的转换关系为: $\sigma_e = \omega \epsilon' \tan \delta_e = 2\pi f \epsilon' \tan \delta_e$ 。 开启“ σ_e/σ_m 使用相对单位制”后这里的电导率设定为相对电导率, 数值为 σ_e/ϵ_0 |
| σ_m | 该物理量反映材料对磁流的导通作用。 | Magnetic Conductivity σ_m 输入以 $1/(S \cdot m)$ 为单位的数值 σ_m 与磁损耗角正切 $\tan \delta_m$ 的转换关系为: $\sigma_m = \omega \epsilon' \tan \delta_m = 2\pi f \epsilon' \tan \delta_m$ 。 开启“ σ_e/σ_m 使用相对单位制”后这里的“设定为相对值, 数值为 σ_m/ϵ_0 |
| ϵ' | 绝对电容率的实部 | |
| ϵ'' | 绝对电容率的虚部 | |
| ϵ_∞ | 材料模型中相对介电系数的高频极限 | 通常为 1 |
| μ_∞ | 材料模型中相对磁导率的高频极限 | 通常为 1 |
| ω | 角频率: $\omega = 2\pi f$, f 为用户频率 | 一般出现在公式中 |
| f | 频率: $f = \omega/2\pi$ | 一般出现在用户设置窗口中 |



特别说明

为恰当和简洁地描述材料色散模型, 如无特殊说明, 帮助文档的公式书写采用如下约定:

1. 文字下标: 含有正体下标 e 的表示为电性质或电荷概念, 含有正体下标 m 的表示为磁性质;
2. 求和: 电场和磁场的洛仑兹振子求和公式参数中的同名符号互相独立 (包括振子数量、下标)。
3. 复数表示规则: 单位纯虚数采用 $i = \sqrt{-1}$ 的约定, 并用正体书写; 求和项中的 i 仅出现在下标中, 且用斜体书写。

4. 频率与角频率：为了表述方便在叙述公式时采用角频率 ω ，而在软件窗口中为了用户输入简单显示和填写的是频率参数 f ，两者满足 $\omega = 2\pi f$ 。

5. 电导率推算公式：出现 σ_{ε} 和 σ_{μ} 的地方采用频率进行表达式推算时采用 $\sigma_{\varepsilon} = \varepsilon'' \cdot 2\pi f$, $\sigma_{\mu} = \mu'' \cdot 2\pi f$ 的输入方式，其中 ε'' , μ'' 分别表示相对介电常数和相对磁导率的虚部。较老版本中采用的约定为 $\sigma_{\varepsilon} = \varepsilon'' \cdot f$ 和 $\sigma_{\mu} = \mu'' \cdot f$ ，用新版软件打开旧版软件所建立的工程文档时需要注意乘以一个 2π 因子。

6. 损耗角正切：电磁波工程用户习惯使用损耗角正切的概念（高频下 $\tan \delta = \varepsilon'' / \varepsilon'$ ），选用普通有耗材料时需要手工推算出 ε'' 。如果材料电导率较高，且频率较低，采用严格的表达式 $\tan \delta = (\omega \varepsilon'' + \sigma_{\varepsilon}) / \omega \varepsilon'$ 。对于介磁系数的虚部，具有类似的表达式。

7. 由于历史原因，磁导率是磁诱导率的简称，这与 Magnetic Conductivity 的译名冲突，这里暂时用带引号的“磁导率”来表示 Magnetic Conductivity。

5.2.2. 无色散材料

无色散材料包括三类材料模型：电介质材料模型、导体材料模型、普通材料模型。EastWave 支持在工程中使用这三种模型。

- 电介质材料模型

$$\varepsilon_{\text{total}} = \varepsilon' \quad \text{公式 5-2-1}$$

电介质材料模型：用于模拟几乎无色散和无损耗的电介质材料的光学特性，例如空气、石英等等。

公式说明：无色散电介质材料的介电系数只含实部项 ε' ，且实部项为常数，与频率无关。

- 导体材料模型

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon' + i \frac{\sigma_{\varepsilon}}{\omega} \quad \text{公式 5-2-2}$$

导体材料模型：用于模拟当导电率近似为常数时，金属材料的电磁学特性。

公式说明：导体材料的介电系数由实部和虚部两部分构成，实部 ε' 为常数，与频率无关，虚部大小为 $\sigma_{\varepsilon} / \omega$ ，其中 ω 为入射电磁波的频率。 σ_{ε} 与损耗角正切 $\tan \delta_{\varepsilon}$ 的转换关系为： $\sigma_{\varepsilon} = \omega \varepsilon' \tan \delta_{\varepsilon} = 2\pi f \varepsilon' \tan \delta_{\varepsilon}$ 。

输入电导率时，参阅 5.2.1 公共属性 输入电导率表达式的说明。



注意事项

(1) 电导率 σ_e 默认输入以(S/m)为单位的数值，如果勾选“ σ_e / σ_m 采用相对单位值”，则输入的数值为 σ_e / ϵ_0 。

(2) 注意材料的单位制。

• 有耗材料模型

$$\epsilon(\omega) = \epsilon' + i \frac{\sigma_e}{\omega} \tag{公式 5-2-3a}$$

$$\mu(\omega) = \mu' + i \frac{\sigma_m}{\omega} \tag{公式 5-2-3b}$$

有耗材料模型：用于模拟计算损耗和磁导率对材料电磁学特性的影响。 σ_m 与磁损耗角正切 $\tan \delta_m$ 的转换关系为： $\sigma_m = \omega \mu' \tan \delta_m = 2\pi f \mu' \tan \delta_m$ 。

公式说明：普通材料不仅存在损耗，而且相对磁导率 μ 不等于 1， ϵ 为介电系数中的常数部分， σ_e 和 σ_m 均为与频率无关的常数。

无色散模型参数设置如下图所示：



图 5-2-2 有耗材料参数设置

各参数含义见公共属性。

输入电导率 σ_e 和“磁导率 σ_m ”时，参阅 5.3.1 公共属性 输入电导率表达式的说明。

• 有耗材料 ($\tan \delta$)

与有耗材料类似，但输入的参数为损耗角正切值 ($\tan \delta$)，通常为电磁波工程用户所熟悉。对于电导率较小的材料，高频近似满足：

$$\tan \delta_e = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \tag{公式 5-2-4a}$$

$$\tan \delta_m = \frac{\mu''}{\mu'} \tag{公式 5-2-4b}$$

对于具有一定电导率（例如自由电荷较多）的材料，需要计入电导率的影响，对于电损耗材料，有：

$$\tan \delta_e = \frac{\omega \varepsilon'' + \sigma_e}{\omega \varepsilon'} \quad \text{公式 5-2-5a}$$

磁损耗材料类似：

$$\tan \delta_m = \frac{\omega \mu'' + \sigma_m}{\omega \mu'} \quad \text{公式 5-2-5b}$$

各参数含义见公共属性。



注意事项

1. 根据时域 Maxwell 方程组，在电导率固定的情况下，不同频率的电磁场的介质响应会发生变化，因此设定为有耗材料时的复介电常数的色散性质不一定符合用户的需要。如果用户需要一次性计算宽带的特性，最好先确定时域材料模型，对于无法明确的较为复杂的宽带响应材料可以考虑使用材料拟合的方式来获得时域材料参数。
2. 当物体的材料的磁色散显著强于电色散时，建议使用磁网格控制面来控制物体的表面。
3. 电损耗极大的材料，建议使用 PEC 替代；同理，磁损耗极大的材料建议使用 PMC 替代。
4. 电损耗、磁损耗较大的时候，建议适当增加网格质量并且减少迭代时间间隔。

5.2.3. 洛伦兹色散材料

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty + i \frac{\sigma_e}{\omega} + \sum_{i=1}^n \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i \omega_{c,i} \omega} \quad \text{公式 5-2-4a}$$

$$\mu(\omega) = \mu_\infty + i \frac{\sigma_m}{\omega} + \sum_{i=1}^m \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i \omega_{c,i} \omega} \quad \text{公式 5-2-4b}$$

洛伦兹(Lorentz)色散模型涵盖了所有电磁色散模型，其中 ω 表示第*i*个谐振子的等离子体角频率， $\omega_{a,i}$ 表示第*i*个谐振子的谐振角频率， $\omega_{c,i}$ 表示第*i*个谐振子的阻尼角频率。

从该模型中可以衍生出各种色散模型：

- Drude 色散模型

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\omega_c\omega} \tag{公式 5-2-5}$$

Drude 色散材料模型：用于模拟金属类材料在虑及色散时的光学特性。

模型说明：Drude 色散材料的介电系数表达式如上式所示， ω_c 为金属内部自由电子的碰撞角频率， ε_∞ 为当 $\omega_p \ll \omega$ 时金属的介电系数（高频极限）。

推导过程参见附录“Lorentz 材料相关公式推导”一节内容。

• Lorentz 色散模型

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\omega_p^2}{\omega_a^2 - \omega^2 - i\omega_c\omega} \tag{公式 5-2-6}$$

Lorentz 色散模型：主要用于模拟当色散效应非常显著时，各种电介质材料的电磁学特性。

注：Drude 模型相当于 $\omega_a \ll \omega$ 时 Lorentz 模型的进一步近似。

模型说明：Lorentz 色散材料的介电系数表达式如上式所示，其中 ω_p 表示谐振子等离子角频率， ω_a 表示谐振子的谐振角频率， ω_c 表示谐振子的阻尼角频率。

将复介电系数 $\varepsilon(\omega)$ 展开可以分别得到实部 $\varepsilon'(\omega)$ 和虚部 $\varepsilon''(\omega)$ ：

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\omega_p^2(\omega_a^2 - \omega^2)}{(\omega_a^2 - \omega^2)^2 + \omega_c^2\omega^2} \tag{公式 5-2-7}$$

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{\omega_p^2\omega_c\omega}{(\omega_a^2 - \omega^2)^2 + \omega_c^2\omega^2} \tag{公式 5-2-8}$$

相应的实部和虚部的色散曲线如下图：

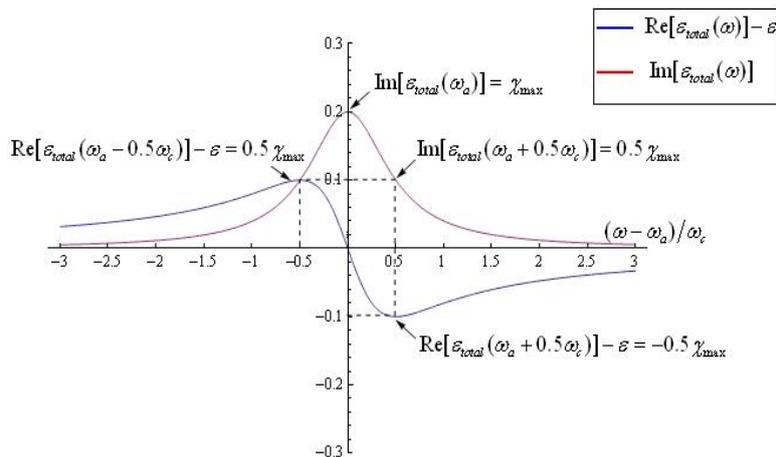


图 5-2-3-1 典型洛伦兹色散曲线

推导过程参见附录“Lorentz 材料相关公式推导”一节内容。

洛伦兹色散模型参数设置如下图：

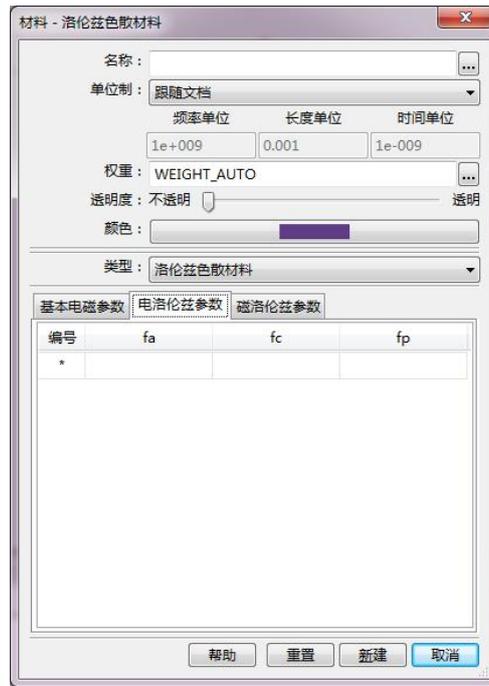


图 5-2-3-2 洛伦兹色散模型参数设置

各参数含义见下表：

表 5-2-3-1 洛伦兹色散模型参数说明表：

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| fa | 谐振频率 $fa = \omega a / 2\pi$ | 新版可以指定频率参数的单位的单位制，可选择按照文档单位或者按照国际单位制进行设定。（注意，旧版本默认按照文档频率单位设定） |
| fc | 阻尼频率 $fc = \omega c / 2\pi$ | |
| fp | 等离子体频率 $fp = \omega p / 2\pi$ | |

5.2.4. 德拜色散材料

德拜色散模型常用于模拟各种金属的色散特性，其表达式如下：

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_{\infty} + \sum \frac{\Delta\epsilon}{1 - i\omega\tau_p} + i \frac{\sigma_e}{\omega} \tag{公式 5-2-9a}$$

$$\mu(\omega) = \mu_{\infty} + \sum \frac{\Delta\mu}{1 - i\omega\tau_p} + i \frac{\sigma_m}{\omega} \tag{公式 5-2-9b}$$

德拜色散模型材料参数设置如下：

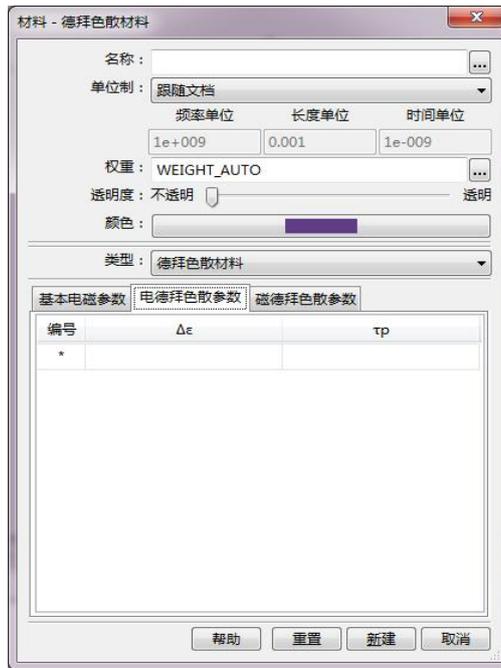


图 5-2-4-1 德拜模型参数设置

各参数含义如下：

表 5-2-4-1 德拜模型参数说明

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| $\Delta \epsilon$ | $\Delta\epsilon = \epsilon_s - \epsilon_\infty$ ，其中 ϵ_s 相对介电常数的零频极限； ϵ_∞ 表示相对介电常数的高频极限。 | 金属一般为负数 |
| $\Delta \mu$ | $\Delta\mu = \mu_s - \mu_\infty$ ，其中 μ_s 表示相对磁导率的零频极限； μ_∞ 表示相对磁导率的高频极限。 | |
| τp | 弛豫时间 | 单位为文档时间单位 |



关于 Debye 色散

关于 Debye 色散请查阅《固体物理》高等教育出版社 1990 第三章 电极化相关内容。

5.2.5. 洛伦兹非线性材料

洛伦兹非线性模型用于模拟可同时包含色散和吸收的非线性特性，该材料模型的表达式如下：

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + i \frac{\sigma_e}{\omega} + \sum_{i=1}^M \left(\frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i\omega_{c,i}\omega} \right) \left(\frac{1}{1 + C_{e,i} |E|^2} \right) \quad \text{公式 5-2-10a}$$

$$\mu(\omega) = \mu_{\infty} + i \frac{\sigma_m}{\omega} + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i \omega_{c,i} \omega} \right) \left(\frac{1}{1 + C_{m,i} |H|^2} \right) \quad \text{公式 5-2-10b}$$

从公式可以看到介电系数的大小和光场强度有关，同时该模型还考虑到了材料色散对非线性的影响， ω_p 是材料的等离子体角频率， ω_a 为材料的谐振角频率， ω_c 为材料内部谐振子的阻尼角频率，等于材料的吸收谱宽。而且我们在非线性中引入了饱和因子 C_e （电洛仑兹参数），当场大于一定值时，非线性效应开始饱和。考虑到磁非线性模型极其罕见，因此我们在窗口设置中省略了 C_m 因子（认为 $C_m=0$ ）。

该材料模型可用于模拟双稳态、自聚焦、倍频等非线性效应。色散非线性模型材料参数设置如下：

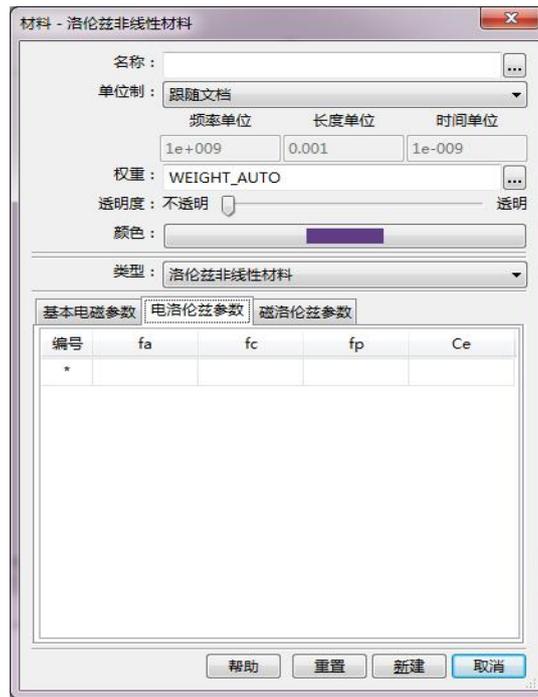


图 5-2-5-1 洛伦兹色散非线性模型参数设置

各参数含义见：

表 5-2-4-1 洛伦兹色散非线性模型参数说明

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|------|-------------------------------|------------------|
| Cm | 电非线性参数 | 一般大于零，小于零可能导致发散。 |
| fa | 谐振频率 $fa = \omega_a / 2\pi$ | 使用文档指定频率单位 |
| fc | 阻尼频率 $fc = \omega_c / 2\pi$ | |
| fp | 等离子体频率 $fp = \omega_p / 2\pi$ | |

5.2.6. 克尔非线性材料

克尔非线性模型用于模拟非线性参数不随频率变化的三阶非线性材料，其表达式如下：

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty + \chi_e^{(3)} |E|^2 + \sum_{i=1}^N \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i\omega_{c,i}\omega} \quad \text{公式 5-2-11a}$$

$$\mu(\omega) = \mu_\infty + \chi_m^{(3)} |H|^2 + \sum_{i=1}^N \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i\omega_{c,i}\omega} \quad \text{公式 5-2-11b}$$

其中 ε_∞ 和 μ_∞ 分别为相对介电系数和相对磁导率中的非色散部分（相当于高频极限）， $\chi_e^{(3)}$ 和 $\chi_m^{(3)}$ 为材料的非线性系数，单位分别为 m^2/V^2 和 m^2/A^2 。考虑到绝大多数应用场景，目前 EastWave 只提供电场非线性系数 $\chi_e^{(3)}$ 。 $|E|^2$ 为入射光电场强度的平方。

克尔非线性模型材料参数设置如下图所示：

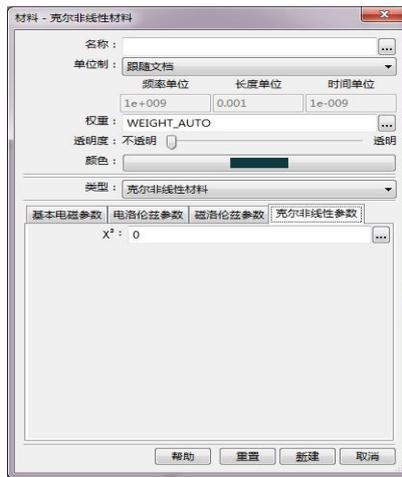


图 5-2-6-1 克尔非线性模型参数设置

各参数见下表：

表 5-2-6-1 克尔非线性模型参数说明：

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|----------------|------------------------|---------------|
| $\chi_e^{(3)}$ | 电场非线性参数 $\chi_e^{(3)}$ | 单位为 m^2/V^2 |

5.2.7. 克尔拉曼非线性材料

克尔非线性模型用于模拟非线性参数不随频率变化的三阶非线性材料，其表达式如下：

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty + \alpha \chi_e^{(3)} |E|^2 + (1 - \alpha) \frac{\chi_e^{(3)} \omega_R^2}{\omega_R^2 - \omega^2 - i\omega \Delta \omega_R} + \sum_{i=1}^N \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i\omega_{c,i}\omega} \quad \text{公式 5-2-11}$$

其中 ε_∞ 和 μ_∞ 分别为相对介电系数和相对磁导率中的非色散部分（相当于高频极限）， $\chi_e^{(3)}$ 和 $\chi_m^{(3)}$ 为材料的非线性系数，单位分别为 m^2/V^2 和 m^2/A^2 。考虑到绝大多数应用场景，目前 EastWave 只提供电场非线性系数 $\chi_e^{(3)}$ 。 $|E|^2$ 为入射光电场强度的平方。 ω_R 为拉曼非线性共振角频率， $\Delta \omega_R$ 为拉曼非线性阻尼角频率。

克尔非线性模型材料参数设置如下图所示：

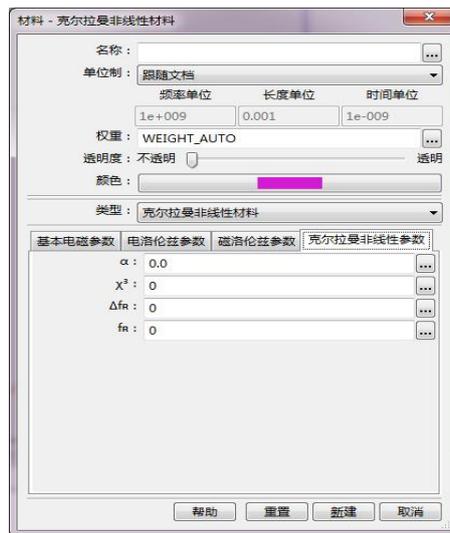


图 5-2-7-1 克尔拉曼非线性模型参数设置

各参数见下表：

表 5-2-7-1 克尔拉曼非线性模型参数说明：

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|-------------|-----------------------------------------------|---------------|
| α | 克尔非线性比例 | |
| χ^3 | 电场非线性参数 $\times \epsilon(3)$ | 单位为 m^2/V^2 |
| ΔfR | 拉曼非线性阻尼频率 $\Delta fR = \Delta \omega R/2 \pi$ | |
| fR | 拉曼非线性共振频率 $fR = \omega R/2 \pi$ | |

5.2.8. 二能级增益材料

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + i \frac{\sigma_e}{\omega} + \sum_{i=1}^N \frac{\omega_p^2}{\omega_a^2 - \omega^2 - i\omega_c \omega} + \epsilon_{g2} \tag{公式 5-2-13}$$

磁导率的形式和洛仑兹型相同，不含增益项。



特别说明

上述公式中 ϵ_{g2} 是增益项，增益是时域的非线性行为，在频域无固定表达式。

二能级增益材料主要工作过程如下：

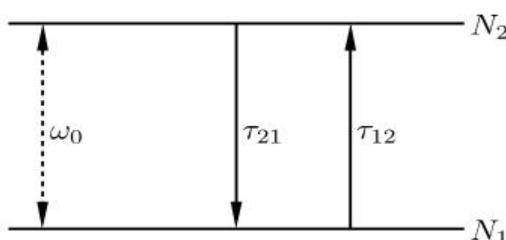


图 5-2-8-1 二能级增益材料工作过程示意图



图 5-2-8-2 二能级增益模型材料参数设置

各参数含义见下表：

表 5-2-8-1 二能级增益模型参数说明表

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|-------------|------------------------------|----------|
| N | 总粒子数密度 | |
| τ_{12} | 增益率 | 采用文档时间单位 |
| τ_{21} | 衰减率 | |
| f0 | 能级中心频率 $f_0 = \omega / 2\pi$ | |
| fc | 能级频率半宽 | |

5.2.9. 四能级增益材料



注意事项

采用光泵浦时，应选用该材料；采用电泵浦时，应选用 四能级增益材料（含参数泵浦）。

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_{\infty} + i \frac{\sigma_{\epsilon}}{\omega} + \sum_{i=1}^N \frac{\omega_p^2}{\omega_a^2 - \omega^2 - i\omega_c \omega} + \epsilon_{g4} \quad \text{公式 5-2-14}$$

磁导率部分与洛仑兹形式相同，不含增益项。标准四能级主要过程如下：

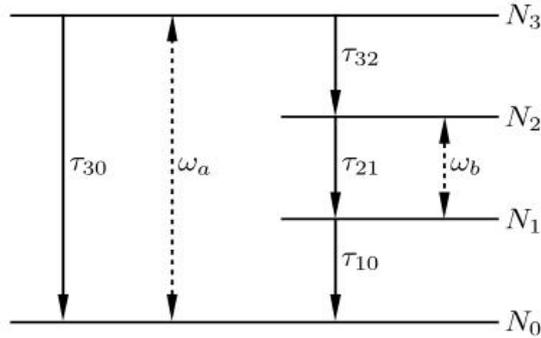


图 5-2-9-1 四能级增益工作过程示意图

其中， $\tau_{30}, \tau_{32}, \tau_{21}, \tau_{10}$ 等效于下列四能级主要过程粒子数方程中的各能级寿命项：

$$\frac{dN_3}{dt} = -\frac{N_3}{\tau_{30}} - \frac{N_3}{\tau_{32}} + \xi_a \quad \text{公式 5-2-15a}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{N_2}{\tau_{21}} + \frac{N_3}{\tau_{32}} + \xi_b \quad \text{公式 5-2-15b}$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -\frac{N_1}{\tau_{10}} + \frac{N_2}{\tau_{21}} - \xi_b \quad \text{公式 5-2-15c}$$

$$\frac{dN_0}{dt} = +\frac{N_3}{\tau_{30}} + \frac{N_1}{\tau_{10}} - \xi_a \quad \text{公式 5-2-15d}$$

上述公式中，附加作用项的含义分别为：

表 5-2-9-1 泵浦参数说明

| 作用项 | 说明 |
|---------|------------------------------------|
| ξ_a | 泵浦能级受激作用项, 单位时间从能级 0 到能级 3 激发的粒子数。 |
| ξ_b | 工作能级受激作用项, 单位时间从能级 1 到能级 2 激发的粒子数。 |

四能级材料参数设置如下图：

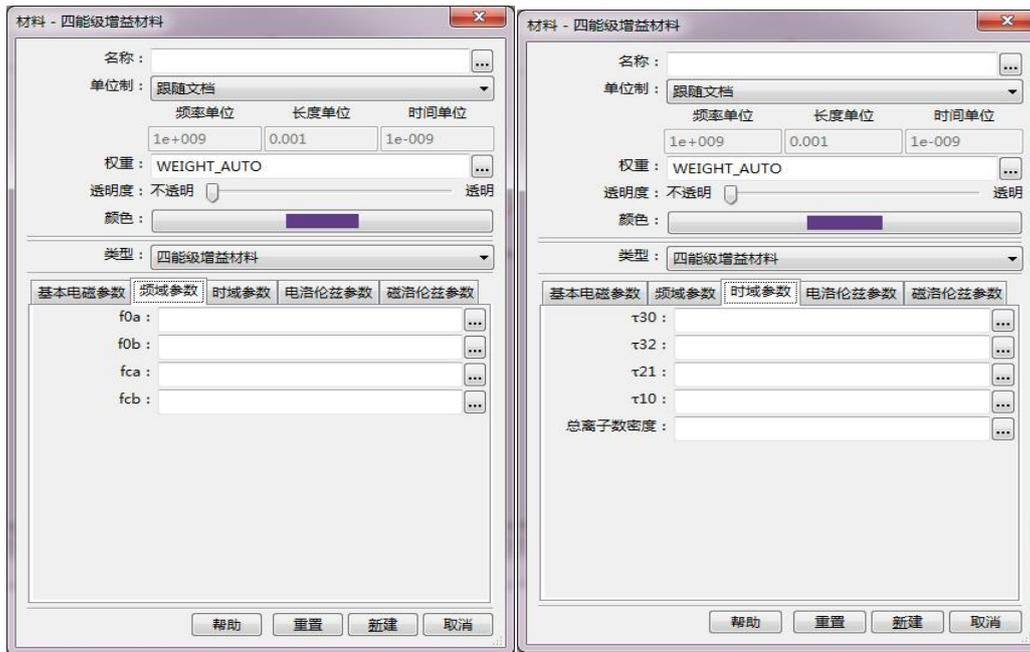


图 5-2-9-2 四能级增益材料参数设置

各参数含义如下表：

表 5-2-9-2 四能级增益模型参数说明表

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|-------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| τ_{30} | 各能级寿命 | 单位为文档属性中定义的时间单位 |
| τ_{32} | | |
| τ_{21} | | |
| τ_{10} | | |
| 总粒子数密度 | 单位空间内粒子个数 | 单位按场量绝对单位理解，与文档长度单位无关。 |
| f0a | 泵浦能级中心频率 $f_{0a} = \omega_{0a} / 2\pi$ | 第一个下标 0 表示中心频率；第一个下标 c 表示频率半宽。 第二个下标 a 表示泵浦能级；第二个下标 b 表示工作能级。 |
| f0b | 工作能级中心频率 $f_{0b} = \omega_{0b} / 2\pi$ | |
| fca | 泵浦能级频率半宽 $f_{ca} = \omega_{ca} / 2\pi$ | |
| fc b | 工作能级频率半宽 $f_{cb} = \omega_{cb} / 2\pi$ | |

5.2.10. 四能级增益材料（含参数泵浦）

含参数泵浦的四能级材料与普通四能级材料的区别在于参数泵浦四能级材料可以直接指定泵浦率参数，可用于电泵浦。



注意事项

采用电泵浦时，应选用该材料；采用光泵浦时，应选用 四能级增益材料 。

其工作示意图如下：

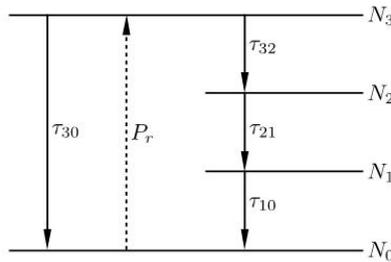


图 5-2-10-1 四能级材料（含参数泵浦）工作过程示意图

含参数泵浦四能级增益材料参数设置如下图：

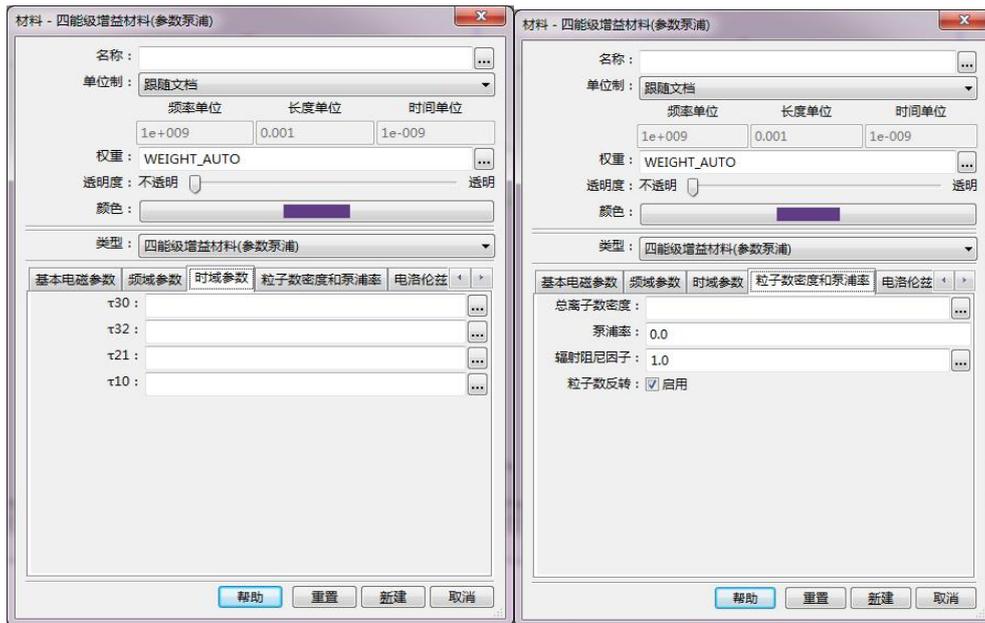


图 5-2-10-2 含参数泵浦四能级增益材料参数设置

含参数泵浦四能级增益材料的参数说明如下表：

表 5-2-10-1 含参数泵浦四能级增益模型参数说明表

| 参数 | 说明 | 备注 | |
|------|------|----------|-------------|
| 频率参数 | f0 | 工作能级中心频率 | |
| | fc | 工作能级频率半宽 | |
| 时域参数 | τ 30 | 各能级寿命 | 采用文档定义的时间单位 |
| | τ 32 | | |

| | | | |
|--------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| | τ_{21} | | |
| | τ_{12} | | |
| 总粒子数密度 | | 单位空间内粒子个数 | |
| 泵浦率 | | 每秒被泵浦上去的粒子数 | |
| 辐射阻尼因子 | | 在原子自发辐射经典模型中，相对于经典辐射阻尼系数的修正比例因子。有效辐射阻尼系数 $\gamma' = \alpha \gamma$ ，其中经典辐射阻尼系数 [1]： $\gamma = e^2 \omega^2 / (6 \pi \epsilon_0 c^3 m)$ ，辐射阻尼因子即 α | 默认值为 1.0 |
| 粒子数反转 | | 材料初始状态工作能级（能级 1、能级 2）是否发生粒子数反转 | |
| 洛伦兹参数 | fp | 等离子体频率 $fp = \omega_p / 2 \pi$ | |
| | fa | 谐振频率 $fa = \omega_a / 2 \pi$ | |
| | fc | 阻尼频率 $fc = \omega_c / 2 \pi$ | |

5.2.11. 各向异性材料

各向异性材料的相对介电常数和相对磁导率为二阶张量，其表达式如下：

$$\vec{\epsilon} = \vec{\epsilon}_\infty + \frac{i}{\omega} \vec{\sigma}_e \quad \text{公式 5-2-16a}$$

$$\vec{\mu} = \vec{\mu}_\infty + \frac{i}{\omega} \vec{\sigma}_m \quad \text{公式 5-2-16b}$$

相对介电常数和相对磁导率张量取矩阵表示：

$$\vec{\epsilon} = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix} + \frac{i}{\omega} \begin{pmatrix} \sigma_{e,xx} & \sigma_{e,xy} & \sigma_{e,xz} \\ \sigma_{e,yx} & \sigma_{e,yy} & \sigma_{e,yz} \\ \sigma_{e,zx} & \sigma_{e,zy} & \sigma_{e,zz} \end{pmatrix} \quad \text{公式 5-2-17a}$$

$$\vec{\mu} = \begin{pmatrix} \mu_{xx} & \mu_{xy} & \mu_{xz} \\ \mu_{yx} & \mu_{yy} & \mu_{yz} \\ \mu_{zx} & \mu_{zy} & \mu_{zz} \end{pmatrix} + \frac{i}{\omega} \begin{pmatrix} \sigma_{m,xx} & \sigma_{m,xy} & \sigma_{m,xz} \\ \sigma_{m,yx} & \sigma_{m,yy} & \sigma_{m,yz} \\ \sigma_{m,zx} & \sigma_{m,zy} & \sigma_{m,zz} \end{pmatrix} \quad \text{公式 5-2-17b}$$

EastWave 中的各向异性模型可以设置任意方向（按全局坐标理解）上的相对介电常数、相对磁导率、相对电导率和相对介磁系数。各向异性参数设置如下图：

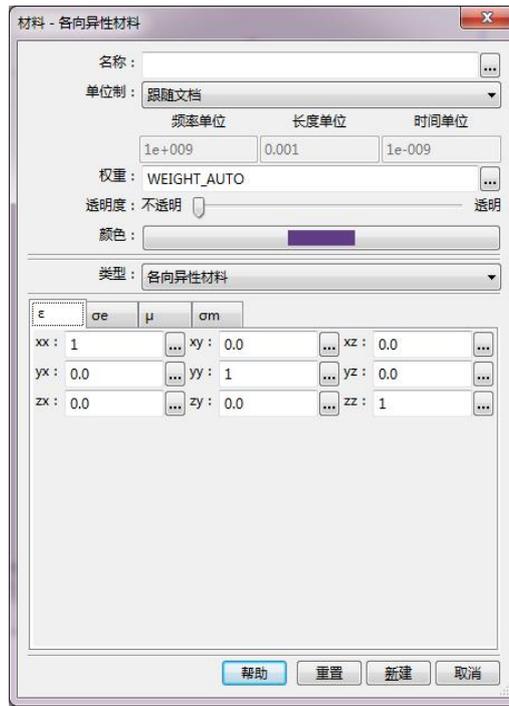


图 5-2-11-1 各向异性模型参数设置

参数含义如下：

表 5-2-11-1 各向异性材料参数说明：

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|------------------|----------|--------------------|
| $\vec{\epsilon}$ | 相对介电常数张量 | 无单位，全部参数按下标分量输入即可。 |
| $\vec{\mu}$ | 相对磁导率张量 | |
| $\vec{\sigma}_e$ | 相对电导率张量 | |
| $\vec{\sigma}_m$ | 相对介磁系数张量 | |

5.2.12. 自定义材料

自定义材料用于模拟指定频率下明确介电常数实部和虚部的材料（线性材料）。设置的方式可选用导入多个频率对应的相对介电常数的实部、虚部，进而得到指定频率的电磁属性。自定义材料模型的表达式如下：

$$\epsilon = \epsilon_r + i\epsilon_i \tag{公式 5-2-18a}$$

$$\mu = \mu_r + i\mu_i \tag{公式 5-2-18b}$$

自定义材料的参数设置如下图：

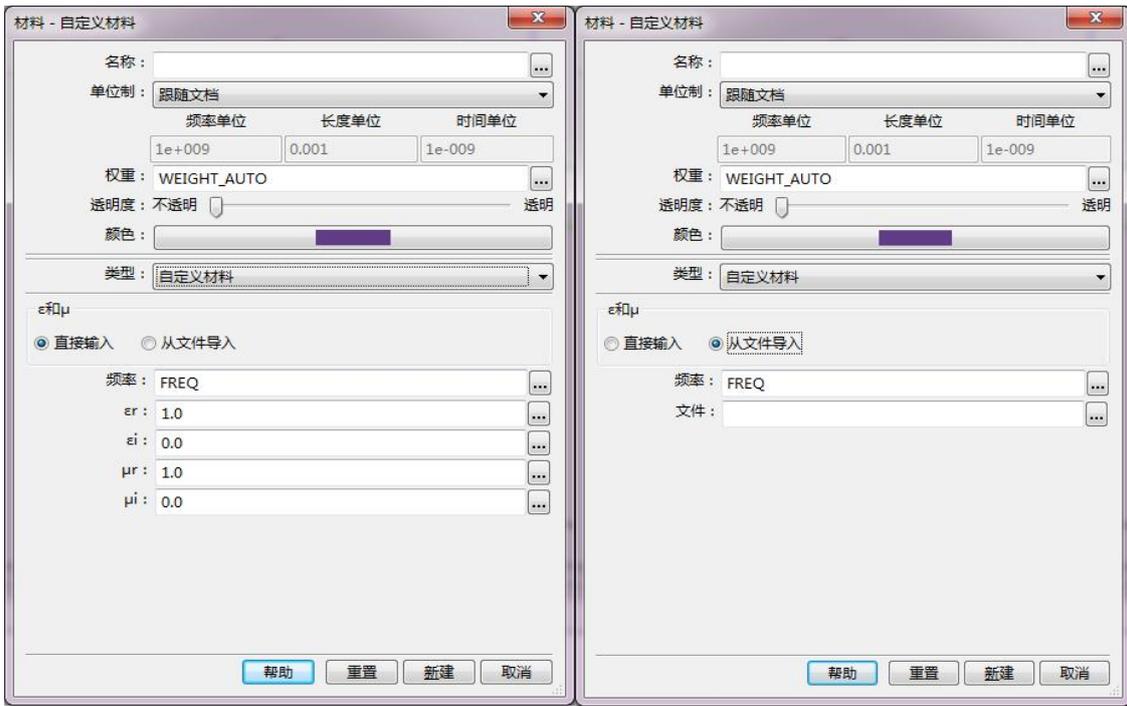


图 5-2-12-1 自定义材料参数设置

各参数含义见下表：

表 5-2-12-1 自定义材料参数说明

| 参数 | 说明 | 备注 |
|--------------|---------------------------------------|----|
| 频率 | 指定材料属性的对应频率 | |
| ϵ_r | 材料介电常数实部 | |
| ϵ_i | 材料介电常数虚部 | |
| μ_r | 材料磁导率实部 | |
| μ_i | 材料磁导率虚部 | |
| 材料文件 | 用于指定多个频率时倒入的文件。导入文件的数据结构可以为三列，也可以为五列。 | |

5.2.13. 旋光材料

旋光材料是一类特殊的各向异性材料，其相对介电常数和相对磁导率均为张量。在描述旋光材料的电磁性质时，选取一个特定的主轴坐标系。在该坐标系下，旋光材料的电磁特性张量的矩阵表示如下：

$$\epsilon_{ts} = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx,total} & \epsilon_{xy} & 0 \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy,total} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{zz,total} \end{pmatrix} \quad \text{公式 5-2-19a}$$

$$\vec{\mu} = \begin{pmatrix} \mu_{xx, total} & \mu_{xy} & 0 \\ \mu_{yx} & \mu_{yy, total} & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{zz, total} \end{pmatrix} \quad \text{公式 5-2-19b}$$

旋光材料存在电旋光和磁旋光两类，均只包含一个洛伦兹振子项。

电旋光材料是旋光特性反映在介电常数上的材料，其相对介电常数张量的主要分量表达式如下：

$$\epsilon_{xx, total}(\omega) = \epsilon_{xx} + \frac{\omega_p^2}{\omega_b^2 - \omega^2 - i\omega\omega_c} \left(1 + i \frac{\omega_c}{\omega} \right) \quad \text{公式 5-2-20a}$$

$$\epsilon_{yy, total}(\omega) = \epsilon_{yy} + \frac{\omega_p^2}{\omega_b^2 - \omega^2 - i\omega\omega_c} \left(1 + i \frac{\omega_c}{\omega} \right) \quad \text{公式 5-2-20b}$$

$$\epsilon_{zz, total}(\omega) = \epsilon_{zz} + \frac{\omega_p^2}{-\omega^2 - i\omega\omega_c} \quad \text{公式 5-2-20c}$$

$$\epsilon_{xy}(\omega) = \epsilon_{yx}(\omega) = \frac{\omega_p^2}{(\omega + i\omega_c)^2 - \omega_b^2} \cdot \left(\frac{\omega_b}{\omega} \right) \quad \text{公式 6-2-20d}$$

旋光效果在 xy 平面内。

磁旋光是旋光效应反映在磁导率上的材料，其表达式如下：

$$\mu_{xx, total} = \mu_{xx} + \frac{(\omega_0 - i\omega\alpha)\omega_m}{(\omega_0 - i\omega\alpha)^2 - \omega^2} \quad \text{公式 5-2-21a}$$

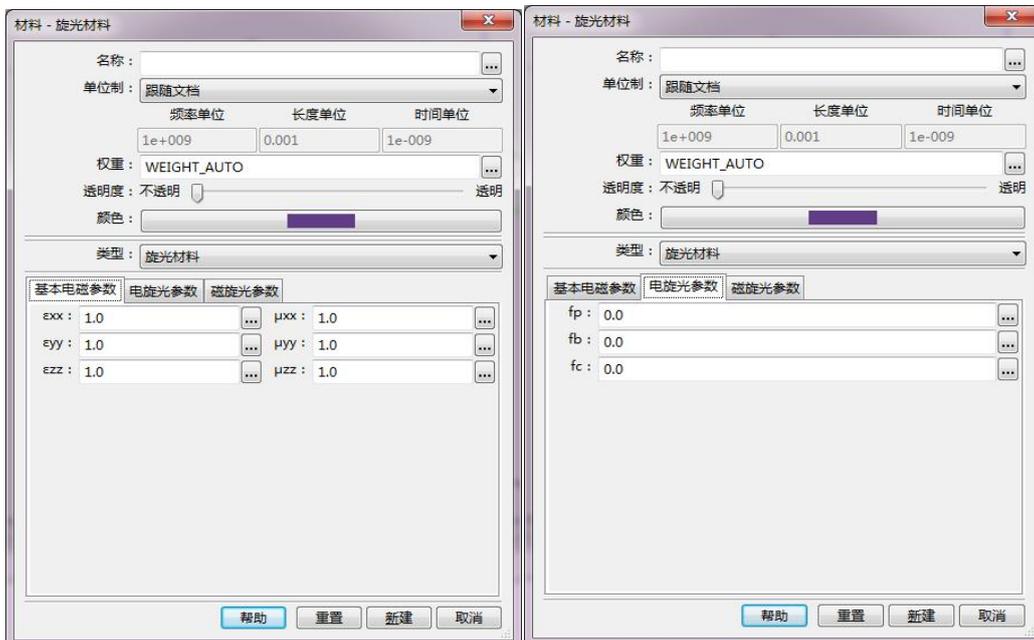
$$\mu_{yy, total} = \mu_{yy} + \frac{(\omega_0 - i\omega\alpha)\omega_m}{(\omega_0 - i\omega\alpha)^2 - \omega^2} \quad \text{公式 5-2-21b}$$

$$\mu_{xy} = \frac{-i\omega\omega_m}{(\omega_0 - i\omega\alpha)^2 - \omega^2} \quad \text{公式 5-2-21c}$$

$$\mu_{yx} = \frac{i\omega\omega_m}{(\omega_0 - i\omega\alpha)^2 - \omega^2} \quad \text{公式 5-2-21d}$$

旋光效果同样在 xy 面内。

旋光材料参数设置如下图：



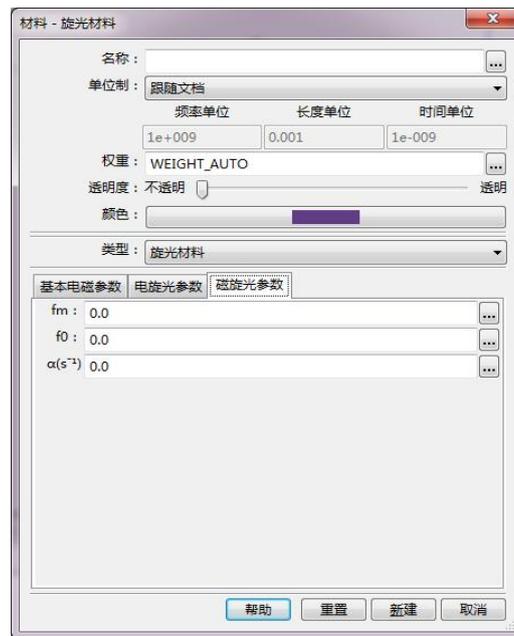


图 5-2-13-1 旋光材料参数设置

材料参数的含义见下表：

表 5-2-13-1 旋光材料参数说明：

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|------------|-------------------------------|-----------------------------|
| ϵ | 相对介电张量 | 所有材料的下标采用全局坐标系，输入值为对应张量对角元。 |
| μ | 相对磁导率张量 | |
| fp | 等离子体频率 $fp = \omega_p / 2\pi$ | 使用文档指定频率单位 |
| fb | 谐振频率 $fb = \omega_b / 2\pi$ | |
| fc | 阻尼频率 $fc = \omega_c / 2\pi$ | |



注意事项

设置磁旋光参数 f0, fm, α 请联系东峻技术工程师。

5.2.14. 手性材料

手性材料（即 Chiral 材料）由于其吸波特性和旋光特性，常用于吸波领域（如微波暗室）及隐形方面的仿真中。手性材料基本电磁模型表达式如下：

$$\vec{D}(\omega) = \epsilon(\omega)\epsilon_0\vec{E}(\omega) + i\sqrt{\mu_0\epsilon_0}\kappa(\omega)\vec{H}(\omega) \quad \text{公式 5-2-22a}$$

$$\vec{B}(\omega) = \mu(\omega)\mu_0\vec{H}(\omega) - i\sqrt{\mu_0\epsilon_0}\kappa(\omega)\vec{E}(\omega) \quad \text{公式 5-2-22b}$$

其中：

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \sum_{i=1}^{N_\epsilon} \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i\omega_{c,i}\omega} \quad \text{公式 5-2-23a}$$

$$\mu(\omega) = \mu_\infty + \sum_{i=1}^{N_\mu} \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i\omega_{c,i}\omega} \quad \text{公式 5-2-23b}$$

$$\kappa(\omega) = \sum_{i=1}^{N_\kappa} \frac{\tau_{\kappa,i} \omega_{\kappa,i}^2 \omega}{\omega_{\kappa,i}^2 - \omega^2 - i\omega_{\kappa,i} \Delta_{\kappa,i} \omega} \quad \text{公式 5-2-23c}$$

上式中 $\kappa(\omega)$ 为手性参数。手性材料参数设置如下图所示：

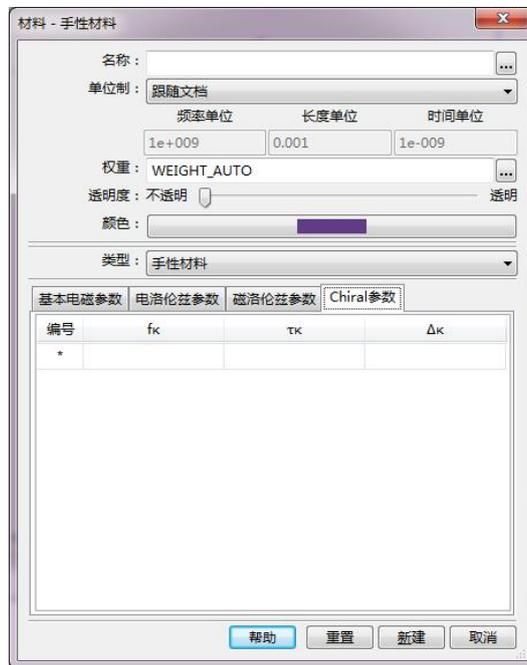


图 5-2-14-1 手性材料参数设置



注意事项

1. 所有参数都是用文档单位进行定义。
2. 相关参数含义联系东峻技术工程师。

5.2.15. 空间相关无色散材料

空间相关无色散模型在原无色散材料模型的基础上引入了位置信息。

$$\epsilon = P_\epsilon(x, y, z) \quad \text{公式 5-2-24a}$$

$$\mu = P_\mu(x, y, z) \quad \text{公式 5-2-24b}$$

$$\sigma_e = P_e(x, y, z) \quad \text{公式 5-2-24c}$$

$$\sigma_m = P_m(x, y, z) \quad \text{公式 5-2-24d}$$

在文本框中输入参数的时候，用户可以分别使用_x, _y, _z三个专用内置变量来表示真实空间的x, y, z三个空间变量。空间相关无色散模型参数设置如下图所示：



图 5-2-15-1 空间相关无色散材料

各参数含义见下表：

图 5-2-15-1 空间相关无色散材料说明

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|------------|--------|----------------|
| ϵ | 相对介电常数 | 无单位 |
| μ | 相对磁导率 | |
| σ_e | 相对电导率 | |
| σ_m | 相对介磁系数 | 当需要构建阻抗匹配材料时使用 |

5.2.16. 空间相关洛伦兹色散材料

空间相关洛伦兹色散模型中材料的介电系数、磁导率计算方法与洛伦兹色散材料模型中介绍的基本相同，只是在振子项前增加了一个空间相关函数 $P(x, y, z)$ 。空间相关洛伦兹色散模型如下：

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + i \frac{\sigma_e}{\omega} + P_e(x, y, z) \sum_{i=1}^N \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i\omega_{c,i}\omega} \quad \text{公式 5-2-25a}$$

$$\mu(\omega) = \mu_\infty + i \frac{\sigma_m}{\omega} + P_m(x, y, z) \sum_{i=1}^M \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i\omega_{c,i}\omega} \quad \text{公式 5-2-25b}$$

其中： $P_\epsilon(x, y, z)$, $P_\mu(x, y, z)$ 为含位置信息的函数，该位置函数只作用在洛伦兹振子求和项上。空间相关洛伦兹色散模型参数设置如下：

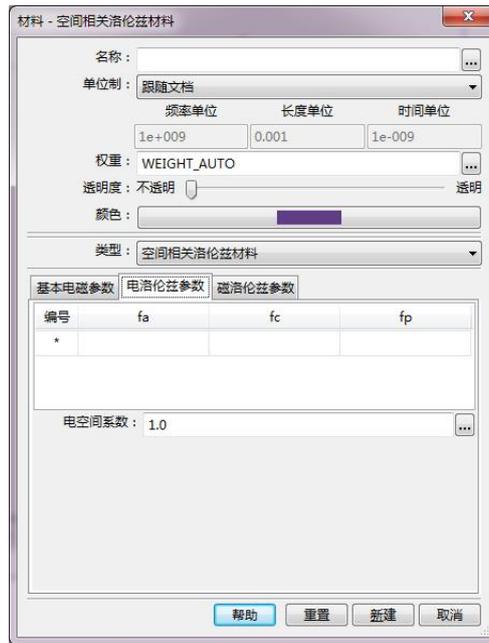


图 5-2-16-1 空间相关洛伦兹色散模型参数设置

表 5-2-16-1 空间相关洛伦兹材料参数说明

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| ϵ | 相对介电常数 | 无单位 |
| μ | 相对磁导率 | |
| σ_e | 相对电导率 | |
| σ_m | 相对介磁系数 | 当需要构建阻抗匹配材料时使用 |
| fa | 谐振频率 $fa = \omega_a / 2\pi$ | 使用文档指定频率单位 |
| fc | 阻尼频率 $fc = \omega_c / 2\pi$ | |
| fp | 等离子体频率 $fp = \omega_p / 2\pi$ | |
| 电空间系数 | 对应 $P_\epsilon(x, y, z)$ | 用_x, _y, _z三个内置脚本变量分别替代 x, y, z三个公式分量书写表达式。 |
| 磁空间系数 | 对应 $P_\mu(x, y, z)$ | |

5.2.17. 主轴洛伦兹材料

主轴洛伦兹材料选取其主轴坐标系（该坐标系下其电磁参数张量只有对角元非零），相对介电常数张量 $\vec{\epsilon}$ 和相对磁导率张量 $\vec{\mu}$ 的表达式如下：

$$\epsilon_{11} = \begin{pmatrix} \epsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_z \end{pmatrix} + \frac{i}{\omega} \begin{pmatrix} \sigma_{e,x} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{e,y} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{e,z} \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{N_x} L_{x,i}^e & 0 & 0 \\ 0 & \sum_{i=1}^{N_y} L_{y,i}^e & 0 \\ 0 & 0 & \sum_{i=1}^{N_z} L_{z,i}^e \end{pmatrix}$$

公式 5-2-26a

$$\epsilon_{11} = \begin{pmatrix} \epsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_z \end{pmatrix} + \frac{i}{\omega} \begin{pmatrix} \sigma_{e,x} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{e,y} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{e,z} \end{pmatrix}$$

$$\vec{\mu} = \begin{pmatrix} \epsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_z \end{pmatrix} + \frac{i}{\omega} \begin{pmatrix} \sigma_{m,x} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{m,y} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{m,z} \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{M_x} L_{x,i}^m & 0 & 0 \\ 0 & \sum_{i=1}^{M_y} L_{y,i}^m & 0 \\ 0 & 0 & \sum_{i=1}^{M_z} L_{z,i}^m \end{pmatrix}$$

公式 5-2-26b

其中 $L_{x,i}^e, L_{y,i}^e, L_{z,i}^e, L_{x,i}^m, L_{y,i}^m, L_{z,i}^m$ 分别表示电洛伦兹振子项的三个对角元和磁洛伦兹振子项的三个对角元，以 x 分量为例（其他分量形式类似，不同分量的洛伦兹参数独立取值），其表达形式与洛伦兹型相同：

$$L_{x,i}^e = \frac{\omega_{p,i}^2}{\omega_{a,i}^2 - \omega^2 - i\omega\gamma_{c,i}}$$

公式 5-2-27

主轴洛伦兹色散材料参数设置如下图所示：



图 5-2-17-1 主轴洛伦兹色散材料参数设置（基本电磁参数）

在全局坐标系中使用主轴洛伦兹材料时需要附加坐标变换矩阵 M ，相当于将材料（或理解为引用该材料的物体）从全局坐标系变换到主轴坐标系的变换，如下图所示：

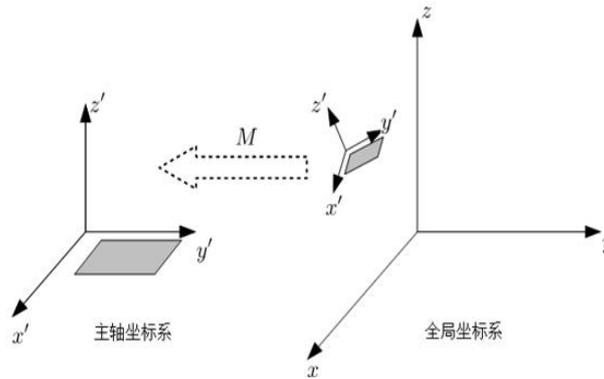


图 5-2-17-2 主轴洛伦兹色散材料的坐标变换示意图

其中电场主轴参数的坐标变换矩阵 M_e 表达式为：

$$M_e = \begin{pmatrix} m_{e,xx} & m_{e,xy} & m_{e,xz} \\ m_{e,yx} & m_{e,yy} & m_{e,yz} \\ m_{e,zx} & m_{e,zy} & m_{e,zz} \end{pmatrix} \quad \text{公式 5-2-28a}$$

在全局坐标系中的电场 \vec{E} 与电位移矢量 \vec{D} 之间的关系式为：

$$\vec{D} = M_e^{-1}(\vec{\epsilon}(\omega)(M_e \vec{E})) \quad \text{公式 5-2-28b}$$

而全局坐标系中的磁感应强度 \vec{B} 和磁场强度 \vec{H} 之间的关系式为：

$$\vec{B} = M_m^{-1}(\vec{\mu}(\omega)(M_m \vec{H})) \quad \text{公式 5-2-28c}$$

坐标变换参数设置如图：



图 5-2-17-3 主轴洛伦兹色散材料参数设置（坐标变换矩阵）

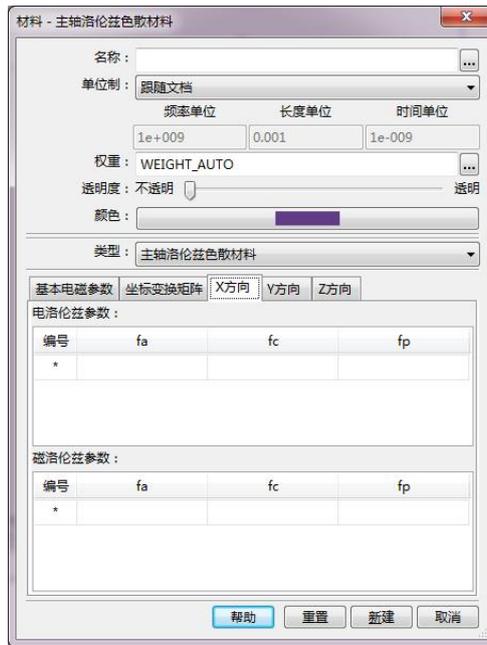


图 5-2-17-4 主轴洛伦兹色散材料参数设置（电磁洛伦兹参数）

各参数意义见下表：

表 5-2-17-1 主轴洛伦兹色散材料参数说明：

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|----------------------|-------------------------|------------------------|
| 基本电磁参数 | 指定主轴洛伦兹色散材料的基本电磁参数 | |
| 坐标变换矩阵 M_e , M_m | 指定主轴洛伦兹色散材料的坐标变换矩阵 | |
| X 方向 | 指定主轴洛伦兹色散材料 X 方向电磁洛伦兹参数 | 三个方向和每个方向的电磁洛伦兹参数均是独立的 |
| Y 方向 | 指定主轴洛伦兹色散材料 Y 方向电磁洛伦兹参数 | |
| Z 方向 | 指定主轴洛伦兹色散材料 Z 方向电磁洛伦兹参数 | |

5.2.18. 材料库

EastWave 材料库按类型分为系统材料库和自定义材料库，系统材料库为系统预置材料库，其中包含常见的微波材料及光学材料。用户不能对系统材料库进行修改、添加、删除等操作，只能从中读取材料，应用于建模中。自定义材料库为用户根据自己的需求创建的材料库，用于存储用户自行创建的材料。

EastWave 中提供了材料库管理器，用于对材料进行系统、方便的管理。材料库管理器管理界面如下图所示。

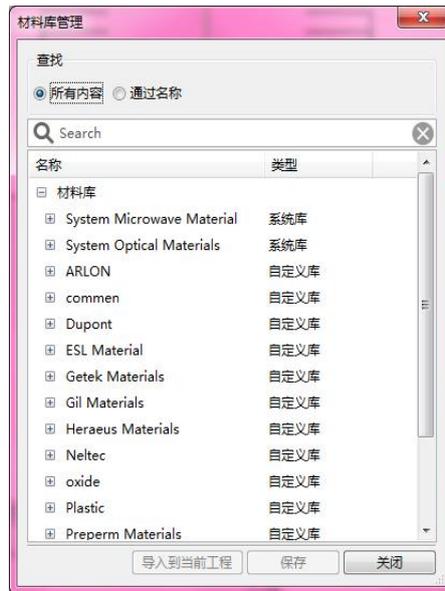


图 5-2-18-1 材料库管理窗口

(1) 材料库管理

通过管理树根节点“材料”右键菜单，点击从材料库中载入材料，可完成创建新的材料库，从外部导入已存在的材料库，以及保存对材料库的修改等操作。通过具体材料库右键菜单，可对该材料库进行重命名库、导出库、删除库等操作。

(2) 材料管理

通过具体材料右键菜单，可对该材料进行编辑材料属性，删除材料，以及将该材料载入到当前工程中等操作。

(3) 材料检索

在所有材料库中搜索包含检索关键字的材料。根据关键字搜索范围，可分为以下两种检索方式：

- a. 所有：搜索材料名、材料创建日期、材料描述等信息中含有检索关键字的材料；
- b. 材料名：搜索材料名中含有检索关键字的材料。

(4) 材料拟合

EastWave 中的材料拟合工具可用于将通过实验测的材料数据转换成软件能够识别的材料模型。材料拟合工具如下图：

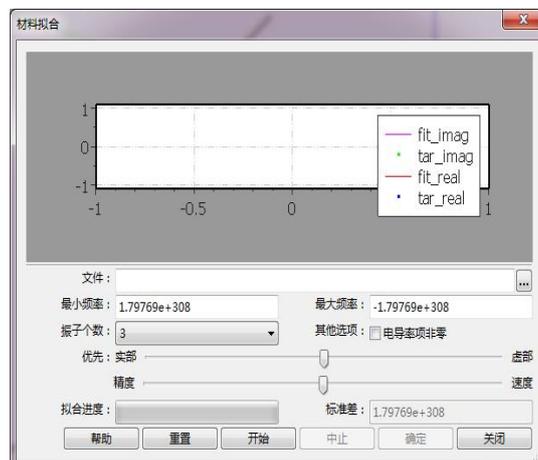


图 5-2-18-2 材料拟合参数设置

各参数意义如下表：

表 5-2-18-1 材料拟合参数说明

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 文件 | 含有实测材料数据信息的文本文件。文本中数据存储的格式为：包含三列数据，第一列为频率信息，第二列为材料介电常数实部信息，第三列为材料介电常数虚部信息 | |
| 最小频率 | 指定实际拟合的频率范围 | |
| 最小频率 | | |
| 是否有电导率 | 指定拟合目标模型中是否带有电导率项 | |
| 拟合优先 | 指定拟合过程中优先考虑实部还是优先考虑虚部 | |
| | 指定拟合过程中优先考虑精度还是优先考虑速度 | |
| 拟合进度 | 显示当前拟合的进行情况 | |
| 拟合精度 | 显示当前拟合的精度情况，该数字越小，说明拟合的结果越好 | |

材料拟合步骤如下：

第一步：载入实测数据，选择实际拟合区间。选择“实测曲线拟合”后首先弹出的的是一个待拟合的实测数据载入窗口，通过点击“浏览”，选择实测数据文件后载入，即可在下方的曲线绘制窗口中生成实测材料介电常数实部和虚部分别随频率变化的分布曲线。你可以对载入的实测数据进行全频段拟合，但建议通过“自定义”的方式来指定需要的频段进行拟合，这样拟合的速度和精度相比之全频段拟合更佳。指定完频段后可点击“刷新”按钮进行预览，具体设置如下：

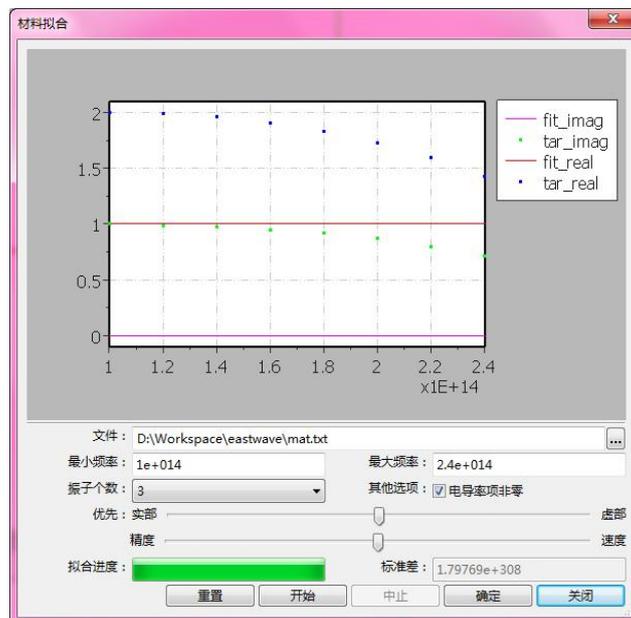


图 5-2-18-3 导入实测数据

第二步：设置拟合参数。在载入待拟合实测数据，并指定完需要拟合的频段后，点击下一步，进入到曲线拟合设置窗口，如下图所示：

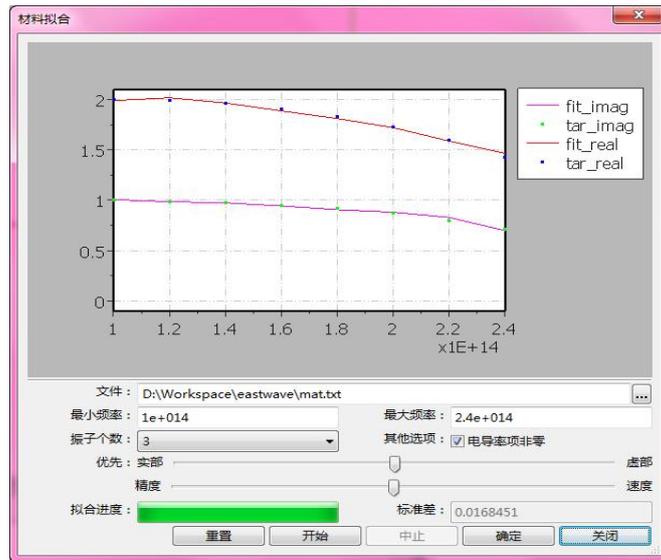


图 5-2-18-4 材料拟合参数设置

曲线拟合窗口分为上下两部分。上半部分动态显示拟合的效果，其中蓝色标识的为实测数据曲线，红色标识的为拟合曲线，拟合曲线与实测符合的越好，说明拟合的效果越好，生成的建模材料模型也越接近于实测材料情况。下半部分是拟合之前的一些预设置，意义及设置方法如下：

表 5-2-18-2 材料拟合功能设置说明

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 材料名 | 为拟合后的材料指定一个名字。 | |
| 选择电磁振子的数量 | 此项将决定材料模型的最终形态和拟合的最终效果。设置的原则为观察实测数据曲线上有多少个明显的峰，则设置为多少，如果第一次拟合的效果不是很好，可再适当增大该值，但该值越大，拟合生成的材料在求解计算中所占资源也将越多。 | 1 - 20 个 |
| 实部/虚部优先 | 该项参数的设置取决于材料的实部和虚部哪部分对你的计算结果影响大。 | |
| 速度/精度优先 | 该项参数的设置取决于你对拟合速度的要求高还是拟合的精度要求高。 | |

第三步：执行拟合，生成材料。在拟合开始后，你可以选择让整个拟合 100%完成后自动终止，也可以通过观察上方的拟合曲线结果，如已经达到你的精度要求，可点击“终止拟合”，然后点击“应用”即可生成最终新的材料。


注意事项

1. 材料拟合过程中每拟合一步可能需要较长的时间，如发现进度条长时间没有跳动，但界面仍有响应，则说明拟合还在进行中，请耐心等待。

2. 如果用户需要拟合电属性和磁属性，可以先分别拟合电参数和磁参数后，利用洛仑兹参数表格的复制粘贴功能将两部分属性合成为一个材料。

5.2.19. 条件选择材料

条件选择材料用于参数控制材料在空间上的分布，适用于具有隐式参数方程描述表面的物体赋予材料性质。例如要建立一个方程 $f(x,y,z)=0$ 为截面， $f(x,y,z)\geq 0$ 为 A 材料， $f(x,y,z)< 0$ 为 B 材料，填充一个物体的区域就可以使用条件选择材料。

条件选择材料的对话框如下所示：

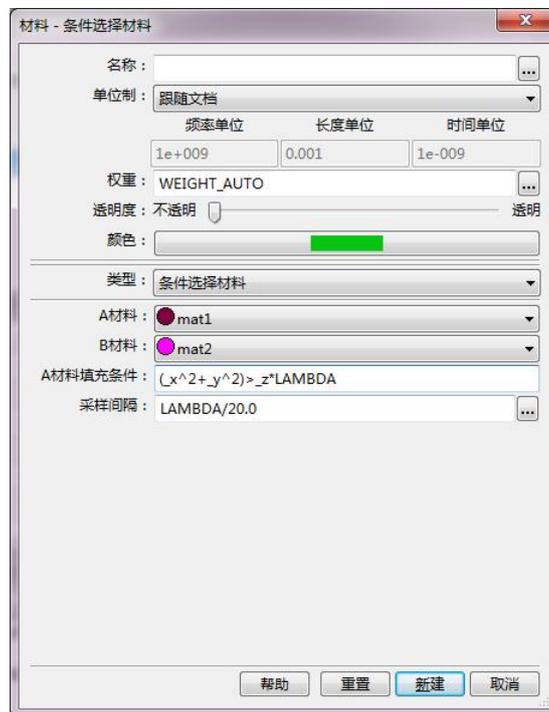


图 5-2-19-1 条件选择材料对话框

条件选择材料生成如下图：

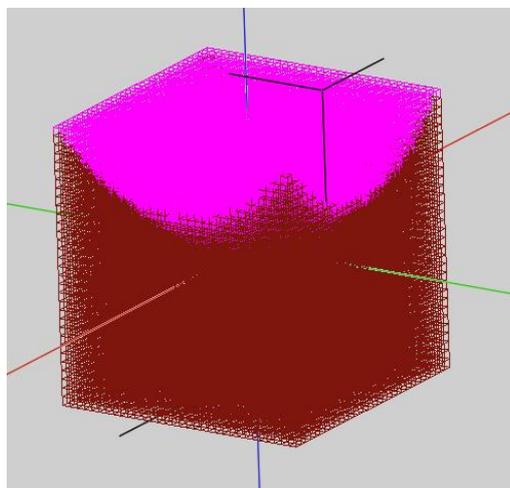


图 5-2-19-1 条件选择材料（右图为对应物体离散化后的效果）

图中条件： $x^2+y^2>z*\Lambda$

表 5-2-19-1 条件选择材料参数说明

| 参数名称 | 说明 | 备注 |
|----------|---------------------------------|----|
| A 材料 | A 材料（从已有材料中选取） | |
| B 材料 | B 材料（从已有材料中选取） | |
| A 材料填充条件 | 当表达式为 true（真）时填充 A 材料，否则填充 B 材料 | |
| 采样间隔 | 填充材料时使用的空间采样精度 | |



注意事项

1. 在离散化前，显示物体模型时，条件选择材料的颜色由当前用户设定决定；手动离散化观察 FDTD 网格时由真实选择出的材料决定。
2. 需要选择多种材料时，可以使用多个条件选择材料间接引用的方式来实现。

5.3. 激励源模块

EastWave 支持丰富的激励源模块，包括口径场，高斯窗，集总端口，波端口等常用激励源。EastWave 6.0 新增斜面激励源，可实现有限大口径场朝任意方向出射。EastWave 激励源支持丰富的外部导入功能，用户可构造任意空间分布的口面导入 EastWave 进行 FDTD 仿真。此外，EastWave 计算的前次结果的近场数据可作为源导入下一次 FDTD 或 PO 仿真计算，在处理某些电大体系的工程问题时可大大减小仿真难度。

可通过如下方式建立激励源：

- (1) 主菜单选择“求解器”，在下拉菜单中选择相应的激励源；
- (2) 点击“模型”工具栏激励源图标，如图 5-3-1 红色区域；



图 5-3-1 激励源图标

- (3) 在工程管理窗口“激励源”分支下，鼠标右键需要的激励源类型，如图：

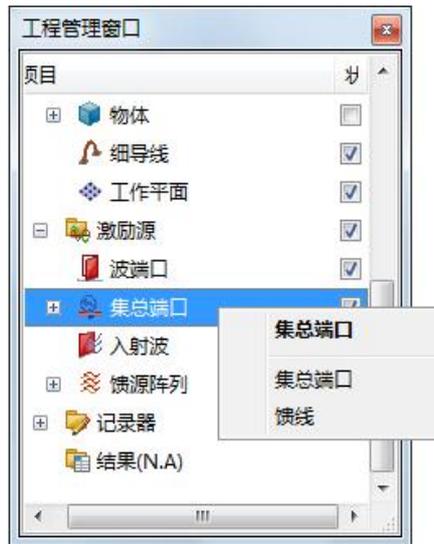


图 5-3-2 工程管理窗口选择激励源

5.3.1. 基本特性参数

EastWave 中激励源表达式由空间分布函数和时间波形函数两部分组成：

$$E(\vec{r}, t) = A(\vec{r}) \cdot A(t) \cdot A_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{公式 6-3-1}$$

式中 A_0 为激励源初始时刻中心位置的幅度（常数）， $A(\vec{r})$ 为幅度的空间分布函数， $A(t)$ 为幅度的时域幅度函数（其中 $A(t) \cdot A_0 \cos(\omega t + \varphi)$ 为时域波形部分）。



注意事项

公式中 ω 为角频率，在设置窗口中设置的是频率 $f = \omega / 2\pi$ 。

在工具栏中选择“新建激励源”按钮，弹出新建激励源参数设置窗口，如下图所示：

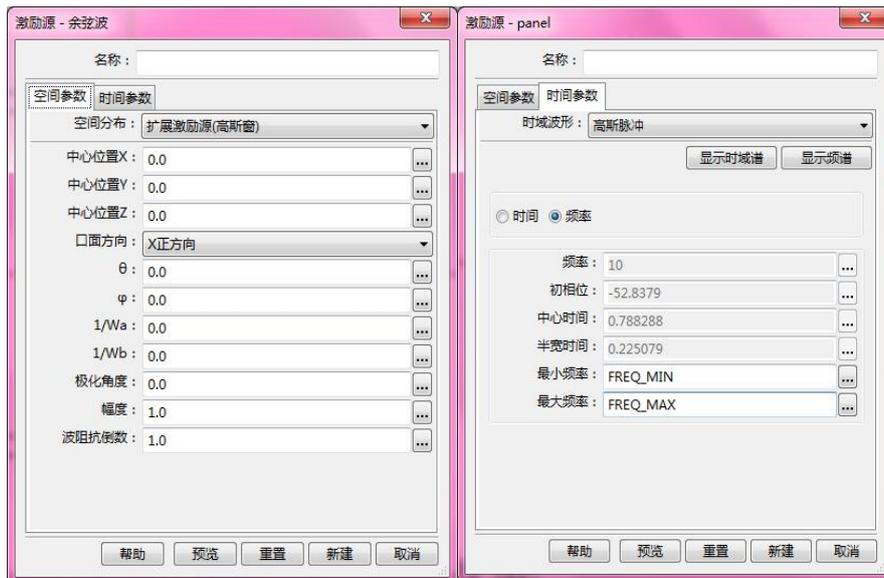


图 5-3-1a 激励源参数设置

查看时域谱和频谱：

选择【时间参数】标签，点击右上角的“显示时域谱”可现实激励源的时域波形（建议按频率输入 FREQ_MIN 和 FREQ_MAX 两个系统变量）：

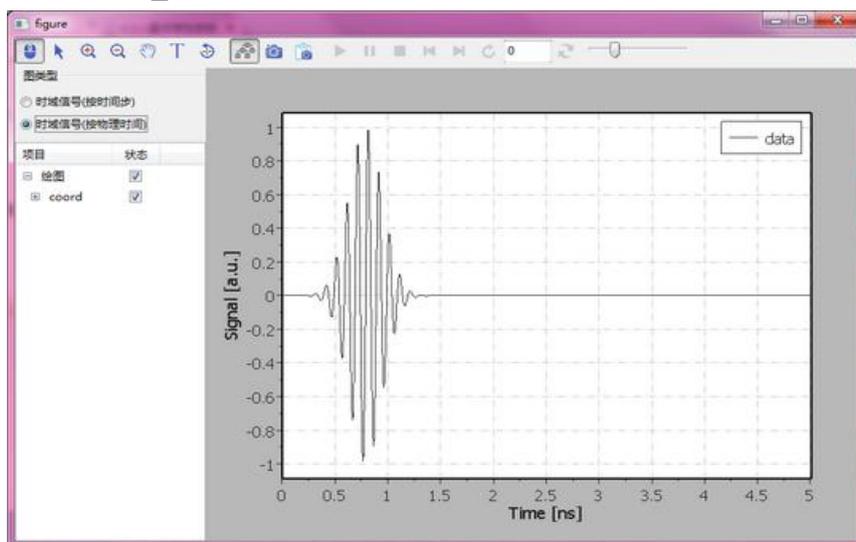


图 5-3-1b 激励源时域波形预览

可以选择左侧的时域信号（按时间步）/时域信号（按物理时间）分别按照计算时间步和物理时间显示。

点击图 6-3-1a 右上角的“显示频域”可显示波形对应的频域功率谱：

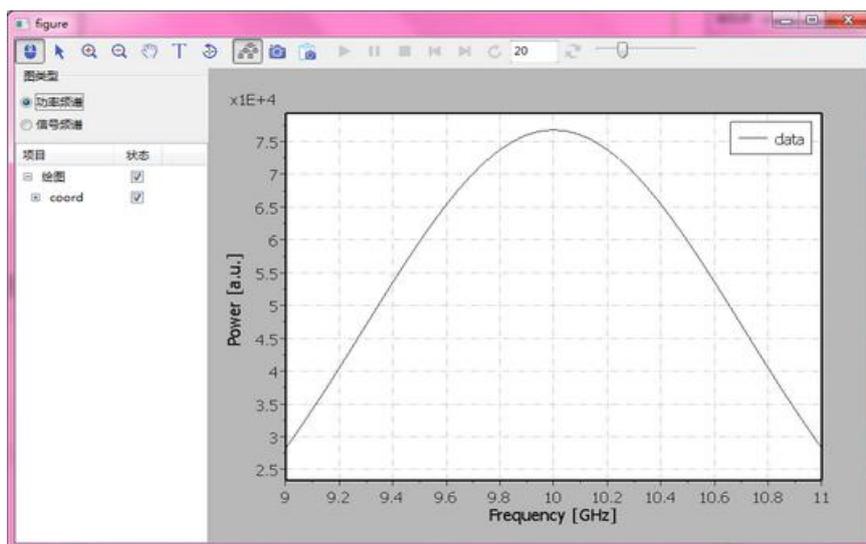


图 5-3-1c 激励源频域分布预览

可以选择左上角的功率频谱/信号频谱显示。

5.3.2. 时域波形

EastWave 支持设定多种时域波形，按照时间函数幅度 $A(t)$ 的不同，EastWave 可以定义八种类型的时域基本光源，包括余弦波、高斯脉冲、上升沿、下降沿、上升下降沿、文件导入波形、自定义波形、双指数函数几种，具体时间特性参数类型描述如下：

1) 余弦波(Cosine Wave)

时域波形的幅度函数 $A(t)$ 为常数 1，则时域信号表达式如下：

$$E(\vec{r}, t) = A(\vec{r}) \cdot A_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{公式 6-3-2}$$



注意事项

公式中 ω 为角频率，在设置窗口中设置的是频率 $f = \omega / 2\pi$ 。

该类型激励源在时域上的分布如下图所示：

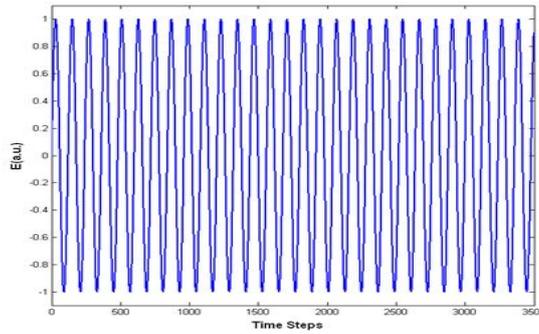


图 5-3-2-1 持续型激励源时域分布图

2) 高斯脉冲(Guass)

高斯脉冲幅度时间函数表达式如下：

$$A(t) = A_0 e^{-\frac{(t-t_0)^2}{W_t^2}} \quad \text{公式 6-3-3}$$

其中： t_0 表示幅度时间函数的中心时间，为最大幅度时刻； W_t 表示幅度从最大值 1 衰减为 $1/e$ 经历的时间，如下图所示：

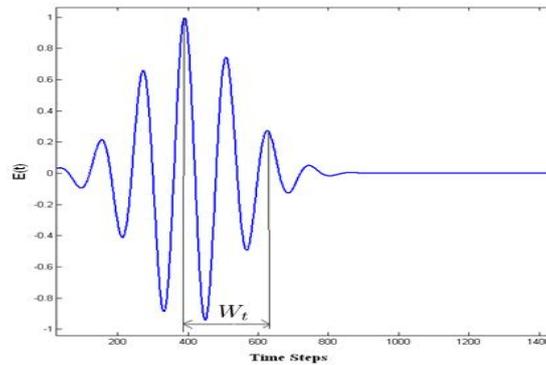


图 5-3-2-2 高斯冲型激励源时域分布图

功率谱最大强度 $|E(f_0)|_{\max}^2$ ，则 $\frac{1}{e} |E(f_0)|_{\max}^2$ 处对应的两个频率 f_2 和 f_1 之差 Δf 定义为波列的频谱宽度，即满足

$$|E(f_1)|^2 = |E(f_2)|^2 = \frac{1}{e} |E(f_0)|^2 \quad \text{公式 6-3-4a}$$

可以得到：

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{\sqrt{2}}{\pi W_t} \quad \text{公式 6-3-4b}$$

高斯脉冲的频域功率谱如下：

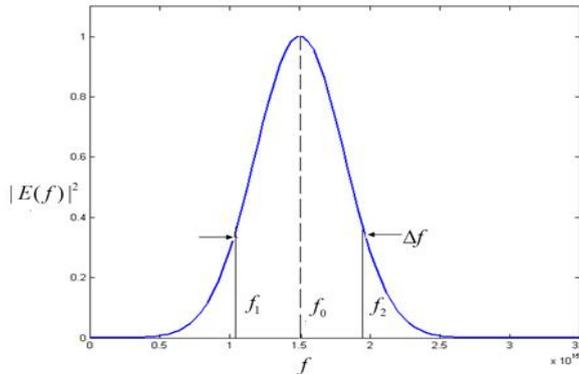


图 5-3-2-3 高斯脉冲型激励源功率谱

各参数含义见表 6-4-2:

表 5-3-2-1 高斯冲型激励源参数说明表

| 参数类型及名称 | | 参数意义 |
|---------|------|-------------------------------------------|
| 全局参数 | 频率 | 指定激励源中心频率（文档频率单位） |
| | 初相位 | 指定激励源初始相位大小，采用角度制 |
| 时域参数 | 中心时间 | 表示幅度函数的脉冲中心时间 t0（文档时间单位） |
| | 半宽时间 | 强度从最大值 1 衰减至 1/e 经历的时间 Wt(文档时间单位) |
| 频域参数 | 最小频率 | 频域功率谱中强度从最大值衰减至最大值的 1/e 所对应频率的较小值（文档频率单位） |
| | 最大频率 | 频域功率谱中强度从最大值衰减至最大值的 1/e 所对应频率的较大值（文档频率单位） |



高斯脉冲设置说明

1. 高斯脉冲提供两种设置方式，一种为时域参数，另一种为频域参数，频域参数中无法存储表达式，只能存放数值，但用户也可以填写表达式，EastWave 会将即时解析的数值设置到脉冲参数中去。
2. 当使用非“自动关联”时间单位功能时，建议用户首选频域参数设置模式，或者先设置好大约的频域参数后切换为时域参数，再对波形进行调整。

3) 上升沿型(Rising Edge)

幅度时间函数在 t1-Wt 与 t1+Wt 之间从 0 渐升至 1.0，然后保持 1.0 状态，表达式如下：

$$A(t) = \begin{cases} 0 & t \leq t_1 - W_t \\ \frac{1}{2} \left(1 + \sin \left(\frac{t - t_1}{2W_t} \pi \right) \right) & t_1 - W_t \leq t \leq t_1 + W_t \\ 1 & t \geq t_1 + W_t \end{cases} \quad \text{公式 6-3-5}$$

其中，t1 表示上升沿开始时间（中心时），Wt 表示上升沿半宽时间，如下图所示：

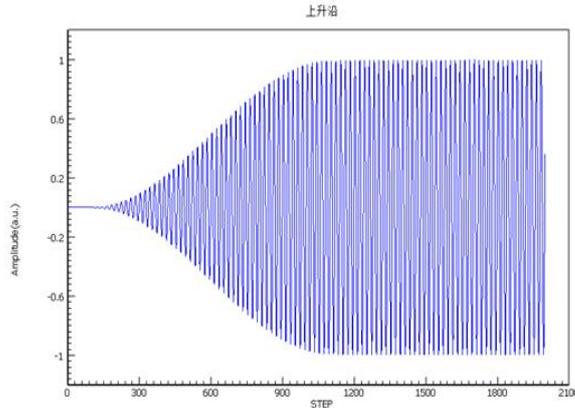


图 5-3-2-4 上升沿型激励源时域信号

参数设置如下图所示：



图 5-3-2-5 外部导入时间（上升沿）函数参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-2-2 外部导入时间（上升沿）函数参数说明表

| 参数名称 | | 参数意义 |
|------|-----|------------------------|
| 全局参数 | 频率 | 指定激励源中心频率 |
| | 初相位 | 指定激励源初始相位大小，单位为度 |
| 时间 | 中心 | 上升沿过程中幅度值等于 0.5 所对应的时间 |
| | 半宽 | 幅度从 0 升至 1.0 所需的时间的一半 |

4) 下降沿型(Falling Edge)

幅度时间函数的初始值为 1，在 $t_2 - W_t$ 与 $t_2 + W_t$ 之间从 1.0 渐降至近似为 0，然后保持 0，表达式如下：

$$A(t) = \begin{cases} 1 & t \leq t_2 - W_t \\ \frac{1}{2} \left(1 - \sin \frac{(t - t_2)\pi}{2W_t} \right) & t_2 - W_t \leq t \leq t_2 + W_t \\ 0 & t \geq t_2 + W_t \end{cases} \quad \text{公式 6-3-6}$$

其中， t_2 对应下降沿开始时间， W_t 对应下降沿半宽时间，如下图所示：

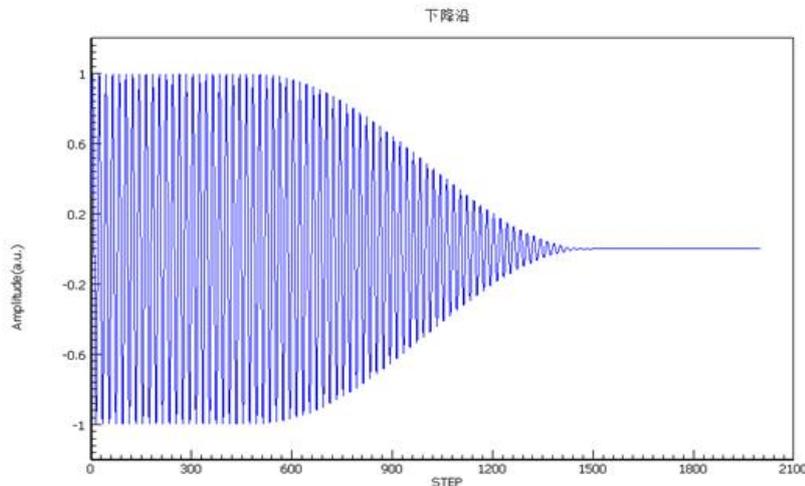


图 5-3-2-6 下降沿型激励源时域分布图



图 5-3-2-7 外部导入（下降沿）时间函数参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-2-3 外部导入（下降沿）时间函数参数说明表

| 参数名称 | | 参数意义 |
|------|-----|------------------------|
| 全局参数 | 频率 | 指定激励源中心频率 |
| | 初相位 | 指定激励源初始相位大小，单位为度 |
| 时间 | 中心 | 下降沿过程中幅度值等于 0.5 所对应的时间 |
| | 半宽 | 幅度从 1 衰减至 0 所需的时间的一半 |

5) 上升下降沿型(Rising-to-Falling Edge)

幅度时间函数初始值为 0, 在 $t_1 - W_t$ 至 $t_1 + W_t$ 之间渐升至 1.0, 保持最大值 1, 一直持续到 $t_2 - W_t$, 然后在 $t_2 - W_t$ 至 $t_2 + W_t$ 之间渐降为 0, 最后保持 0, 表达式如下:

$$A(t) = \begin{cases} 0 & t \leq t_1 - W_t \\ \frac{1 + \sin\left(\frac{t - t_1}{2W_t} \pi\right)}{2} & t_1 - W_t \leq t \leq t_1 + W_t \\ 1 & t_1 + W_t \leq t \leq t_2 - W_t \\ \frac{1 - \sin\left(\frac{t - t_2}{2W_t} \pi\right)}{2} & t_2 - W_t \leq t \leq t_2 + W_t \\ 0 & t \geq t_2 + W_t \end{cases} \quad \text{公式 6-3-7}$$

其中, t_1 表示上升沿开始时间, t_2 对应下降沿开始时间, W_t 对应冲半宽时间, 如下图所示:

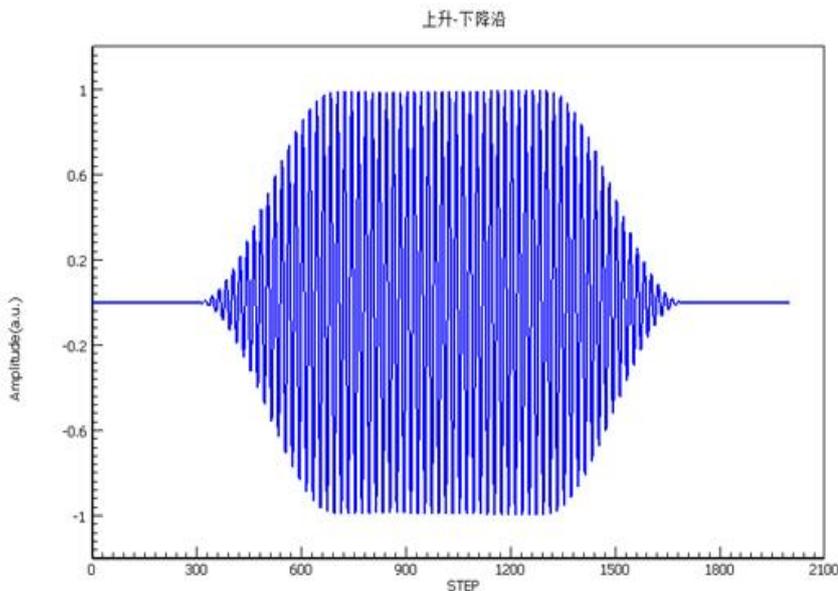


图 5-3-2-8 上升下降沿时域分布图



图 5-3-2-9 上升下降沿时间参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-2-4 上升下降沿时间函数参数说明表

| 参数名称 | | 参数意义 |
|------|-------|------------------------------------------------|
| 全局参数 | 频率 | 指定激励源中心频率 |
| | 初相位 | 指定激励源初始相位大小，单位为度 |
| 时间 | 上升沿中心 | 指定上升沿部分幅度等于 0.5 的时刻 |
| | 下降沿中心 | 指定下降沿部分幅度等于 0.5 的时刻 |
| | 半宽 | 幅度从 0 升至 1.0 所需的时间的一半（等于幅度从 1.0 降至 0 所需的时间的一半） |

6) 导入时域波形数据

EastWave 支持从外部导入各种波形的时间函数，参数设置如下图所示：

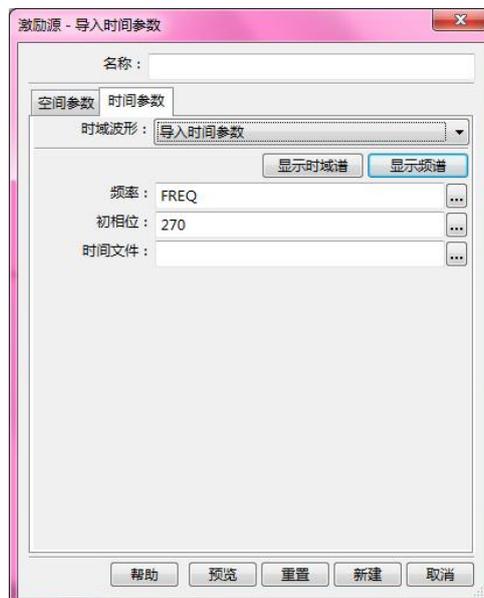


图 5-3-2-10 导入时域波形数据参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-2-5 导入时域波形数据参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 全局参数 | 频率 | 指定激励源中心频率 |
| | 初相位 | 指定激励源初始相位大小，单位为角度制 |
| 开始时间 | 指定脉冲起始时刻 | |
| 数据文件 | 根据所需要的时间函数导入波形，数据内容为文本文件，包括两列：第一列为物理时间（按工程文档单位，对于电磁波领域建议为 ns，光电为 ps），第二列为场强（实数）。 | |

例：导入如下函数的波形：

$$E(t) = u(t) \sin(\omega t) \quad \text{公式 6-3-8a}$$

$$u(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ \frac{1 - \cos\left(\frac{t}{\tau} \pi\right)}{2} & 0 \leq t \leq \tau \\ 1 & t \geq \tau \end{cases} \quad \text{公式 6-3-8b}$$

假定，我们的工程文档试用纳秒（1ns = 1E-9s）为时间单位，选用的载波频率设定为 2.5GHz：先在 Matlab 里面生成一系列时间 t 和一系列幅值 u，Matlab 脚本如下：

```
tau = 5;
tmax = 10;
dt = 0.01;
t1 = 0:dt:tau;
u1 = (1-cos(t1/tau * pi))/2;
t2 = (tau+dt):dt:tmax;
u2 = ones(1, length(t2));
t = [t1, t2];
u = [u1, u2];
data = [t;u]'; // 合并为两行，然后转置为两列
plot(t,u); // 绘图
save -ascii 'source.txt' 'data' // 将结果保存至文件 source.txt
```

在激励源对话框中设定该文件，打开预览窗口，选择“时域信号（按物理时间）”显示时域波形。结果显示如下。

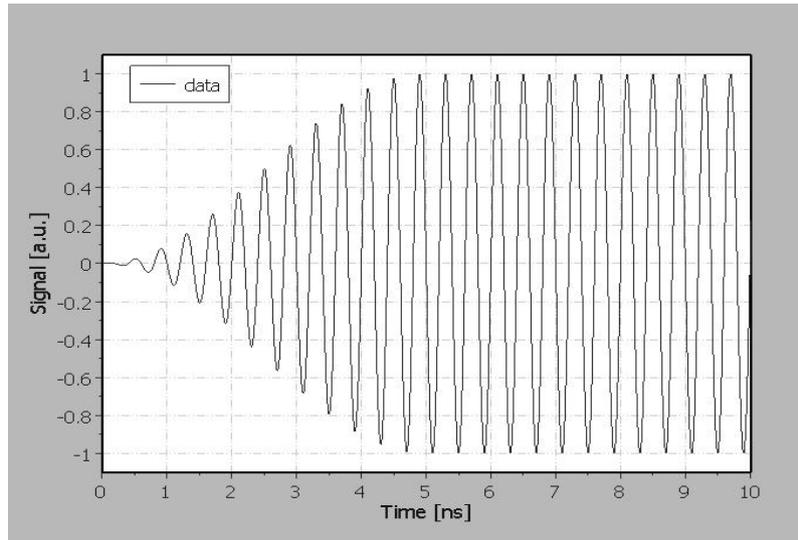


图 5-3-2-11 导入波形文件示意



注意：

1. 从 EastWave 5.1 开始支持按照物理时间单位进行输入数据，这与老版本有所不同。
2. 对于工程用户，强烈建议使用纳秒等工程常见单位作为文档单位。
3. 激励源显示区域的范围（最大时间）是有网格设置中的最大时间步和最大物理时间决定的。

7) 自定义函数

自定义型幅度时间函数表达式如下：

$$A = s(t)$$

公式 6-3-9

$s(t)$ 为关于时间的任意函数，在书写表达式使用内置变量 $_t$ 替代 t ，单位为文档时间单位。



功能提示

1. EastWave 5.1 支持用户自定义脚本函数，请参阅帮助文件中的《EastWave 5.1 脚本语言说明文档》。
2. 如果导入或者生成的波形不需要载波，只需要将频率设为 0，相位设为 0 即可。

8) 双指数函数

双指数函数时间函数表达式如下：

$$A(t) = A_0(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

公式 6-3-10

其中 α 和 β 单位固定为 s^{-1} （和工程所设定的时间单位无关）， A_0 为幅度因子（在“空间分布”中设置）。双指数脉冲常用于雷电电磁脉冲的研究，对应 GJB-1389(2005)：分量 A（初始雷

击)的波形参数取值为: $\alpha = 11354$, $\beta = 647265$, $A_0 = 218810$; 分量 D (再击)的波形参数取值为: $\alpha = 22708$, $\beta = 1294530$, $A_0 = 109405$ 。(若使用该量级的数值,建议将工程的时间单位设置为“秒”,并将网格设置为三维智能网格。)

5.3.3. 空间分布

空间分布是指定激励源的位置以及激励区域的空间分布。

5.3.3.1. 导入口面场数据

可根据需要导入某一截面处的激励源的相应偏振分量的幅值和位相,来实现常见口面场导入。导入场数组的大小与网格无直接关系,EastWave 会针对口面所占据的物理区域进行离散化和插值采样。

下面通过导入矩形波导中的 TE₁₀ 模式激励源来介绍具体使用方法:

例:根据矩形波导中 TE 型导波的波形 TE_{m,n} 场。

$$\text{TE}_{m,n} \begin{cases} H_x = -ihA \frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{i(kz - \omega t)} \\ H_y = -ihA \frac{m\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{i(kz - \omega t)} \\ H_z = Ak_z^2 \frac{m\pi}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{i(kz - \omega t)} \\ E_x = i\omega\mu A \frac{n\pi}{b} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{i(kz - \omega t)} \\ E_y = -i\omega\mu A \frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{i(kz - \omega t)} \\ E_z = 0 \end{cases} \quad \text{公式 6-3-10}$$

利用 Matlab 计算 TE₁₀ 模式的面幅度和相位信息,处理脚本如下所示:

```

%% 生成幅度信息
cc;clear
epsin=8.854e-12
miu=12.566e-7
Z0=sqrt(miu/epsin)
f=1e15 %
设定频率
lamda=3e8/f
ksour=2*pi/lamda
w=2*pi*f
for x=1:1:20 % 生成导入截面 x 方向的宽度
    for y=1:1:20 % 生成导入截面 y 方向的宽度
        a=20 % 定义导入截面的宽度,在此设定
x,y 方向上的宽度皆为 20
        wc=pi/sqrt(epsin*miu)/a/1e-8 % 截止波长,1e-8 为
长度单位
        kc=sqrt(epsin*miu)*wc
        h=sqrt(miu*epsin)*w*sqrt(1-(wc/w)^2)
        Hx(y,x)=-h*pi/a/1e-8*sin(pi*x./a)*Z0
        Hz(y,x)=kc*kc*cos(pi*(x+0.5)./a)*Z0
        Ey(y,x)=-w*miu*pi/a/1e-8*sin(pi*x./a)

```

```

end

end
save -ascii Hx.txt Hxy
save -ascii Hz.txt Hzy
save -ascii Ey.txt Eyy
% 生成相位信息
a=20;
for x=1:1:20
    for y=1:1:20
        hx_phase(x,y)=-90
        ey_phase(x,y)=-90
        hz_phase(x,y)=0
    end
end
save -ascii hz_phase.txt hz_phase
save -ascii hx_phase.txt hx_phase
save -ascii ey_phase.txt ey_phase
    
```

将生成的 Ey、Hx、Hz 个分量对应的相位和幅度信息——导入到 EastWave 中。导入方式如下图所示：

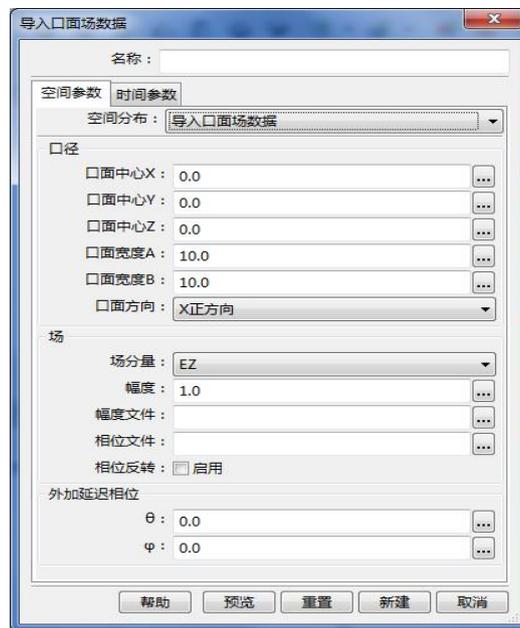


图 5-3-3-1 导入口面场数据参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-3-1 导入口面场数据参数设置

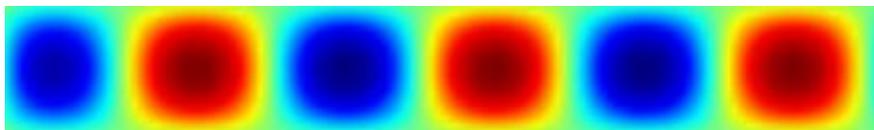
| 参数名称 | 参数意义 |
|------|----------------|
| 中心位置 | 指定激励源中心的空间位置坐标 |

| | |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 口面宽度 | 宽度 A 指口面方向下一个轴(按 X-Y-Z-X 顺序)方向上的长度大小; |
| | 宽度 B 指口面方向下一个轴(按 X-Y-Z-X 顺序)方向上的长度大小。 |
| 口面方向 | 指定口面方向 |
| θ, ϕ | 指定斜出射时的方向 (球坐标)。当导入口面场的相位为 0 时, 则该参数可以完全决定主瓣方向。 |
| | 该参数通过延时的方式来控制波形在空间中的传播, 可以模拟天线阵列的近场情形。 |
| 场分量 | 指定场分量 |
| 幅度 | 指定光源及截面光场文件导入情况下电场强度在光源振动方向上的分量。指定激励源中心位置振动的峰值大小, 对应于公式中的 A_0 , 单位 V/m。 |

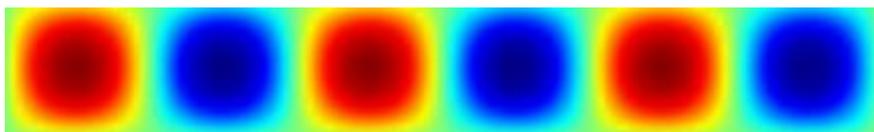
同样方法导入 H_x 、 H_z 分量, 最终得到的模式激励源中的矩形波导 TE₁₀ 模式如下图所示:



(a) H_z 分量实时场



(b) H_x 分量实时场



(c) E_y 分量实时场

图 5-3-3-2 TE₁₀ 波各分量实时场



注意事项

在 FDTD 算法中, 相位的符号跟随时域信号的约定, 即:

$$s(t) = \cos(\omega t + \varphi_t)$$

而在记录场数据时, 使用了空间分布的信号约定, 即:

$$s(\vec{r}) = e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi_s)}$$

两者的约定恰好相反。如果用户用记录出的场数据的相位来定义激励源的相位时, 需要对相位进行反号。

(新版中在时域信号一栏中会增加相位是否相反的提示和选择框。)

5.3.3.2. 平面波

对于研究散射体问题，常采用平面波入射方式激励体系，在 FDTD 算法中使用总场散射场技术模拟平面波在有限空间内的传播行为：对于所设置的区域内，为总场区，即入射场和散射场之和；在总场边界和吸收边界之间为散射场区，在散射场区则仅为散射场。该激励源可以实现各方向入射的平面波，平面波激励源参数设置如下图所示：

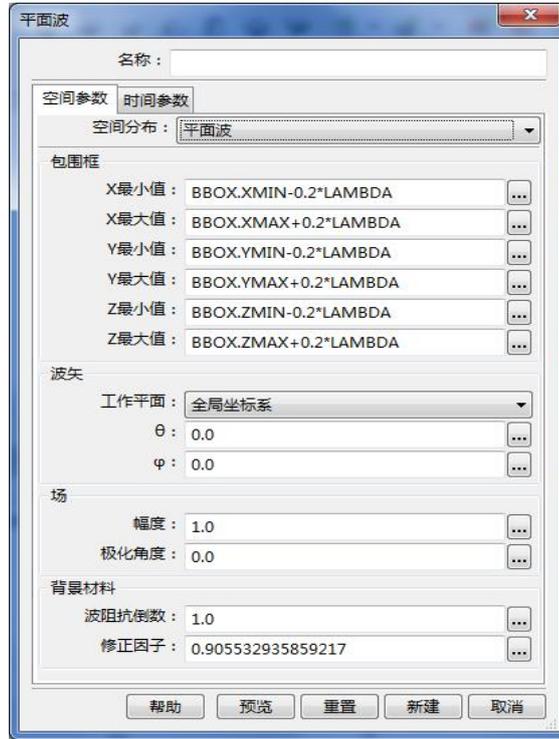


图 5-3-3-1 平面波参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-3-2 平面波参数说明

| 参数名称 | 参数意义 |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 坐标 (X, Y, Z) | 指定激励源在 X、Y、Z 方向上的边界，即给出了总场区的范围 |
| θ, ϕ | 确定波矢量的方向： k θ ：指定激励源出射方向与 Z 轴的夹角 ϕ ：指定激励源出射方向在 XOY 面上的投影与 X 轴的夹角 |
| 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ 、 ϕ 和极化角度 |
| 极化角度 | 波矢量和两个典型极化分量按 (k, e_θ, e_ϕ) 构成右手坐标系，极化角表示，两个典型极化分量张成的平面内，极化矢量（电矢量）从 e_θ 开始，绕 k 逆时针旋转的角度。 |

| | |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 幅度 | 指定光源及截面光场文件导入情况下电场强度在光源振动方向上的分量。指定激励源中心位置振动的峰值大小，对应于公式中的 A_0 ，单位 V/m。 |
| 阻抗倒数 | 用于实现入射光源阻抗匹配，大小为光源位置处介质的阻抗的倒数 μ 为材料的相对磁导率， ϵ 为材料的相对介电常数。 $1/Z = \sqrt{\epsilon/\mu}$ |
| 修正因子 | 修正 FDTD 数值色散。一般采用默认即可，默认值为 0.905533。 |

平面波主要参数和分量所处球坐标如下图所示：

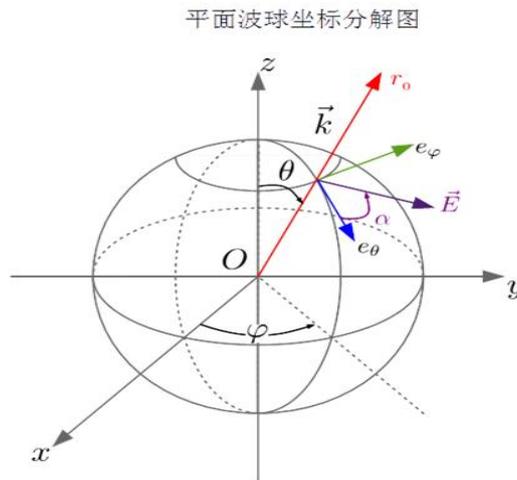


图 5-3-3-3 平面波球坐标示意图

上图中 e_θ 和 e_ϕ 表示出射波的两个偏振分量，其中 θ 分量与出射波矢量 \vec{k} 对应经线相切，而 ϕ 分量与纬线相切，且 $\{\theta, \phi, \vec{k}\}$ 满足右手坐标关系。其中 \vec{E} 是线偏振模式的电场分量， α 是极化角（也称偏振角）。注意：当 $(\theta, \phi) = (0, 0)$ 时，两个偏振分量的方向分别和 x 和 y 对齐（在用户定义的局部坐标系下的 x 和 y ）， (θ, ϕ) 变化时相当于对整个 $\{\theta, \phi, \vec{k}\}$ 坐标系进行了相应的刚性转动。

某种总场散射场激励源场分布如下图所示：

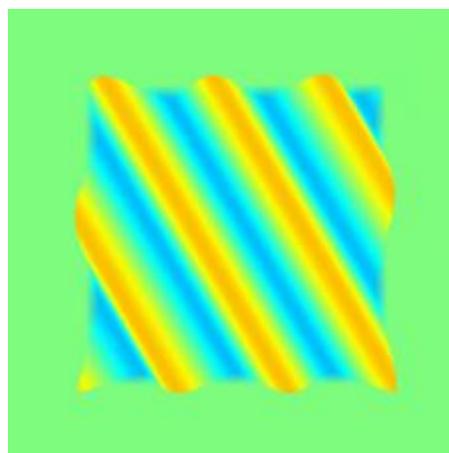


图 5-3-3-4 平面波

5.3.3.3. 基模高斯波束

2D 高斯光束的表达式

在 y-z 平面内，沿 z 方向传播基模高斯光束表达式：

$$E(y, z) = E_0 \cdot \sqrt{\frac{W_0}{W}} \cdot e^{\left(-\frac{y^2}{W^2} \right) + i \left[k \left(z + \frac{y^2}{2R} \right) - \arctan \frac{z}{L_R} \right]} \quad \text{公式 6-3-11a}$$

其中 E_0 为高斯光束束腰中心处的幅度， W_0 为束腰半径， z 为距离束腰的距离，其他参数定义如下：

$$\begin{aligned} L_R &= \frac{\pi W_0^2}{\lambda} \\ R &= z + \frac{L_R^2}{z} \\ W &= W_0 \left(1 + \frac{4z^2}{k^2 W_0^4} \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad \text{公式 6-3-11b}$$

n3D 高斯光束的表达式

假设沿 z 方向传播：

$$E(r, z) = \frac{E_0}{W} e^{\left(-\frac{r^2}{W^2} \right) + i \left[k \left(z + \frac{r^2}{2R} \right) - \arctan \frac{z}{L_R} \right]} \quad \text{公式 6-3-12a}$$

其中 E_0 为高斯光束束腰中心处的幅度， z 为口面距离束腰的距离，其他符号参数定义如下：

$$\begin{aligned} r^2 &= x^2 + y^2 \\ k &= \frac{2\pi}{\lambda} \\ L_R &= \frac{\pi W_0^2}{\lambda} \\ R &= z + \frac{L_R^2}{z} \\ W &= W_0 \left(1 + \frac{4z^2}{k^2 W_0^4} \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad \text{公式 6-3-12b}$$

其中 W_0 为束腰半径。 L_R 为高斯光束的共焦参数或瑞利长度； R 为与传播轴线相交于 z 点的高斯光束等相位面的曲率半径； W 是与传播轴线相交于 z 点的高斯光束等相位面上的光斑半径。基膜高斯光束参数设置如下图所示：



图 5-3-3-1 基膜高斯光束参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-3-1 基膜高斯波束参数说明

| 参数名称 | 参数意义 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 中心位置 | 指定基膜高斯波束的空间位置坐标 |
| 口面方向 | 指定口面方向 |
| 1/Wa, 1/Wb | 指定光源的空间大小，假设口面方向为 X 轴，按照 X→Y→Z→X 轮换，变量表示含义如下： Wa: 相应下一个轴（即 y 轴）的方向上光强度从最大值变为其 1/e 时所对应的空间宽度； Wb: y 轴下一个轴（z 轴）方向上的相应的宽度； 备注：建议按照倒数形式输入，如 Wa=10，在输入框中写“1.0/10”可以避免错误和混淆。 |
| 束腰位置 | 指定高斯波束腰部和口面的距离 |
| 极化角度 | 指定电矢量 \vec{E} 的振动方向与入射轴下一轴的夹角，单位为度。 例如：入射方向沿 X 轴方向，则偏振角度指电矢量的振动方向和 Y 轴的夹角。 |
| 幅度 | 指定光源及截面光场文件导入情况下电场强度在光源振动方向上的分量。指定激励源中心位置振动的峰值大小，对应于时域波形公式中的 A0，单位 V/m。 |
| 阻抗倒数 | 用于实现入射光源阻抗匹配，大小为光源位置处介质的阻抗的倒数 $1/Z = \sqrt{\epsilon/\mu}$ ， μ 为材料的相对磁导率， ϵ 为材料的相对介电常数。 |
| 类型 | 2D / 3D |



注意事项

- 二维情况下需要将其中一个方向指定为无限大，不考虑这个方向，即将该方向上空间宽度的倒数设为 0。软件内部会在指定某个方向上束腰半径宽度的倒数时，将另一个束腰半径宽度的倒数自动设为 0；
- 频率不能为 0；
- 为了模拟更真实基膜高斯光束，在条件允许的情况下，尽可能增加垂直激励源入射轴方向上的计算区域大小。

基膜高斯光束实时场与幅度分布如下图所示：

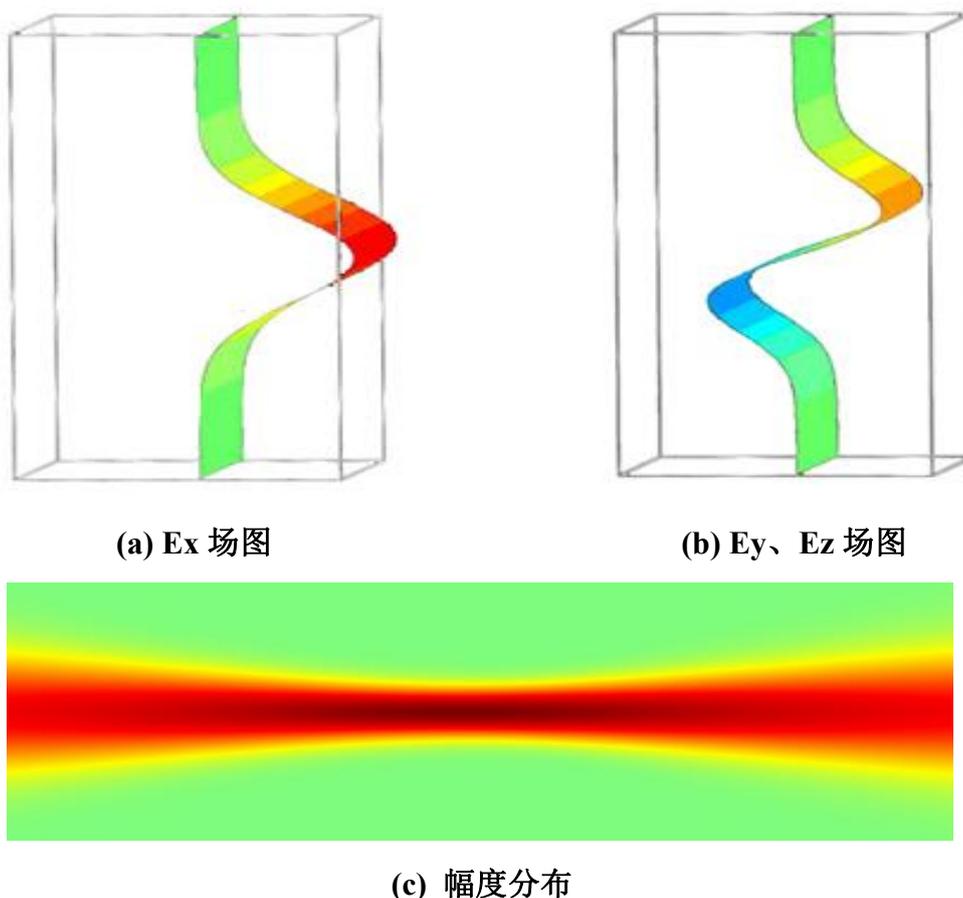


图 5-3-3-2 2D 基膜高斯光束的空间幅度分布

5.3.3.4. 扩展激励源（高斯窗）

平面扩展激励源的空间分布函数 $A(\vec{r})$ 为高斯型，假定入射方向沿 z 方向，激励源的中心位置坐标为 $(0, 0, z_0)$ ，则 $A(\vec{r})$ 的具体表达式如下：

$$A(x, y, z_0) = e^{-\left(\frac{x^2}{w_a^2} + \frac{y^2}{w_b^2}\right)} \quad \text{公式 6-3-13}$$

其中 W_a 和 W_b 分别表示相应方向上光强度从最大值变为其 $1/e$ 时所对应的空间宽度，平面扩展激励源参数设置如下图所示：



图 5-3-3-3-1 扩展激励源（高斯窗）参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-3-3-1 扩展激励源（高斯窗）参数说明表

| 参数名称 | 参数意义 |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 中心位置 | 指定扩展激励源（高斯窗）的中心位置 |
| 口面方向（入射轴） | 指定口面方向（入射轴），该方向垂直于口面所在平面。 |
| θ, ϕ | θ ：出射方向和出射轴之间的夹角； ϕ ：出射方向在垂直于出射轴平面上的投影与出射轴下一个轴之间的夹角； |
| $1/W_a, 1/W_b$ | 指定口面大小，假设入射轴为 X 轴，按照 X→Y→Z→X 轮换，变量表示含义如下： W_a ：相应的下一个轴（即 y 轴）的方向上光强度从最大值变为其 $1/e$ 时所对应的空间宽度； W_b ：y 轴下一个轴（z 轴）方向上的相应的宽度； 备注： $1/W_a, 1/W_b$ 表示相应的倒数形式。 |
| 极化角度 | 指定电矢量 E 的振动方向与入射轴下一轴的夹角，单位为度。 例如：入射方向沿 X 轴方向，则偏振角度指电矢量的振动方向和 Y 轴的夹角。 |
| 幅度 | 指定光源及截面光场文件导入情况下电场强度在光源振动方向上的分量。指定激励源中心位置振动的峰值大小，对应于公式中的 A_0 ，单位 V/m。该单位与文档中的长度单位无关。 |
| 阻抗倒数 | 用于实现入射光源阻抗匹配，大小为光源位置处介质的波 |

阻抗的倒数 $1/Z = \sqrt{\epsilon/\mu}$ ， μ 为材料的相对磁导率， ϵ 为材料的相对介电常数。

高斯窗球坐标各参数定义如下：

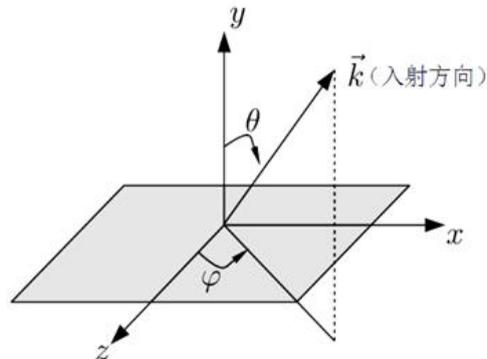
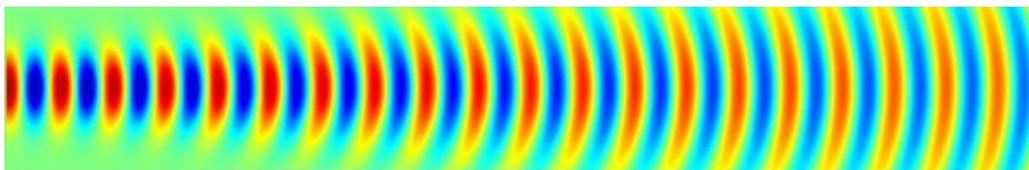
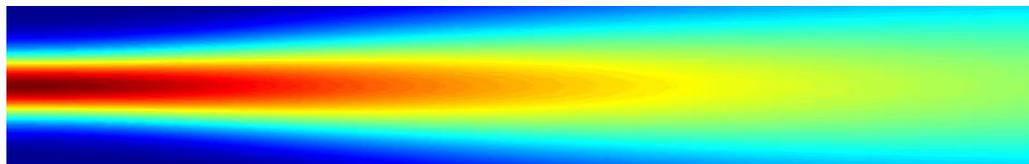


图 5-3-3-2 高斯窗球坐标示意图（入射轴为 y 轴）

空间强度高斯型分布的激励源，发射的光束为高斯光束，其在自由空间传输时某一时刻的瞬时空间场分布和幅度分布分别如下图所示：



(a) 高斯光束瞬时空间场分布



(b) 高斯光束空间幅度分布

图 5-3-3-3 高斯光束场分布和幅度分布

在空间中纵向的归一化场幅分布形式如下图所示：

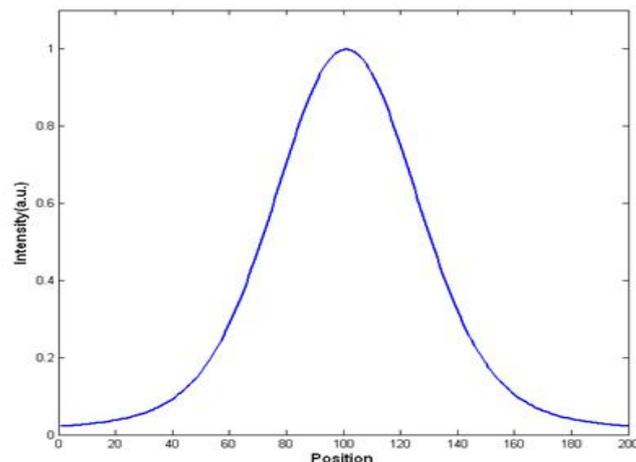


图 5-3-3-4 归一化场幅分布

5.3.3.5. 线（点）源

假定线激励源入射轴为 z 轴，即线激励源振动方向为 z 轴；激励源的中心位置为(x0, y0, 0) 则激励源场值分布函数的表达式为：

$$A(x_0, y_0, z) = e^{-\frac{z^2}{W_c^2}} \quad \text{公式 6-3-14}$$

其中 W_c 表示空间扩展长度。

线激励源参数设定界面如下图所示：

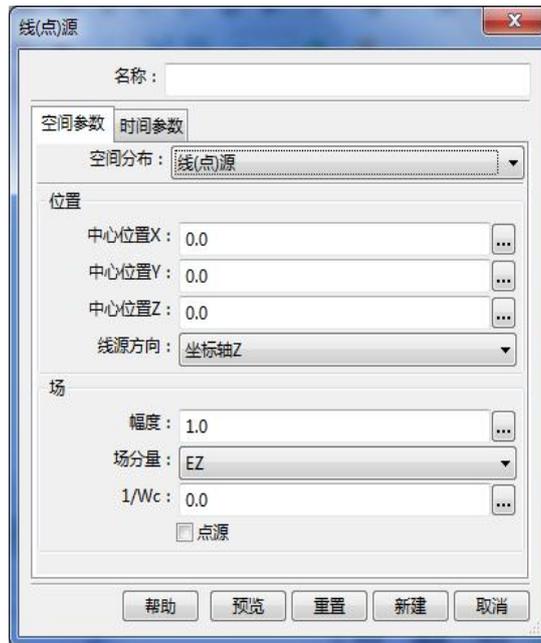


图 5-3-3-5-1 线(点)激励源参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-3-5-1 线（点）源参数说明表：

| 参数名称 | 参数意义 |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|
| 中心位置 | 指定光源的空间位置 |
| 线源方向 | 指定线源方向 |
| 幅度 | 指定偶极光源及截面光场文件导入情况下电场强度在光源振动方向上的分量。指定激励源中心位置振动的峰值大小，对应于公式中的 A_0 ，单位 V/m。 |
| 场分量 | 指定电场方向 备注：通常线源方向和场分量方向是同向。 |
| W_c | 指定线方向上的空间扩展长度。 |

线激励源在二维平面内即为一个点激励源，线（点）激励源瞬时空间场分布如下图所示：

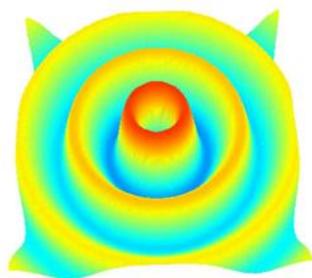


图 5-3-3-5-2 线(点)激励源时场分布图

5.3.3.6. 等效同轴波导

等效同轴波导原理和同轴波导相同，当同轴波导内外径小于一个网格时需要使用等效同轴波导。等效同轴波导参数设置如下图所示：



图 5-3-3-6-1 等效同轴波导参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-3-6-1 等效同轴波导参数说明表：

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|---------------|---------------------|-----------------------|
| 中心位置 | 指定同轴波导中心位置坐标 | |
| 轴线方向 | 指定同轴波导的轴线方向 | 见同轴波导 |
| 幅度 | 指定同轴波导的幅度 | |
| 直径 | 外径 | 指定同轴波导外圆柱直径大小 |
| | 内径 | 指定同轴波导内圆柱直径大小 |
| 背景 ϵ | 指定同轴波导所在背景材料的相对介电常数 | 注意：内外径必须小于一个网格，否则会发散。 |

5.3.3.7. 波端口

波端口常用于模拟波导馈端。通常在波导腔结构中设置一个波端口用于将电磁波能量馈出。目前 EastWave 提供矩形波端口、同轴波端口、圆形波导和吸收端口四种。

特别的矩形波端口对应波导存在一个宽度 A 和一个高度 B,通常矩形波导的宽度 A 大于高度 B。波端口口面按照一个特定的局部坐标系描述，如下图所示：

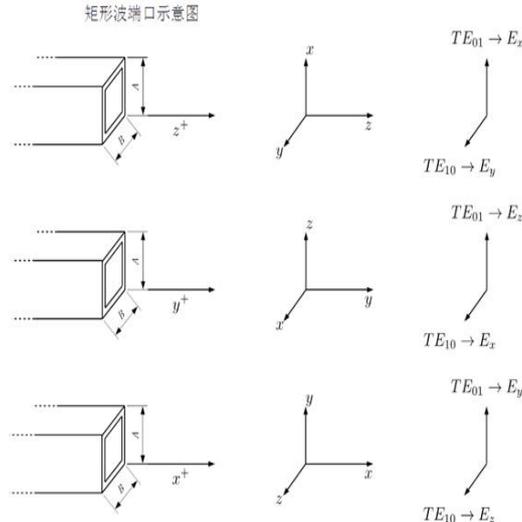


图 5-3-3-7-1 波端口坐标系示意图



注意事项

“波端口”激励源支持 AR 自适应扩展时间步功能。

波端口参数设置如下图所示：



图 5-3-3-7-2 波端口参数设置

各参数意义见下表：

表 5-3-3-7-1 波端口参数说明表

| 参数名称 | | 参数意义 | 备注 | |
|------|------|---------------|-------------------------------|---------------|
| 中心位置 | | 指定波端口的中心位置 | | |
| 端口宽度 | | 指定波端口两个方向上的宽度 | | |
| 端口方向 | | 指定激励源发射方向 | | |
| PML | 类型 | 指定吸收边界 | | |
| | 层数 | 指定吸收边界层数 | 详见边界条件 | |
| 端口类型 | 吸收端口 | | 匹配吸收，相当于吸收边界 | |
| | 矩形波导 | 类型 | 选择 TE 模式或 TM 模式 | 端口类型为矩形波导时适用 |
| | | 模式数 A | 指定波导模式为 TE_{AB} 或 TM_{AB} | |
| | | 模式数 B | | |
| | | 幅度 | 指定激励源的幅度 | |
| | 圆形波导 | 类型 | 选择 TE 模式或 TM 模式 | |
| | | 模式数 A | 指定波导模式为 TE_{AB} 或 TM_{AB} | |
| | | 模式数 B | | |
| | | 幅度 | 指定激励源的幅度 | |
| | 同轴波导 | 外直径 | 指定同轴波导的外圈直径 | 波导内径必须大于一个网格。 |
| | | 内直径 | 指定同轴波导的内圈直径 | |
| | | 幅度 | 指定激励源的幅度 | |

表 5-3-3-7-2 波端口结果说明

| 一级节点 | 数据类型 | 物理意义 | 单位 |
|------|------|----------------------|-----|
| I | 数组 | 端口接收到的电流（时域） | A |
| dI | 数组 | 端口截面处的电流沿端口方向的导数（时域） | A/m |

| | | | |
|-----------|-----|-----------------------------|-----|
| U | 数组 | 端口接收到的电压（时域） | V |
| dU | 数组 | 端口截面处的电压沿端口方向的导数（时域） | V/m |
| isfwd | 布尔值 | 端口朝向是否是正方向 | |
| data | 数组 | 原始激励信号 | |
| frequency | 数组 | 由总物理时间和仿真步数决定的 Fourier 频率序列 | Hz |
| S11 | 图 | 端口反射系数 | |
| VSWR | 图 | 驻波比 | |
| S11_data | 数组 | 端口反射系数数据 | |



注意事项

1. 波端口通常必须设置在口面尺寸吻合的波导模型（物体）中，并且会在入射方向的反方向形成一个半无限大的吸收区域，用户可以设定该区域的等效 PML 层的类型和层数。
2. 在一些场区可以使用吸收端口作为局部吸收层，但注意吸收端口会对通过该口面两个方向的电磁波均产生吸收。
3. 波端口通常使用“阻抗匹配吸收边界”。

5.3.3.8. 集总端口

集总端口物理模型图如下：

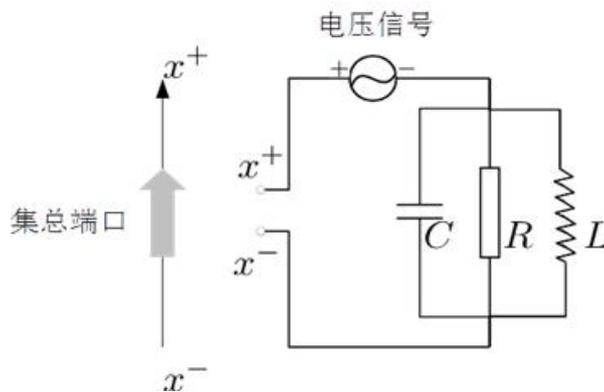


图 5-3-3-8-1 集总端口模型



注意事项

“集总端口”激励源支持 AR 自适应扩展时间步功能。集总端口朝向为全局坐标轴正方向（负指向正），例如一个朝向 x 轴正方向发射的正电压信号的时候，端口会在端口上馈出一个正的 E_x 值；反之，如果外场输入一个 E_x 为负值，则集总端口接收到的电压信号为负。

集总端口参数设置窗口如下图所示：



图 5-3-3-8-2 集总端口参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-3-8-1 集总端口参数说明

| 参数名称 | | 参数意义 | 备注 |
|------|------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 中心位置 | | 指定集总端口的中心位置 | |
| 端口方向 | | 指定集总端口的电压方向 | |
| 幅度 | | 指定集总端口的幅度 | |
| RCL | 电阻 (R) | 指定集总端口中电阻大小 | 一组并联的电阻、电感和电容组成的表面。这种仿真类似于阻抗边界。软件利用用户提供的 R、L 和 C 值计算出以 Ω 为单位的阻抗值，该单位与文档设置的空间长度单位无关。 |
| | 电容 (C) | 指定集总端口中电容大小 | |
| | 电感 (L) | 指定集总端口中电感大小 | |
| 背景 | ϵ | 指定集总端口所在位置处介质的相对介电常数 | |

| | | | |
|----|------------|-----------------------------------|--------|
| | σ_e | 指定集总端口所在位置处介质的相对电导率 | |
| 记录 | 保存时域结果 | 选择是否保存时域结果 | |
| | 保存频域结果 | 选择是否保存频域结果 | |
| | | 设置要保存哪些频率的结果，仅在“保存频域结果”启动时有效 | |
| | 网格控制 | 如果勾选“启用强制网格位置”，则在集总端口位置会有强制网格面通过。 | |
| | 频率序列 | 默认参数“all”，表示保存所有频率的结果 | 文档频率单位 |

计算完成时将同时给出 S11、VSWR 值。

频域结果如下：

表 5-3-3-8-2 集总端口结果说明

| 一级节点 | 数据类型 | 含义 |
|------|------|---------|
| Z | 曲线图 | 端口的阻抗 |
| S11 | 曲线图 | S11 |
| VSWR | 曲线图 | VSWR |
| Ps | 曲线图 | 端口的输入功率 |
| Pin | 曲线图 | 端口的输出功率 |

5.3.3.9. 馈线



图 5-3-3-9-1 集总端口（带连接线）参数设置

建立一个斜置的细导线，并添加一个集总端口（可选）。选中“集总端口”后在导线中间添加一个集总端口，集总端口的电路参数在右侧设置。

可以选择界面交互采集点的方式设置点的参数。参见 6.4.5 采集位置点。

参数参见 集总端口。

5.3.3.10. 馈源阵列

EastWave 为天线阵列用户提供了用于天线阵激励的馈源阵列，可用天线阵方向图和 RCS 的仿真中的快速设置。该激励源功能可以使指定的基源绑定到指定阵列创建馈源阵列。馈源阵列包括两种生成方式：1) 固定角度扫描频率。2) 固定频率扫描角度。



图 5-3-3-10-1 馈源阵列参数设置

表 5-3-3-10-1 馈源阵列参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 固定角度扫描频率 | 工作平面：设置扫描角度的工作平面 | |
| | θ ：出射方向和出射轴之间的夹角 ϕ ：出射方向在垂直于出射轴平面上的投影与出射轴下一个轴之间的夹角 | |
| 固定频率扫描角度 | 工作平面：设置扫描角度的工作平面 | |
| | θ ：出射方向和出射轴之间的夹角 ϕ ：出射方向在垂直于出射轴平面上的投影与出射轴下一个轴之间的夹角 | |
| | 频率：填写单个频率 | |
| 绑定阵列名 | 馈源绑定的阵列（物体）名称 | |
| 基源 | 天线阵列以“参考天线单元”进行周期扩展，计算模式根据“参考天线单元”的扩展方式对基源进行扩展，实现对整个天线阵列的馈电。设置“基源”适合正确给“参考天线单元”馈电即可。 | |
| 阵列幅度分布 | <p>设置阵列的幅度分布</p> <p>通过参数表达式的形式生成各个单元馈源的幅度。参数表达式将各个馈源的具体位置（$_x$、$_y$、$_z$，单位为文档长度单位）作为参量，解析后得到幅度值。如：</p> <p>1) 设置表达式为“1.0”，则幅度与位置无关，各个馈源幅度均等。</p> <p>2) 设置表达式为“$_x^2$”，则位于(0,0,0)处的馈源的幅度为0，位于(2,0,0)处的馈源的幅度为4。</p> <p>3) $\text{select}(_x < 0, +1, -1)$表示 $X < 0$ 部分幅度因子为1，$X > 0$ 部分为-1，此函数可实现 X 方向的差波束。</p> | |



注意事项

1. 馈源阵列和物体阵列绑定时，每个馈源绑定的是阵列元胞的局部坐标系，因

此会跟随阵列整体的旋转、位移而发生变化。

2. 受到 License 限制，部分用户无法使用固定频率扫角度的馈源阵列，如需使用请联系我们。

5.3.3.11. 口径场

口径场常用于简化/等效的仿真天线/天线阵的辐射，用强度分布接近的口径场代替复杂天线（阵）结构的辐射，以减小计算量。

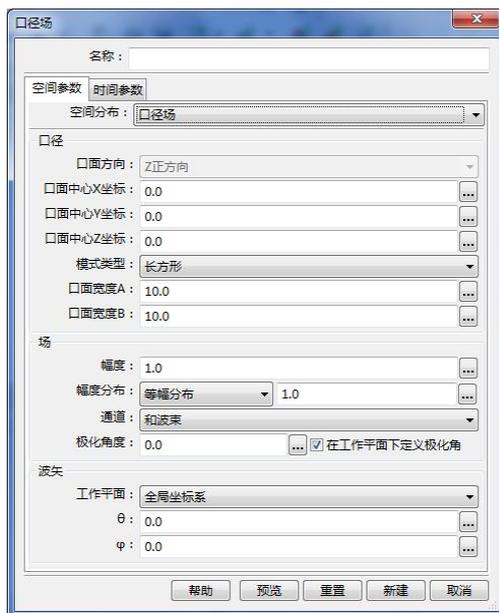


图 5-3-3-11-1 口径场参数设置

各参数含义见下表：

表 5-3-3-11-1 口径场参数设置

| 输入项 | | 说明 | 备注 |
|--------|----------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| 中心位置 | | 口面中心的 X、Y、Z 坐标。 | |
| 模式类型 | | 设置口面形状 | |
| 口面宽度 | | 口面的宽度。口面形状为长方形时，为两方向边长；口面形状为圆形时，为两方向的直径。 | |
| 口面方向 | | 口面朝向，已锁定为 Z 正方向。 | |
| 幅度 | | 作用于整个口面的幅度因子。 | |
| 口面幅度分布 | 等幅分布 | 口面上各点电场幅度值相等，默认为 1。 | |
| | 导入二维幅度文件 | 导入二维幅度分布文件，文件格式为二维数组： | 文件格式示例： A(1, 1) A(2, 1) |

| | | | |
|-------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>1. 每一列对应一个 X 坐标，随列序号增加对应 X 坐标增加，行对应 Y 方向；</p> <p>2. 数据映射：第一列（行）数据映射到口面 X（Y）最小坐标，最后一列（行）数据映射到口面 X（Y）最大坐标；</p> <p>3. 数组元素的值对应相应坐标的幅度值，按灰度显示相对幅度，黑色对应幅度值最大。</p> | <p>A(3, 1) ...</p> <p>A(1, 2) A(2, 2)</p> <p>A(3, 2) ...</p> <p>A(1, 3) A(2, 3)</p> <p>A(3, 3) ...</p> <p>...</p> <p>A(X, Y)</p> <p>注：文本文件编码格式为 ANSI。</p> <p>对非正方形口面，可设置一个正方形口面完整覆盖目标口面，并将多余区域的幅值设置为 0。</p> |
| | 导入坐标幅度文件 | <p>导入坐标幅度分布文件，文件格式：</p> <p>1. 第一列为 X 坐标，第二列为 Y 坐标，第三列为对应坐标 [X, Y] 的幅度值；</p> <p>2. 坐标值 [X, Y] 应在以“口面宽度”为边长的正方形区域内，超出该区域的坐标对应幅值被忽略，未设置幅度或幅度为 0 的坐标为空气；</p> <p>3. 数组元素的值对应相应坐标的幅度值，按灰度显示相对幅度，黑色对应幅度值最大。</p> | <p>文件格式示例：</p> <p>1 1 A(1, 1)</p> <p>1 2 A(1, 2)</p> <p>1 3 A(1, 3)</p> <p>...</p> <p>注：文本文件编码格式为 ANSI。</p> <p>对非正方形口面，可设置一个正方形口面完整覆盖目标口面，并将多余区域的幅值设置为 0，或导入文件不包含幅值为 0 的坐标。</p> |
| | 按泰勒函数指定幅度分布 | <p>电场幅度按泰勒分布填充于以“口面宽度”为边长的正方形区域内。填写形式：taylor(m, n)，其中 m 为副瓣电平绝对值，n 为等副瓣数。</p> | <p>填写示例：taylor(30, 5)，表示副瓣电平 30，等副瓣数为 5。</p> |
| 通道 | 和波束 | 以和波束发射。 | |
| | 差波束 (X/Y/Z) | 以 X/Y/Z 正负差的差波束发射。 | <p>例如：X 差波束，则口面中心的 X 正负两半的馈入信号相位整体相差 180 度（独立于控制发射角度的相位）。</p> |
| 工作平面 | | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义 θ 、 ϕ 和极化角度。 | 工作平面局部坐标系只影响角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| θ , ϕ | | 指定发射方向角，以类似相控阵的方式控制发射角，口面将根据指定的方向角生成一定空间相位 | |

| | | | |
|------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| | | 分布进行馈电。 | |
| 极化角度 | | <p>极化角定义：取发射方向和“参考坐标系”Z轴共同所在面为参考面，极化角为0度时电矢量平行于参考面（即只含θ偏振分量，垂直极化），90度时垂直于参考面。</p> <p>“参考坐标系”定义：若勾选了“在工作平面下定义”，则参考坐标系为所选择的工作平面；若没勾选，则为全局坐标系。</p> | <p>注：不勾选“在工作平面下定义”选项时，可以实现以“局部坐标系”定义发射角，而以“全局坐标系”定义极化角度。</p> |

计算完成后将给出口径场的远场。具体可参见[时域]远场记录器或[频域]远场记录器的说明。

5.3.3.12. 非相干光源

非相干光源是随机光源的一种。随机信号源可以给已有某种信号附上随机性。目前，随机信号只允许在单点馈出。随机信号由两组相差90度的独立同分布（均匀分布）随机数 r_a 和 r_b 控制产生：

$$s_1(t) = s_1(t-1)p_1 + r_a p_2, r_a \sim unif(-0.5, 0.5)$$

$$s_2(t) = s_2(t-1)p_1 + r_b p_2, r_b \sim unif(-0.5, 0.5)$$

$$s(t) = s_1(t) \cos \omega t + s_2(t) \sin \omega t$$

下表中参数1对应 p_1 ，参数2对应 p_2 。两组信号初值为0。



图 5-3-3-12-1 非相干光源参数设置

表 5-3-3-12-1 非相干光源参数设置

| 输入项 | 说明 | 备注 |
|-----|------|----------------------|
| 参数1 | 稳定程度 | 相当于上一时刻信号对这一时刻的影响权重。 |

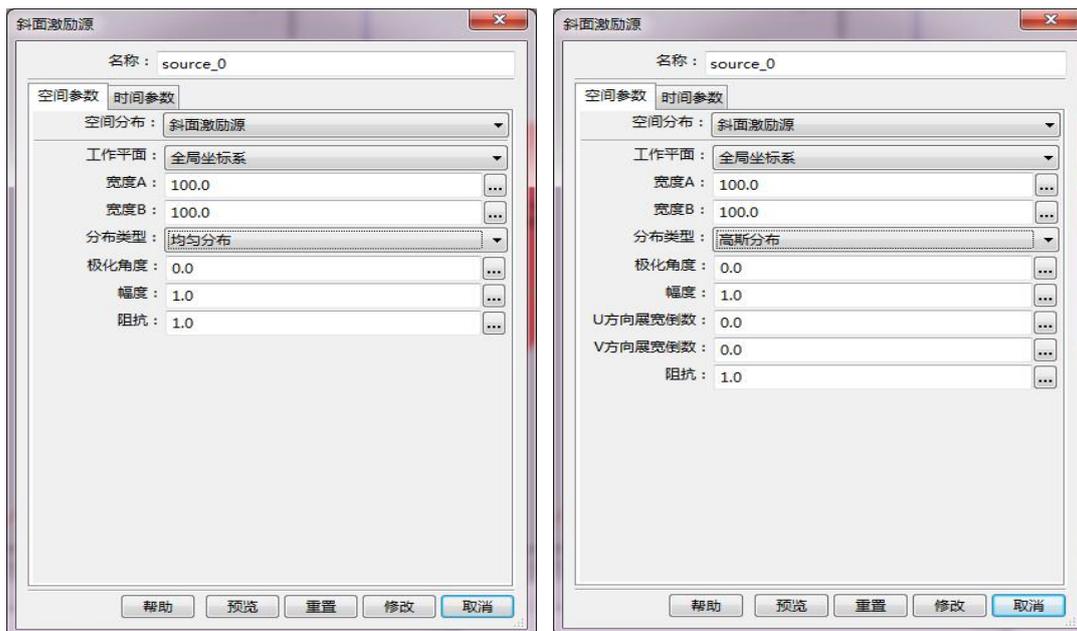
| | | |
|------|-----------|-------------------|
| 参数 2 | 随机程度 | 相当于这一时刻随机变动程度的幅度。 |
| 种子 | 随机数发生器的种子 | 任意浮点数 |
| 幅度 | 指定幅度 | V/m |
| 中心位置 | 指定点源的中心位置 | 文档长度单位 |
| 场分量 | 选择点源的场分量 | |



注意事项

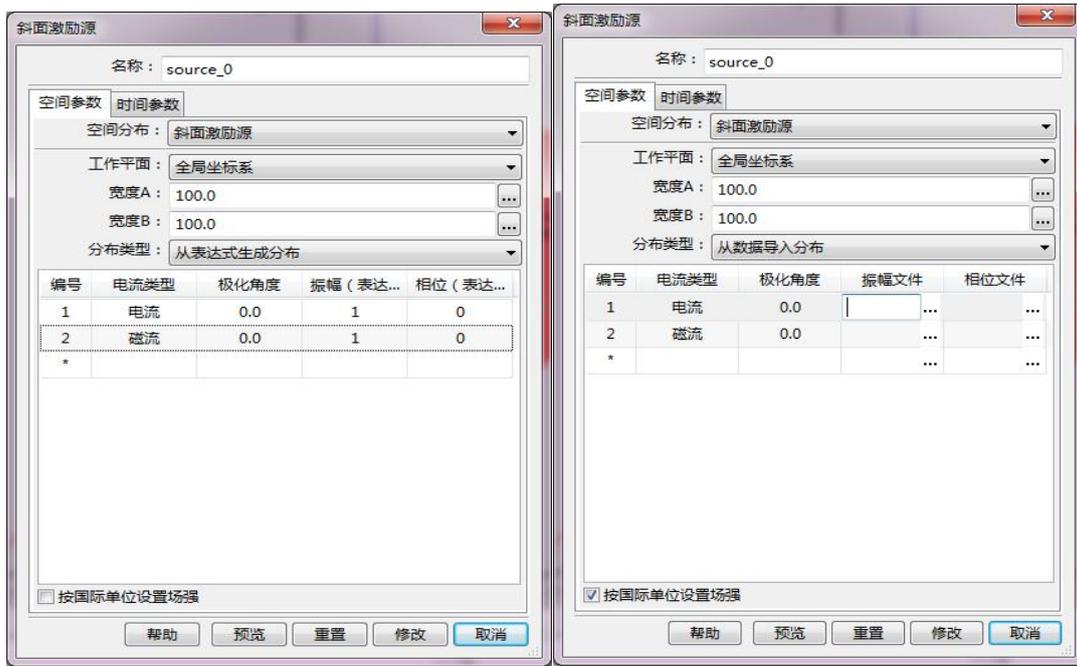
非相干光源，获取稳定的信号应当注意：单位时间信号的总变动除以时间间隔（ $\Delta s / \Delta t$ 得到“瞬时频率”）应小于载波频率，载波频率+瞬时频率应尽可能小于工程设定的最大频率，若此项不满足可能导致仿真发散或不稳定。

5.3.3.13. 斜面激励源



(a) 均匀分布

(b) 高斯分布



(c) 从表达式生成分布

(d) 从数据导入分布

图 5-3-3-13-1 斜面激励源不同分布的参数设置

斜面源用于实现各种馈出面不与网格面平行的源。目前提供了五种面分布方式：

- 均匀分布
- 高斯窗，具体意义参见“扩展激励源（高斯窗）”
- 泰勒分布
- 按幅相分布函数设置
- 导入幅相分布数据设置

a) 均匀分布

表 5-3-3-13-1 斜面源参数设置 - 均匀分布

| 参数 | 含义 | 单位 |
|--------|------------------------------------------------------|--------|
| 工作平面 | 指定工作平面，将在该工作平面的球坐标系内进一步定义波矢与偏振 | |
| 宽度 | 面在 U、V 方向上的宽度 | 文档长度单位 |
| 幅度 | 幅度 | 无量纲 |
| 极化角度 | 极化方向与工作平面 u 轴夹角 | 度 |
| 相对阻抗 Z | 光源背景材料的相对阻抗倒数，即 $Z = [(\mu_r / \epsilon_r)]^{(1/2)}$ | 无量纲 |

b) 高斯分布

表 5-3-3-13-2 斜面源光源参数设置 - 高斯分布

| 参数 | 含义 | 单位 |
|------------|------------------------------------------------------|--------|
| 工作平面 | 指定工作平面，将在该工作平面的球坐标系内进一步定义波矢与偏振 | |
| 宽度 | 面在 U、V 方向上的宽度 | 文档长度单位 |
| 幅度 | 幅度 | 无量纲 |
| 极化角度 | 极化方向与工作平面 u 轴夹角 | 度 |
| 1/Wu, 1/Wv | 指定 U、V 方向上展宽的倒数 | |
| 相对阻抗 Z | 光源背景材料的相对阻抗倒数，即 $Z = [(\mu_r / \epsilon_r)]^{(1/2)}$ | 无量纲 |

c) 从表达式生成分布设置

需要将幅度或相位设置为面位置“_u”、“_v”的函数，即，面上点的位置表示为（_u、_v）。“_u”、“_v”均为文档长度单位。例如高斯波束可以写作“ $\exp(-(_u/500)^2 - (_v/500)^2)$ ”。

表 5-3-3-13-3 斜面源参数设置 - 从表达式生成分布

| 参数 | 含义 | 单位 |
|-----------|------------------------------------------------------------------|--------|
| 工作平面 | 指定工作平面，将在该工作平面的球坐标系内进一步定义波矢与偏振 | |
| 宽度 | 面在 U、V 方向上的宽度 | 文档长度单位 |
| 类型 | 选择电流还是磁流 | |
| 极化角度 | 极化方向与工作平面 u 轴夹角 | 度 |
| 幅度分布函数 | 幅度分布函数 | |
| 相位分布函数 | 相位分布函数 | |
| 按国际单位设置场强 | 选择是否按国际单位制进行设置。 不勾选时，电流类型、磁流类型按 1:1 单位制设置，即消去了平面波阻抗 $Z=377$ 。 | |

d) 从数据导入分布设置

导入幅度和相位数据的格式参见“导入口面场”。

表 5-3-3-13-4 斜面源参数设置 - 从数据导入分布

| 参数 | 含义 | 单位 |
|-----------|--------------------------------|--------|
| 工作平面 | 指定工作平面，将在该工作平面的球坐标系内进一步定义波矢与偏振 | |
| 宽度 | 面在 U、V 方向上的宽度 | 文档长度单位 |
| 类型 | 选择电流还是磁流 | |
| 极化角度 | 极化方向与工作平面 u 轴夹角 | 度 |
| 幅度分布文件 | 幅度分布函数，允许按相对路径输入 | |
| 相位分布文件 | 相位分布文件，允许按相对路径输入 | |
| 按国际单位设置场强 | 选择是否按国际单位制进行设置。 | |

5.3.3.14. 从准远场数据导入等效源



图 5-3-3-14-1 从准远场结果导入等效源设置

从准远场结果导入等效源是用于准远场二次等效激励的一种特殊激励源。当存在另一个 FDTD 仿真工程，并且设定了“[频域]准远场记录器（盒子模式）”，获得计算结果后，可以将其数据导入当前的 FDTD 工程，将其原先的准远场外推区域作为一个二次激励源来激发当前工程特定区域的场。该激励源仅用于离散频率的稳态仿真。

表 5-3-3-14-1 从准远场结果导入等效源参数设置

| 参数 | 含义 | 备注 |
|----------|-------------------------------------|-----------------------------|
| EWD 结果文件 | 指定准远场记录器(盒子模式)所在的 FDTD 仿真计算结果 | |
| 向外等效 | 如果准远场记录器(盒子模式)的准远场区域包含了原激励源, 则勾选该选项 | 默认等效场区域处于盒子之内(该选项关闭) |
| 记录器变量表名 | 给定准远场记录器(盒子模式)在结果文件中的变量表节点的名称 | |
| 坐标偏移 X | 将等效区域设定偏移量 | 文档长度单位 |
| 坐标偏移 Y | | |
| 坐标偏移 Z | | |
| 场强比例 | 设定对导入场进行比例放大 | |
| 启用表面 | 启用指定的准远场记录面作为等效源 | 适合于半开放条件下的等效元仿真(注意使用开放边界条件) |

5.3.3.15. 区域激励源

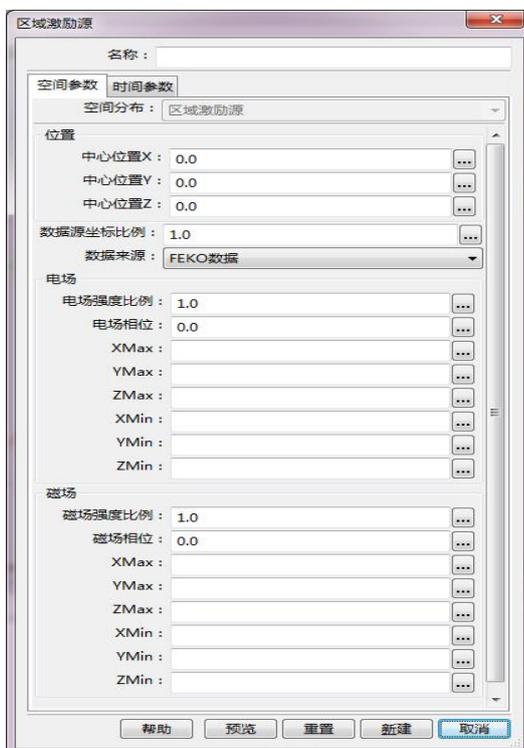


图 5-3-3-15-1 区域激励源

从 FEKO、CST、HFSS 三种软件的导出的截面场数据作为激励源。

支持分别设定电场、磁场的比例强度和相位，并选择 6 个面中的若干面进行激励。

表 5-3-3-15-1 区域激励源参数设置

| 参数 | | 含义 | 备注 |
|---------|---------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|
| 位置 | | 设定中心位置坐标 | 文档长度单位 |
| 数据源坐标比例 | | 设定原始数据到当前 FDTD 工程坐标系的尺度变换比例系数 | 例如 EastWave-FDTD 仿真工程的单位为 mm，而导入的为 m，则该系数应设定为 1000 |
| 数据来源 | | 选择 FEKO/CST/HFSS 数据格式 | 必须是文本格式 |
| 电场 | 电场强度比例 | 设定激发场以某个倍率将原始场数据进行放大 | 默认 1.0，设定为-1 可以产生镜像效果 |
| | 电场相位 | 设定激发场以某个相位差将远场场数据进行移相 | 默认 0.0 |
| | XMax/.../ZMin | 指定激励源面的数据源 | |
| 磁场 | 参见电场 | 参见电场 | 参见电场 |

5.4. 记录器模块

记录器记录了 FDTD 仿真计算过程中指定位置的时域场数据或者频域场数据。EastWave 记录器分为“时域记录器”和“频域记录器”两大类型。

打开记录器对话框可新建或修改记录器，操作方式有以下三种：

- 1) 直接点击模型工具条“新建记录器器”图标，如图红色区域



如图 5-5-1 新建记录器图标

- 2) 主菜单选择“求解器”，在下拉菜单中选择“新建记录器”
- 3) 在工程管理窗口“记录器”分支下方中鼠标右键需要的记录器类型“记录器”，选择“新建记录器”，如图 5-5-2

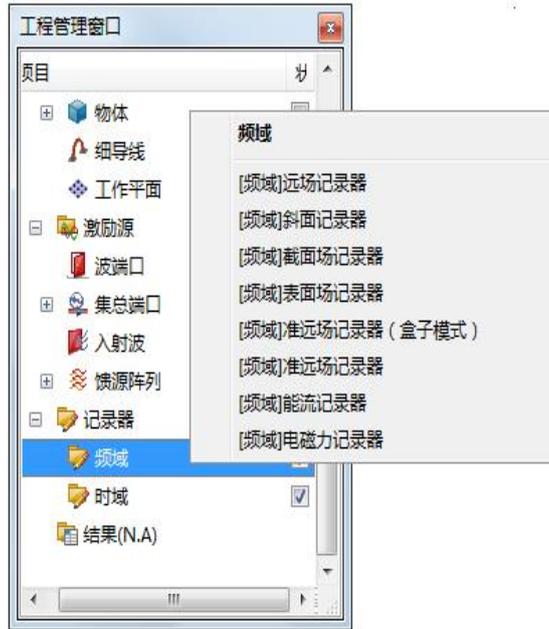


图 5-5-2 工程管理窗口选择记录器

打开的记录器对话框如图（图为时域点记录器）



图 5-5-3 记录器 对话框

记录器的主要参数包含频率记录范围、记录位置参数、记录时间参数等，基本记录参数如表

5-5

表 5-5 记录结果参数含义

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| 名称 | 指定记录器的名称 | 记录器得到的数据将以“rcd_”+“记录器名”形式挂载到 ewd 文件中 |
| 时间类型 | 指定时间记录的类型 记录器类型包括： 1) 多次记录：每隔一定时间记录一次场数 | |

| | | | |
|------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| | | 据 2) 一次记录：记录指定时刻的场数据 | |
| 时间步 | 开始 | 指定记录开始的时间步 | 默认值 (0, -1, 1) 将记录每步迭代的数据 |
| | 结束 | 指定记录结束的时间步 | |
| | 间隔 | 指定记录间隔的时间步 | |
| 类型 | | 指定记录的空间、场分量等类型 | |
| 频率序列 | | 输入形式： 1) 指定需要记录的频点，输入单值； 2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式， 主要有以下三种： ■ 表达式： (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX)； ■ 函数： linspace (FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUM)； ■ 函数式数组： array (FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ……)； | 适用于 6 种频域记录器 |
| 场分量 | | 指定需要记录的场分量 | 各记录方式允许记录的场各不相同 |

输出数据结构

计算完成后，数据将以“rcd_”+“记录器名”的形式挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下。挂载数据的方式视记录器的类型而定。

5.4.1. [频域]远场记录器

[频域]远场记录器用于记录远场条件下指定角度的场的频谱中指定频点的场值，可以得到场在两个方向偏振的值。

外推面：由于 FDTD 方法只能计算空间有限区域内的电磁场，要获得计算区域以外的散射或辐射场，就必须根据等效原理在计算区域内作一个封闭面，然后由这个面上的等效电磁流经过外推来得到。

远场条件：满足远场条件的电磁波可以近似看作平面波，常用的 RCS 远场测量条件 $R > 2d^2/\lambda$ ，（R 是远场实测距离，d 为物体的横向尺度， λ 为电磁波波长）。

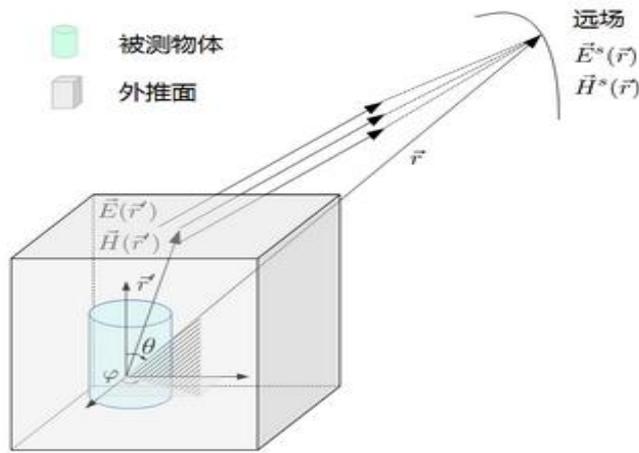


图 5-4-1-1 远场外推示意图

[频域]远场记录器常用于计算散射问题。

选择“记录器种类”中的“[频域]远场记录器”项，参数设定界面如下图所示：

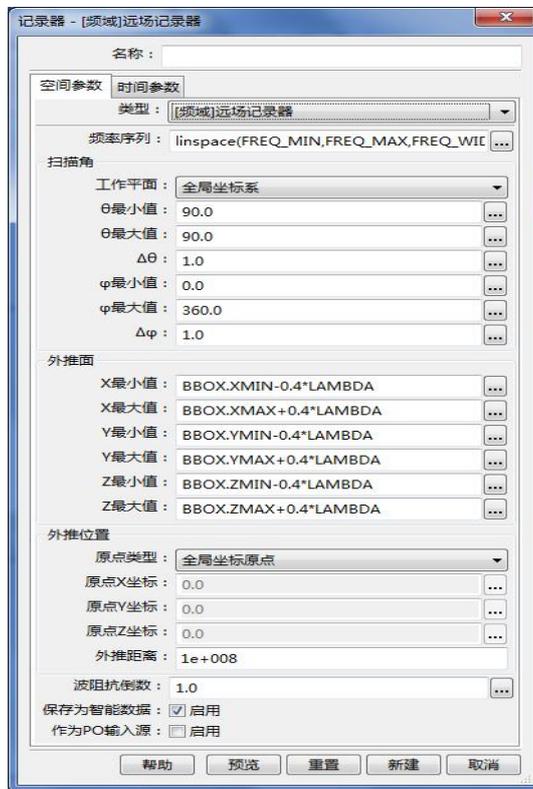


图 5-4-1-2 [频域]远场记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-1-1 [频域]远场记录器参数说明表

| 参数名称 | | 参数意义 | 备注 |
|------|-------|------------------|----|
| 外推面 | X 最小值 | 指定封闭外推面 X 方向上的范围 | |
| | X 最大值 | | |
| | Y 最小值 | 指定封闭外推面 Y 方向上的范围 | |
| | Y 最大值 | | |
| | Z 最小值 | 指定外推封闭面 Z 方向上的范围 | |
| | Z 最大值 | | |

| | | |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 频率序列 | <p>输入形式:</p> <p>1) 指定需要记录的频点, 输入单值;</p> <p>2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式,</p> <p>主要有以下三种:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 表达式: (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX); ■ 函数: linspace(FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUM); ■ 函数式数组: array(FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ...); | |
| 工作平面 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义外推方向角 θ / ϕ | 所选工作平面只影响外推方向的角度定义, 只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| 中心 | 设置外推坐标系的中心位置 | |
| 外推距离 | 指定需要外推的远场的距离 | 单位: 文档单位 一般默认为 1E8 个长度单位即可 |
| θ 最小值 θ 最大值 $\Delta \theta$ | 起始 θ 角 终止 θ 角 θ 角间隔 | 全局坐标系, 即 θ 为远场方向与 z 轴正方向之间的夹角 |
| ϕ 最小值 ϕ 最大值 $\Delta \phi$ | 起始 ϕ 角 终止 ϕ 角 ϕ 角间隔 | 全局坐标系, 即 ϕ 为远场方向在 XOY 面上的投影与 x 轴正方向之间的夹角 |
| 波阻抗倒数 | 指定记录器所在位置背景材料波阻抗的倒数: $1/Z = \sqrt{\epsilon / \mu}$ | |
| 作为 PO 输入源 | 选择是否额外记录数据, 以作为 PO 支持的数据形式导入 | 外推面处于计算区域外的部分场值为 0 |



关于角度的二维数组数据的坐标

二维数组的角度坐标定义为: 最低维度 (第 0 维度, EastWave 脚本从 0 开始索引) 对应的是 ϕ , 下一个维度对应的是 θ 。

θ_{\min} 、 θ_{\max} 、 ϕ_{\min} 、 ϕ_{\max} 所表示的角如下图所示:

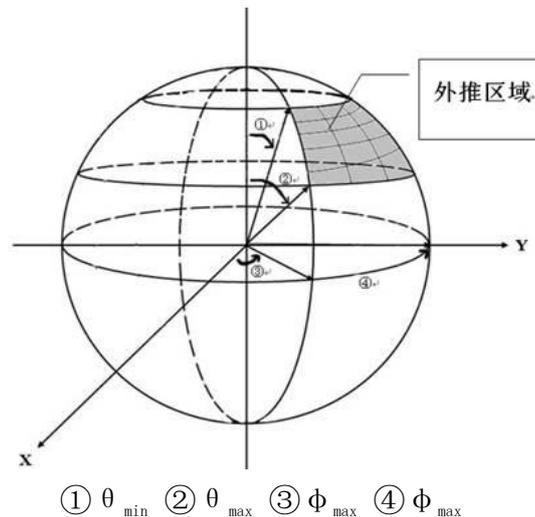


图 5-4-1-3 远场外推各角度及外推区域示意图

输出数据结构

计算完成后得到远场指定位置处某频率电磁波的 θ 和 ϕ 偏振场值，并以“rcd_”+“记录名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-1-2 [频域]远场记录器数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 数据类型 | 含义 | |
|--------------|--------------|--------------------------|------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| rcd_farfield | / | / | 数据表 | 挂载名称为“farfield”的记录器的数据 | |
| | fm4 | / | 数组 | 挂载局部坐标变换信息 | |
| | im4 | / | 数组 | fm4 的逆矩阵 | |
| | nf_0, 1, ... | / | / | 数据表 | 挂载记录器的第 n 个频点的远场数据 |
| | | freq | | 数值 | 记录器指定的频点，单位：Hz |
| | | lambda | | 数值 | 记录器指定的频点对应的波长，单位：m |
| | | r | | 数值 | 指定的远场记录器距坐标原点的距离；单位：m |
| | | theta | | 一维数组 | θ 角的取值 |
| | | phi | | 一维数组 | ϕ 角的取值 |
| | Data | Dtheta Dphi Dtotal | | 图 | 该频点的电磁波在远场各点的方向性系数。Dtheta 和 Dphi 分别为 θ 和 ϕ 偏振的方向性系数，Dtotal 为总场的方向性系数 |

| | | | | | |
|--|--|----------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | Etheta Ephi Etotal | 数组 | 该频点电磁波在远场处 θ 偏振 (Etheta) 和 ϕ 偏振 (Ephi) 的电场复场及总场 ($E_{total} = \sqrt{ E_{\theta} ^2 + E_{\phi} ^2}$) |
| | | | Pout | 数值 | 指定频率成分的电磁波穿过记录面辐射出的总能量: $P_{out} = \sum surface S_{out} * 2 * Z_0$, 其中, S_{out} 为对指定频率下向外辐射的功率密度, 求和范围为记录器包围框的表面, $2 * Z_0$ 因子使得 P_{out} 量纲与电场平方 (乘以面积后) 一致, 便于计算方向性系数。 注意: P_{out} 与记录器的记录时间范围有关。 |
| | | | Power | 数值 | 功率, 即单位时间, 指定频率成分的电磁波穿过记录面辐射出的总能量: $Power = P_{out} / 2 / Z_0 / T_{rcd}$, 其中 Z_0 为自由空间波阻抗, T_{rcd} 为记录器做记录的物理时间: $T_{rcd} = (N_{结束步} - N_{起始步}) * N_{间隔步} * UT * DELTA_T$ |
| | | Patterns | 数据表 | 子节点挂载了远场场值、远场相位、远场能量等物理量的角分布图 每个图包含各个分量的子图, 名称含 “[dB]” 的子图场量按 dB 显示, 名称含 “polar plot” 的子图角度坐标按极坐标显示 | |



注意事项

- P_{out} 和同级挂载点下的远场电场幅值可直接计算方向性系数, 对指定的 (θ, ϕ) 角度下的方向性系数: $D(\theta, \phi) = (4 * \pi * r^2) * |E_{total}(\theta, \phi)|^2 / P_{out}$, 其中 $|E_{total}(\theta, \phi)|$ 即在 (θ, ϕ) 方向的远场电场幅值 (反比于 r)。
- 区别于 P_{out} , $Power$ 为单位时间通过记录面的能量。
- P_{out} 由表面场 E_t 对指定频率傅里叶变换得到: $E_f = DFT_f(E_t) * 2 * DELTA_T * UT * N_{间隔步}$, 因而 E_f 为记录时间范围内 E_t 累积贡献的结果。对于达到稳态的持续信号, E_f 正比于记录时间; 对于脉冲信号, 在脉冲结束 (完全通过记录面) 后 E_f 不再随记录时间改变。

4. 天线增益 $G(\theta, \phi) = D(\theta, \phi) * \text{Power}_{\text{out}} / \text{Power}_{\text{in}}$ ，其中 $\text{Power}_{\text{out}}$ 为通过记录器包围框向外辐射的功率（即频域远场记录器挂载的 Power ）， Power_{in} 为馈源的馈入功率（如集总端口挂载的 P_{in} ）。注意：若馈源使用脉冲信号，将记录时间起始步设置为 0，结束步设置为 -1，计算时间足够长以保证脉冲能量几乎全部辐射出计算区域。

5. 天线仿真中的功率归一化问题：（1）对于脉冲情况，往往要求记录时间完整覆盖完整的辐射脉冲信号（将记录时间起始步设置为 0，结束步设置为 -1，计算时间足够长以保证脉冲能量几乎全部辐射出计算区域）。此时 Power 仍与工程设置的计算时间有关，需要对馈源功率谱做归一化， $\text{Power}'(f) = \text{Power}(f) / \text{Ps}(f)$ ，其中 $\text{Ps}(f)$ 为频率 f 处的馈电功率（由馈源给出，也与计算时间有关）， $\text{Power}'(f)$ 即为与计算时间无关的各频率馈电强度归一化的辐射功率。（2）对于固定馈电强度的单频持续信号，只需保证记录器在场达到稳态后开始记录，记录几个相应频率的时间周期即可， Power 即为该馈电强度下的辐射功率。注意实际激励信号是有限截断的，因此不同记录器的记录时间会影响频率分辨率（ Δf ）和信号的频率分布，因此如果要得到该有限截断单频信号在不可分辨的频率区间（ $f - \Delta f, f + \Delta f$ ）的总贡献（分布形状约为一个三角形，可以用 $S(f) \Delta f$ 表示总贡献），需要除以 T_{recd} （相当于乘以 Δf ），因此在该版本中我们不推荐使用单频激励计算涉及总能量、平均功率的问题。

6. 某些版本的频域远场记录器结果下可能会存在 2 个 E_{total} ， E_{theta} ， E_{phi} ，分别位于“Data”节点外和“Data”节点内，用户只需查看“Data”节点内的数据即可。

5.4.2. [频域]截面场记录器

[频域]截面场记录器用于记录截面上每点的指定场分量在指定频点下的场值，归一化 Fourier 变换如下：

$$E(f) = \frac{1}{T_{\text{max}}} \int_0^{T_{\text{max}}} E(t) e^{i2\pi ft} dt = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N E(n\Delta t) \cdot e^{i2\pi fn\Delta t} \quad \text{公式 6-4-1}$$

允许选择的场有：电场（E）、磁场（H），允许电场、磁场同时记录，记录得到场在 x、y、z 三个方向上的分量。

选择“记录方式”为“[频域]截面场记录器”，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-2-1 [频域]截面场记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-2-1 [频域] 截面场记录器参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 频率序列 | 输入形式： 1) 指定需要记录的频点，输入单值； 2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式，主要有以下三种： ■ 表达式： (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX)； ■ 函数： linspace(FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUM)； ■ 函数式数组： array(FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ……)； | |
| 截面 | 指定需要记录的截面 允许选择的截面：XOY 面、XOZ、YOZ 面 | |
| 位置 | 指定记录截面在其法向坐标轴上的位置坐标 | |
| 记录电场 | 选择是否记录电场分量 | 记录得到场在 x、y、z 三个方向上的分量 |
| 记录磁场 | 选择是否记录磁场分量 | 记录得到场在 x、y、z 三个方向上的分量 |
| 作为 PO 导入 | 选择是否额外记录数据，以作为 PO 支持的数据形式导入，即 ewd 文件 | |



注意事项

1. 这种数据记录方式一般适用于脉冲入射的情况。
2. 截面频率记录是通过时域傅里叶变换得出，因而记录时间必须足够长才能获得足够的频率分辨率；总的记录时间和。
3. 频域记录器记录的是功率谱，输入持续波并达到稳定的后，仿真物理时间与最后的记录值无关；如果是脉冲且能量收敛到 0 的话，仿真物理时间越长，功率谱越小。
4. 实数场记录的数据考虑了正频率和负频率两项的总贡献，就实部而言相当于正频率贡献的两倍，相位与正频率部分相同。

输出数据结构

表 5-4-2-2 [频域] 截面场记录器数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 数据类型 | 含义 |
|--------------|--------------|------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------|
| rcd_cutplane | | | 数据表 | 挂载名称为“cutplane”的记录器的数据 |
| | nf_0, 1, ... | | 数据表 | 挂载记录器的第n个频点的数据 |
| | | Ex、Ey、Ez Hx、Hy、Hz | 二维动画 | 截面上各点的场分量 XOY 面：横轴为 X，纵轴为 Y； YOZ 面：横轴为 Y，纵轴为 Z； XOZ 面：横轴为 X，纵轴为 Z； |
| | | Ex_im3d 、 Ey_im3d 、 Ez_im3d Hx_im3d 、 Hy_im3d 、 Hz_im3d | 三维动画 | 将二维动画潜入物体模型坐标系中与物体一起显示 |
| | | freq | 数值 | 记录器指定的第 n 个频点， $\Omega=f$ ，单位为 Hz (不推荐调用) |
| | type | | 数值 | 该截面的方向标识； 允许取值： 1 (XOY 面)、2 (YOZ 面)、3 (XOZ 面) |
| | offset | | 数值 | 该截面在其法向坐标轴上的位置坐标，单位：文档单位 |

5.4.3. [频域]表面场记录器

[频域]表面场记录器用于记录指定物体表面单个频点的场分布。

允许记录的场有：电场 (E)、磁场 (H)，将记录得到三个方向的场分量。

表面：物体按层叠关系构建后，按照材料选取物体，其总表面即记录的表面，见下图：

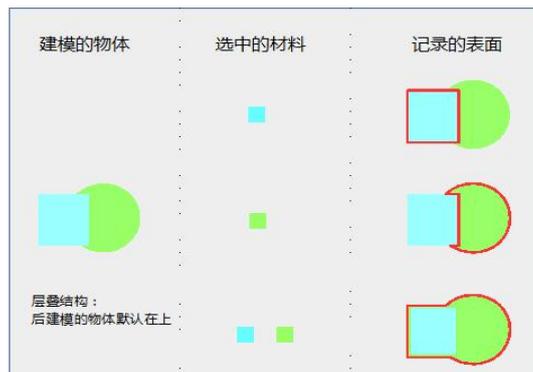


图 5-4-3-1 [频域]表面场记录器说明：表面选取规则

EastWave 中材料按照名称识别，允许设置参数完全相同的两个材料。借用材料副本方法，可以实现表面的选取或屏蔽，见下图：

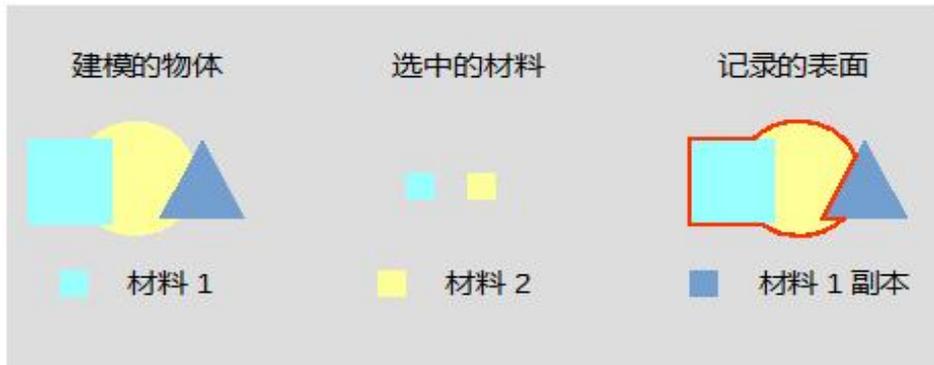


图 5-4-3-2 [频域]表面场记录器说明：材料界面

选择“记录方式”为“[频域]表面场记录器”，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-3-3 [频域]表面场记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-3-1 [频域]表面场记录器参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 场分量 | 指定要记录的场； 允许记录的场有：电流密度 (J_e)、磁流密度 (J_m)、电场强度 (E) 和磁场强度 (H)。 | 记录得到三个方向的场分量 |
| 频率序列 | 输入形式： 1) 指定需要记录的频点，输入单值； 2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式，主要有以下三种： ■ 表达式： (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX)； ■ 函数： linspace (FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUMBER)； ■ 函数式数组： | |

| | | |
|------|---------------------------------------------------------------|-----------------|
| | array(FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ……); | |
| 表面材料 | 按照物体的材料，指定要记录的表面； 允许手动输入或勾选已创建的材料名称； 手动输入时，多个材料用英文逗号隔开； | 材料名为新建材料时指定的材料名 |

输出数据结构

计算完成后得到表面指定频率的电磁场值，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-3-2 [频域]表面场记录器数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 数据类型 | 含义 |
|--------------|------|------|------|------------------------|
| rcd_surfield | | | 数据表 | 挂载名称为“surfield”的记录器的数据 |
| | nf_0 | | 数据表 | 挂载记录的第 n 个频点的数据 |
| | | freq | 数值 | 记录器指定的第 n 个频点，单位为 Hz |
| | | pic | 三维图像 | 表面上该频点电磁场指定场分量的值 |

5.4.4. [频域]准远场记录器

[频域]准远场记录器用于记录准远场条件下指定位置处某频率的电磁场。

允许记录的场分量：电场分量（Ex、Ey、Ez）、磁场分量（Hx、Hy、Hz）；

外推面：由于 FDTD 方法只能计算空间有限区域内的电磁场，要获得计算区域以外的散射或辐射场，就必须根据等效原理在计算区域内作一个封闭面，然后由这个面上的等效电磁流经过外推来得到。

准远场：外推距离 $R < 2d^2/\lambda$ （R 为外推距离，d 为物体横向尺度，λ 为波长）的范围称为准远场范围。当外推距离满足该条件时，选择准远场记录器将得到相对于远场记录器更精确的数据。

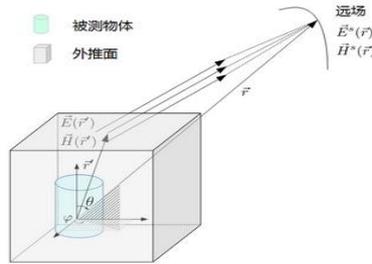


图 5-4-4-1 准远场外推示意图

选择“记录器种类”中的“[频域]准远场记录器”项，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-4-2 [频域]准远场记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-4-1 [频域]准远场记录器参数说明表

| 参数名称 | | 参数意义 | 备注 |
|------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 外推面 | X 最小值 X 最大值 | 指定封闭外推面 X 方向上的范围 | 见下图 |
| | Y 最小值 Y 最大值 | 指定封闭外推面 Y 方向上的范围 | |
| | Z 最小值 Z 最大值 | 指定封闭外推面 Z 方向上的范围 | |
| 频率序列 | | 输入形式： 1) 指定需要记录的频点，输入单值； 2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式， 主要有以下三种： ■ 表达式： (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX)； ■ 函数： linspace(FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUM)； | 不可使用 range 函数 |

| | | | |
|-----|-------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>■ 函数式数组： array (FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ……);</p> | |
| 场分量 | | <p>指定要记录的场分量； 允许记录的场包括： 电场分量 (Ex、Ey、Ez) 和磁场分量 (Hx、Hy、Hz)；</p> | |
| 准远场 | X/Y/Z | 准远场记录器位置的 X/Y/Z 的坐标(表达式) | <p>推荐某个方向上为单一取值，如在当 X (或 Y) 方向位置仅为单值时，将显示 YOZ 面(或 XOZ 面)的准远场图。 注：不允许三方向上均为单一取值</p> |

输出数据结构

计算完成后得到准远场指定位置处的某频点电磁波的指定场分量在各记录时间点的场值，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表。

表 5-4-4-2 [频域]准远场记录器数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 数据类型 | 含义 |
|--------------------|------------|------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| rcd_quasi_farfield | | | 数据表 | 挂载名称为“quasi_farfield”的记录器的数据 |
| | nf_0, 1, … | | 数据表 | 挂载记录器的第 n 个频点的准远场数据 |
| | | freq | 数值 | 记录器指定的第 n 个频点 |
| | | fig | 二维动画 | 默认为 XOY 面的准远场，选择 Z 坐标以确定 XOY 面的具体位置； 当 X (或 Y) 方向位置仅为单个时，将显示 YOZ 面 (或 XOZ 面) 的准远场图。 |
| | | Field_data | 三维数组 | 记录每个准远场位置的场值 |
| | | COORD_X | 一维数组 | 准远场记录器位置在 X 方向上的取值 |
| | | COORD_Y | 一维数组 | 准远场记录器位置在 Y 方向上的取值 |
| | | COORD_Z | 一维数组 | 准远场记录器位置在 Z 方向上的取值 |

5.4.5. [频域]准远场记录器（盒子模式）

[频域]准远场记录器（盒子模式）用于记录准远场条件下指定位置处某频率的电磁场。

记录的场量：全部的电场、磁场分量

外推面：由于 FDTD 方法只能计算空间有限区域内的电磁场，要获得计算区域以外的散射或辐射场，就必须根据等效原理在计算区域内作一个封闭面，然后由这个面上的等效电磁流经过外推来得到。

准远场：外推距离 $R < 2d^2/\lambda$ （ R 为外推距离， d 为物体横向尺度， λ 为波长）的范围称为准远场范围。当外推距离满足该条件时，选择准远场记录器将得到相对于远场记录器更精确的数据。



注意事项

1. 本记录器的结果可以作为“从准远场数据导入等效源”的数据。
2. 本记录器只记录盒子的六个面的场数据，不记录体内的全部数据。

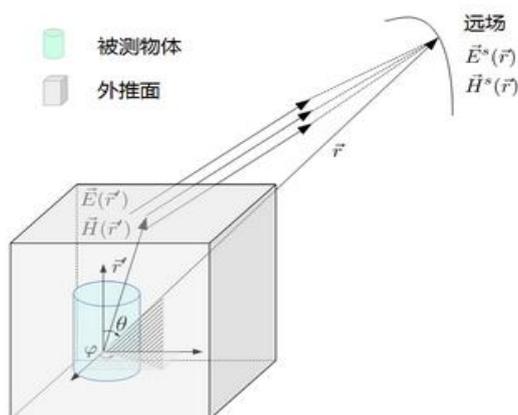


图 5-4-5-1 准远场外推示意图

选择“记录器种类”中的“[频域]准远场记录器（盒子模式）”项，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-5-2 [频域]准远场记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-5-1 [频域]准远场记录器参数说明表

| 参数名称 | | 参数意义 | 备注 |
|------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 外推面 | X 最小值 X 最大值 | 指定封闭外推面 X 方向上的范围 | |
| | Y 最小值 Y 最大值 | 指定封闭外推面 Y 方向上的范围 | |
| | Z 最小值 Z 最大值 | 指定封闭外推面 Z 方向上的范围 | |
| 频率序列 | | 输入形式： 1) 指定需要记录的频点，输入单值； 2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式，主要有以下三种： ■ 表达式： (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX) ; ■ 函数： linspace (FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUM) ; ■ 函数式数组： array (FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ……) ; | 不可使用 range 函数 |

| | | | |
|-----|-------|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| 准远场 | X/Y/Z | 准远场记录器位置的 X/Y/Z 的坐标（表达式） | 给出准远场目标盒子的网格，作为 FDTD 等效源的数据使用时，建议至少达到的密度。 $\lambda/30$ |
|-----|-------|--------------------------|--------------------------------------------------------|

输出数据结构

计算完成后得到准远场指定盒子区域的某频点电磁波的指定场分量在各记录时间点的场值，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表。

表 5-4-5-2 [频域]准远场记录器（盒子）数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 四级节点 | 数据类型 | 含义 | |
|---------|----------------|------|---------|------|------------------------------|---------------------|
| rcd_box | | | | 数据表 | 挂载名称为“quasi_farfield”的记录器的数据 | |
| | NF_COORD_X | | | 数组 | 盒子的 X 坐标 | |
| | NF_COORD_Y | | | 数组 | 盒子的 Y 坐标 | |
| | NF_COORD_Z | | | 数组 | 盒子的 Z 坐标 | |
| | Freq | | | 数组 | 频率序列 | |
| | nf_0, 1, . . . | | | | 数据表 | 挂载记录器的第 n 个频点的准远场数据 |
| | | XMax | | | 数据表 | 盒子 X 正面数据 |
| | | | COORD_X | | 数组 | 记录面的 X 坐标 |
| | | | COORD_Y | | 数组 | 记录面的 Y 坐标 |
| | | | COORD_Z | | 数组 | 记录面的 Z 坐标 |
| | | | EX | | 数组 | Ex 场分量数据 |
| | | | EY | | 数组 | Ey 场分量数据 |
| | | | EZ | | 数组 | Ez 场分量数据 |
| | | | HX | | 数组 | Hx 场分量数据 |
| | | | HY | | 数组 | Hy 场分量数据 |
| | | HZ | | 数组 | Hz 场分量数据 | |
| | | YMax | | 同上 | 数据表 | 盒子 Y 正面数据 |
| | | ZMax | | 同上 | 数据表 | 盒子 Z 正面数据 |
| | | XMin | | 同上 | 数据表 | 盒子 X 负面数据 |
| | | YMin | | 同上 | 数据表 | 盒子 Y 负面数据 |

| | | | | |
|--|------|----|-----|---------------|
| | ZMin | 同上 | 数据表 | 盒子 Z 负面数据 |
| | freq | | 浮点数 | 记录器指定的第 n 个频点 |

5.4.6. [频域]能流记录器

[频域]能流记录器用于记录通过截面的指定频率的电磁波在记录时间内的平均能流大小，将记录截面上各点处能流的法向分量，表达式如下：

$$S(f) = \left[\frac{2}{N} \sum_{n=1}^N \vec{E}(n\Delta t) e^{i2\pi f n\Delta t} \right] \times \left[\frac{2}{N} \sum_{n=1}^N \vec{H}(n\Delta t) e^{i2\pi f n\Delta t} \right] \cdot \vec{e}_n \quad \text{公式 6-4-2}$$

其中 N 表示记录器的总的时间步数，2 倍归一化因子是因为把负频率部分的贡献考虑进来。

选择“记录方式”为“[频域]能流记录器”，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-6-1 [频域]能流记录器参数设置

表 5-4-6-1 [频域]能流记录器参数说明表

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 频率序列 | 输入形式： 1) 指定需要记录的频点，输入单值； 2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式，主要有以下三种： ■ 表达式： (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX)； ■ 函数： linspace(FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUM)； ■ 函数式数组： array(FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ……)； | |
| 截面 | 指定记录的截面，以记录截面法线方向上能流的大小。 | |

| | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 中心位置 (X, Y, Z) | 指定能流记录器的中心位置 | 按文档单位 |
| 记录器宽度 (A, B) | 指定记录截面在两个方向上的宽度 XOY 面: X 方向 A, Y 方向 B; YOZ 面: Y 方向 A, Z 方向 B; ZOX 面: Z 方向 A, X 方向 B; | 方向按照右手轮换规则设置, 具体请参见 FDTD 帮助手册 |

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 频率序列 | 输入形式: 1) 指定需要记录的频点, 输入单值; 2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式, 主要有以下三种: n 表达式: (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX); n 函数: linspace(FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUM); n 函数式数组: array(FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ……); | |
| 截面 | 指定记录的截面, 以记录截面法线方向上能流的大小。 | |
| 中心位置 (X, Y, Z) | 指定能流记录器的中心位置 | 按文档单位 |
| 记录器宽度 (A, B) | 指定记录截面在两个方向上的宽度 XOY 面: X 方向 A, Y 方向 B; YOZ 面: Y 方向 A, Z 方向 B; ZOX 面: Z 方向 A, X 方向 B; | 方向按照右手轮换规则设置, 具体请参见 FDTD 帮助手册 |

输出数据结构

计算完成后得到各频点电磁波通过截面上各点能流值, 并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下, 挂载方式和含义见下表:

表 5-4-6-2 [频域]能流记录器数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 数据类型 | 含义 |
|-------|------|------|------|--------------------|
| rcd_S | | | 数据表 | 挂载名称为“S”的记录器的数据 |
| | f | | 一维数组 | 记录器指定的频率序列, 单位: Hz |
| | S | | 数值 | 通过指定截面的总能流, 单位: w |

| | | | | |
|--|--------------|------|------|----------------------------------------------------------------------------------|
| | Sxt | | 二维图像 | 横轴：频点 纵轴：各频点电磁波通过截面的总 能流 |
| | Outputdata | | 二维数组 | 各频点电磁波通过截面上各点的能 流 (不推荐调用) |
| | nf_0, 1, ... | | 数据表 | 挂载记录器的第 n 个频点的数据 |
| | | freq | 数值 | 记录器指定的第 n 个频点，单位为 Hz (不推荐调用) |
| | | S | 二维数组 | 截面上指定的场在该频点的分量 XOY 面：一维为 X，二维为 Y； YOZ 面：一维为 Y，二维为 Z； XOZ 面：一维为 X，二维为 Z； |

5.4.7. [频域]电磁力记录器

[频域]电磁力记录器用于记录各个单频点下指定记录面受到的电磁力，将得到电磁力在 x、y、z 三个方向上的分量。表达式如下：

$$\int_V \vec{f} dV = -\oint_S \vec{dS} \cdot \vec{T} \tag{公式 6-4-3a}$$

$$\vec{T} = -\epsilon_0 \vec{E}\vec{E} - \mu_0 \vec{H}\vec{H} + \frac{1}{2} \vec{i} (\epsilon_0 |E|^2 + \mu_0 |H|^2) \tag{公式 6-4-3b}$$

其中 \vec{T} 是动量流密度张量， \vec{i} 为单位张量。

选择“记录方式”为“[频域]电磁力记录器”，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-7-1 [频域]电磁力记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-7-1 [频域]电磁力记录器参数说明

| 参数名称 | | 参数意义 | 备注 |
|------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 受力区域 | X 最小值 X 最大值 | 指定电磁力计算区域 X 方向边界的位置 | |
| | Y 最小值 Y 最大值 | 指定电磁力计算区域 Y 方向边界的位置 | |
| | Z 最小值 Z 最大值 | 指定电磁力计算区域 Z 方向边界的位置 | |
| 频率序列 | | 输入形式： 1) 指定需要记录的频点，输入单值； 2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式，主要有以下三种： ■ 表达式： (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX)； ■ 函数： linspace (FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUM)； ■ 函数式数组： array (FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ……)； | |

输出数据结构

计算完成后得到指定区域在某频率电磁波下所受的电磁力，以 F_x 、 F_y 、 F_z 三个方向的分量保存，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-7-2 [频域]电磁力记录器数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 数据类型 | 含义 |
|-----------|-----------------------------------------------------|------|--------------------------------------------|
| rcd_force | | 数据表 | 挂载名称为“force”的记录器的数据 |
| | freq | 一维数组 | 记录器指定的频率序列，单位：Hz |
| | lambda | 一维数组 | 记录器指定的频点对应的波长，单位：m |
| | F_x 、 F_y 、 F_z | 一维数组 | 各频点下电磁力三个方向的分量 |
| | F_x_figure 、 F_y_figure 、 F_z_figure | 二维图像 | 电磁力三个方向分量的频谱 横轴：频点 纵轴：各频点电磁力三个方向分量的值 |

5.4.8. [频域]斜面记录器

记录斜面上的场在指定频率下的值。

选择“记录方式”为“[频域]斜面记录器”，参数设定界面如下图所示：

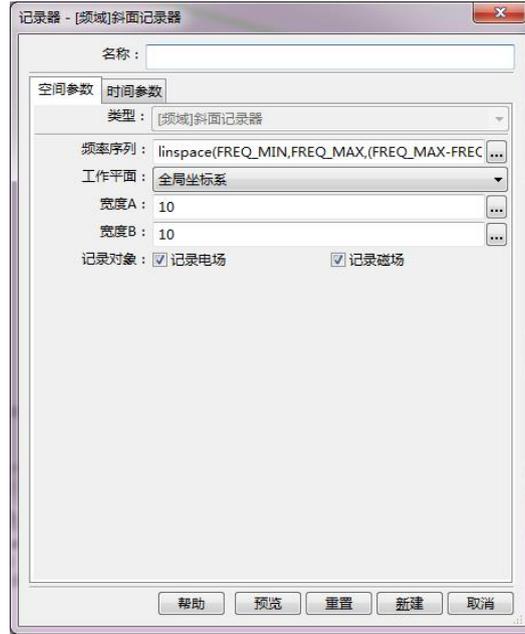


图 5-4-8-1 [时域]截面极值记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-8-1 [频域]斜面记录器参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 频率序列 | 输入形式： 1) 指定需要记录的频点，输入单值； 2) 允许输入对 EastWave 合法的表达式，主要有以下三种： ■ 表 达 式 : (FREQ_MIN:FREQ_DELTA:FREQ_MAX) ; ■ 函 数 : linspace(FREQ_MIN, FREQ_MAX, FREQ_NUM) ; ■ 函 数 式 数 组 : array(FREQ_1, FREQ_2, FREQ_3, ……) ; | |
| 工作平面 | 用已有工作平面，指定待记录的斜面 | |
| 宽度 | 待记录的斜面宽度，两个宽度方向为工作平面给定直角坐标系的 U、V 轴 | 文档长度单位 |
| 记录对象 | 选择是否记录电场和磁场。 | 记录得到场在全局 x、y、z 三个方向上的分量 |



注意事项

1. 这种数据记录方式一般适用于脉冲入射的情况。
2. 截面频率记录是通过时域傅里叶变换得出，因而记录时间必须足够长才能获得足够的频率分辨率；总的记录时间和。

输出数据结构

表 5-4-8-2 [频域]斜面记录器数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 三级节点 | 数据类型 | 含义 |
|--------------|------|----------------------|----------------|-----------------------------------------|
| rcd_cutplane | | | 数据表 | 挂载名称为“cutplane”的记录器的数据 |
| | | nf_0, 1, .. | 数据表 | 挂载记录器的第 n 个频点的数据 |
| | | Ex、Ey、Ez Hx、Hy、Hz | 二维 imagesc 图复数 | 截面上各点的场分量，横轴为局部坐标系的 u 轴，纵轴为局部坐标系的 v 轴。 |
| | | freq | 数值 | 记录器指定的第 n 个频点，Omega=f，单位为 Hz (不推荐调用) |

5.4.9. [时域]点记录器

[时域]点记录器用于记录指定点的场分量随时间的演化情况。

允许记录的场分量有：电场分量 (Ex、Ey、Ez)、磁场分量 (Hx、Hy、Hz)、电极化量 (Px、Py、Pz)、磁极化量 (Mx、My、Mz)、能流分量 (Sx、Sy、Sz)、场幅度 (H Amplitude、E Amplitude)。

选择“记录方式”为“[时域]点记录器”，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-9-1 [时域]点记录器参数设置

各参数意义见下表：

表 5-4-9-1 [时域]点记录器参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 中心位置 (X、Y、Z) | 指定点的空间位置坐标 | |
| 场分量 | 指定需要记录的场分量，允许选择：电场分量(E _x 、E _y 、E _z)、磁场分量(H _x 、H _y 、H _z)、电极化量(P _x 、P _y 、P _z)、磁极化量(M _x 、M _y 、M _z)、能流分量(S _x 、S _y 、S _z)、场幅度(H Amplitude、E Amplitude) | |

输出数据结构

计算完成后得到该点指定场的时域、频域数据，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-9-2 [时域]点记录器数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 数据类型 | 含义 |
|-----------|--------|------|------------------------------------------------|
| rcd_point | | 数据表 | 挂载名称为“point”的记录器的数据 |
| | data | 一维数组 | 该点指定场分量在各记录时间点的值 |
| | figure | 二维图像 | 该点指定场分量的频谱 图像横轴：归一化频率 图像纵轴：指定场分量在某频率下的幅值 |
| | proc | 智能数据 | 处理时域信号的智能数据 |



注意事项

[时域]点记录器支持 AR 自适应扩展时间步功能。

5.4.10. [时域]截面场平均记录器

[时域]截面场平均记录器用于记录截面上空间平均场值（含相位）随时间的演化情况，表达式如下：

$$\bar{X}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(t) \quad \text{公式 6-4-4}$$

其中场分量 X 允许选为：电场分量 (Ex、Ey、Ez)、磁场分量 (Hx、Hy、Hz)、电极化量 (Px、Py、Pz)、磁极化量 (Mx、My、Mz)、能流分量 (Sx、Sy、Sz)、场幅度 (H Amplitude、E Amplitude)。选择“记录方式”为“[时域]截面场平均记录器”，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-10-1 [时域]截面场平均记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-10-1 [时域]截面场平均记录器参数说明表

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 截面 | 指定需要记录的截面 允许选择的截面：XOY 面、XOZ、YOZ 面 | |
| 位置 | 指定截面在其法向坐标轴上的位置坐标 | |
| 场分量 | 指定需要记录的电场分量 (Ex、Ey、Ez)、磁场分量 (Hx、Hy、Hz)、电极化量 (Px、Py、Pz)、磁极化量 (Mx、My、Mz)、能流分量 (Sx、Sy、Sz)、场幅度 (H Amplitude、E Amplitude) | |



注意事项

1. [时域]截面平均场记录器支持 AR 自适应扩展时间步功能。
2. 该记录器常用于正入射的周期结构的透反率计算。

输出数据结构

计算完成后得到截面上空间平均场值的时域、频域数据，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-10-2 [时域]截面场平均记录器数据结构说明表

| 一级节点 | 二级节点 | 数据类型 | 含义 |
|------------------|------|------|----------------------|
| rcd_cutplane_mea | | 数据表 | 挂载名称为“cutplane_mean” |

| | | | |
|---|--------|------|-------------------------------------------------------|
| n | | | 的记录器的数据 |
| | data | 一维数组 | 截面上指定场的空间平均场值在各记录时间点的值 |
| | figure | 二维图像 | 截面上空间平均场值（含相位）的频谱 图像横轴：归一化频率 图像纵轴：指定场分量在某频率下的幅值 |
| | proc | 智能数据 | 处理时域信号的智能数据 |

5.4.11. [时域]表面场记录器

[时域]表面场记录器用于记录指定物体表面的场分布或电流分布随时间的演化情况。

允许记录的场有：电场（E）、磁场（H），将记录得到三个方向的场分量。

表面：物体按层叠关系构建后，按照材料选取物体，其总表面即记录的表面，见下图：



图 5-4-11-1 [时域]表面场记录器说明：表面选取规则

EastWave 中材料按照名称识别，允许设置参数完全相同的两个材料。借用材料副本方法，可以实现表面的选取或屏蔽，见下图：

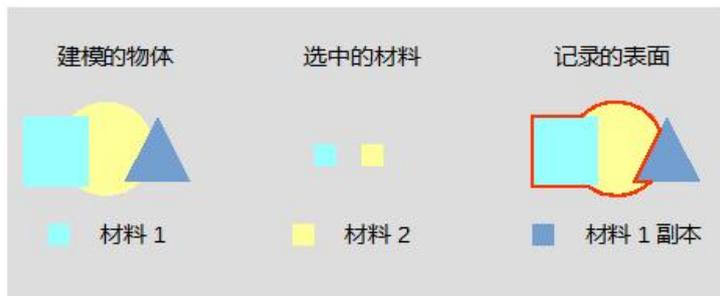


图 5-4-11-2 [时域]表面场记录器说明：材料界面

[时域]表面场记录器参数设置窗口如下图所示：



图 5-4-11-3 [时域]表面场记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-11-1 [时域]表面场记录器参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|------|------------------------------------------------------------|-------------------|
| 场分量 | 指定要记录的场 允许记录的场有：电场（E）、磁场（H） | 记录 E 或 H 三个方向的场分量 |
| 表面材料 | 按照物体的材料，指定要记录的表面 允许手动输入或勾选已创建的材料名称 手动输入时，多个材料用英文逗号隔开 | 材料名为新建材料时指定的材料名 |



注意事项

[时域]表面场记录器将根据设置的“间隔步数”保存出多个表面场文件，建议“间隔步数”设置一个相对大点的合适的值，不要采用默认的值 1，否则每隔一步保存出一个数据文件，将占用大量的磁盘空间，也会降低计算速度。

输出数据结构

计算完成后得到表面指定场随时间的演化情况，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-11-2 [时域]表面场记录器数据结构说明

| 节点名称 | | 数据类型 | 含义 |
|--------------|-------|------|------------------------|
| rcd_surfield | | 数据表 | 挂载名称为“surfield”的记录器的数据 |
| | datas | 三维动画 | 表面上的指定场在各记录时间点的幅值 |

5.4.12. [时域]远场记录器

[时域]远场记录器用于记录远场条件下指定角度的场随时间演化的情况。

外推面：由于 FDTD 方法只能计算空间有限区域内的电磁场，要获得计算区域以外的散射或辐射场，就必须根据等效原理在计算区域内作一个封闭面，然后由这个面上的等效电磁流经过外推来得到。

远场条件：满足远场条件的电磁波可以近似看作平面波，常用的 RCS 远场测量条件 $R > 2d^2/\lambda$ ，（ R 是远场实测距离， d 为物体的横向尺度， λ 为电磁波波长）。

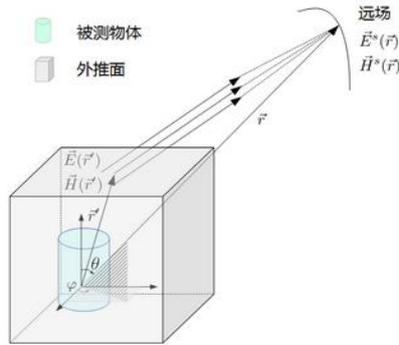


图 5-4-12-1 远场外推示意图

选择“记录方式”为“[时域]远场记录器”，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-12-2 [时域]远场记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-12-1 [时域]远场记录器参数说明表

| 参数名称 | | 参数意义 | 备注 |
|------|----------------|------------------|----|
| 外推面 | X 最小值 X 最大值 | 指定封闭外推面 X 方向上的范围 | 修正 |
| | Y 最小值 | 指定封闭外推面 Y 方向上 | |

| | | | |
|------|------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| | Y 最大值 | 的范围 | |
| | Z 最小值 Z 最大值 | 指定外推封闭面 Z 方向上的范围 | |
| 远场位置 | 外推距离 | 指定需要外推的远场的距离 | 单位：文档单位 一般默认为1E8个长度单位即可 |
| | θ | 指定远场位置 θ 角大小 | |
| | ϕ | 指定远场位置 ϕ 角大小 | |
| 工作平面 | Global 或用户自定义 | 使用所选工作平面的“局部坐标系”来定义外推方向角 θ / ϕ | 所选工作平面只影响外推方向的角度定义，只允许所选工作平面有“旋转”类型的坐标变换。 |
| 阻抗倒数 | | 指定记录器所在位置背景材料阻抗的倒数 | |



注意事项

[时域]远场记录器支持 AR 自适应扩展时间步功能。

输出数据结构

计算完成后得到远场指定位置处 θ 和 ϕ 偏振在各记录时间点的场值，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-12-2 [时域]远场记录器数据结构说明

| 一级节点 | 二级节点 | 数据类型 | 含义 |
|--------------|-----------|------|------------------------------|
| rcd_farfield | | 数据表 | 挂载名称为“farfield”的记录器的数据 |
| | r | 数值 | 指定的远场记录器距坐标原点的距离；单位：m |
| | Etheta | 一维数组 | 指定远场位置 θ 偏振在各记录时间点的场值 |
| | Ephi | 一维数组 | 指定远场位置 ϕ 偏振在各记录时间点的场值 |
| | EthetaFig | 智能数据 | 处理 θ 偏振信号的智能数据 |
| | EphiFig | 智能数据 | 处理 ϕ 偏振信号的智能数据 |

5.4.13. [时域]截面场记录器

[时域]截面场记录器用于记录指定截面上每点场分量随时间的演化情况。

允许记录的场分量有：电场分量(E_x 、 E_y 、 E_z)、磁场分量(H_x 、 H_y 、 H_z)、电极化量(P_x 、 P_y 、 P_z)、磁极化量(M_x 、 M_y 、 M_z)、能流分量(S_x 、 S_y 、 S_z)、场幅度(H Amplitude、E Amplitude)。
选择“记录方式”为“[时域]截面场记录器”，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-13-1 [时域]截面场记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-13-1 [时域]截面场记录器参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 截面 | 指定需要记录的截面 允许选择的截面：XOY 面、XOZ、YOZ 面 | |
| 位置 | 指定截面在其法向坐标轴上的位置坐标 | |
| 场分量 | 指定需要记录的电场分量(E_x 、 E_y 、 E_z)、磁场分量(H_x 、 H_y 、 H_z)、电极化量(P_x 、 P_y 、 P_z)、磁极化量(M_x 、 M_y 、 M_z)、能流分量(S_x 、 S_y 、 S_z)、场幅度(H Amplitude、E Amplitude) | |

输出数据结构

计算完成后得到截面上各点指定场分量的时域数据，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-13-2 [时域]截面场记录器数据结构说明

| 节点名称 | 数据类型 | 含义 |
|--------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| rcd_cutplane | 数据表 | 挂载名称为“cutplane”的记录器的数据 |
| figure | 二维动画 | 截面上的指定场在各记录时间点的幅值 XOY 面：横轴为 X，纵轴为 Y； YOZ 面：横轴为 Y，纵轴为 Z； ZOX 面：横轴为 X，纵轴为 Z； |
| figure3d | 三维动画 | 将二维截面场数据嵌入物体模型中显示。 |

5.4.14. [时域]截面极值记录器

[时域]截面极值场记录器用于提取指定截面上每一空间点的场随时间变化的极值。选择“记录类型”为“[时域]截面极值记录器”，参数设定界面如下图所示：



图 5-4-14-1 [时域]截面极值记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-14-1 [时域]截面极值记录器参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 截面 | 指定需要记录的截面 允许选择的截面：XOY 面、XOZ、YOZ 面 | |
| 位置 | 指定截面在其法向坐标轴上的位置坐标 | |
| 类型 | 勾选需要提取的信息： 电场：电场绝对值 (Eabs) 及各个分量 (Ex、Ey、Ez) 的极值，和场时间变化率的极值 磁场：磁场绝对值 (Habs) 及各个分量 (Hx、Hy、Hz) 的极值，和场时间变化率的极值 功率密度：功率密度绝对值 (S) 及各个分量 (Sx、Sy、Sz) 的极值 能量密度：能量密度 (W) 及电场能量密度 (We)、磁场能量密度 (Wh) 的极值 | 注意：记录器使用场量的绝对值提取极值，但结果仍保留场量取得极值时的正负号。 |

输出数据结构

计算完成后得到截面上各点指定场分量的时域数据，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-14-2 [时域]截面极值记录器数据结构说明

| 节点名称 | | 数据类型 | 含义 |
|--------------|------|------|----------------------------------------------------------------------|
| rcd_extremum | / | 数据表 | 挂载名称为“extremum”的记录器的数据 |
| | data | 数组 | 各个场量的时域极值在截面上的分布的原始数据，及对应各个空间点取得各自极值的时刻 例如：Ex_Peak 为 Ex 分量的时域极值在截 |

| | | | |
|--|----------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------|
| | | | 面上的分布,相应的 Ex_PeakTime 为空间每一个点达到自身极值的时刻 (单位为秒) |
| | when | 数值 | 记录器提取信息所用的起始时间步 (begin)、结束时间步 (end) 及时间步间隔 (step) |
| | Efield、EfieldDerivative、Hfield、HfieldDerivative、PowerDensity、EnergyDensity | 图 | 各个场量的时域极值在截面上的分布,每个图包含相应场量各个分量的子图 包含 “_im3d” 后缀的图可同时显示物体网格和场分布 |

5.4.15. [时域]斜面记录器

记录指定斜面上的场随时间的演化情况。允许记录的场分量有：电场分量 (Ex、Ey、Ez)、磁场分量 (Hx、Hy、Hz)。

选择“记录方式”为“[时域]斜面记录器”，参数设定界面如下图所示：

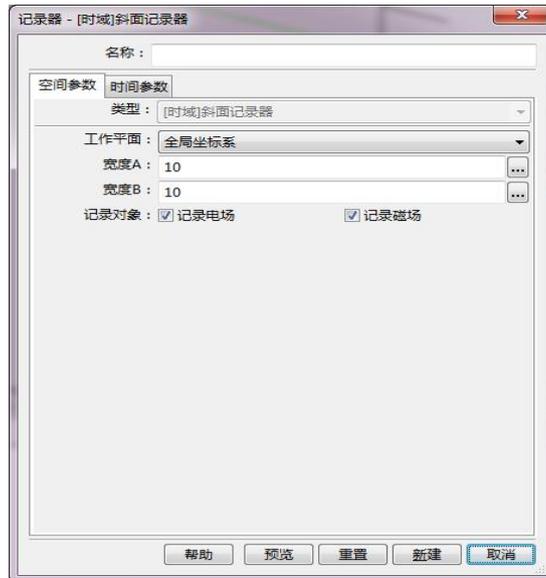


图 5-4-15-1 [时域]斜面记录器参数设置

各参数含义见下表：

表 5-4-15-1 [时域]斜面记录器参数说明

| 参数名称 | 参数意义 | 备注 |
|------|------------------------------------|--------|
| 工作平面 | 用已有工作平面，指定待记录的斜面 | |
| 宽度 | 待记录的斜面宽度，两个宽度方向为工作平面给定直角坐标系的 U、V 轴 | 文档长度单位 |
| 记录量 | 选择是否记录电场和磁场。 | |

输出数据结构

计算完成后得到截面上各点指定场分量的时域数据，并以“rcd_”+“记录器名”的节点名称挂载到相应工程的 ewd 数据文件根节点下，挂载方式和含义见下表：

表 5-4-15-2 [时域]斜面记录器数据结构说明

| 一级节点 | 数据类型 | 含义 |
|----------------------|--------------------|----------------------------------------|
| Ex、Ey、Ez Hx、Hy、Hz | 二维 imagesc 图 复数 | 截面上各点的场分量，横轴为局部坐标系的 u 轴，纵轴为局部坐标系的 v 轴。 |

5.5. 元件模块

通过“元件”对物体建模是 Eastwave 建模的一大特色。EastWave 致力于电大、复杂体系的仿真，上海东峻基于“元件”开发的一系列建模功能，这些功能可快速生成万单元以上共形天线阵、百万单元多种频率选择表面（超材料）构成的大型天线罩等复杂建模，利用“多元件”建模可实现“多层嵌套阵”、“多种吸波材料的复杂结构暗室”、“天线罩+频选/超材料结构”等复杂“嵌套结构”的快建模、参数化建模等等功能。

通过元件概念，软件建模在功能上实现“结构”、“材料”、“对物体操作”的分离。这一分离赋予元件有以下丰富的内涵：

1) “元件”包含某个“物体”的结构信息。例如，我们在构建某个物体时，可以通过元件保留物体的结构信息（几何形状、尺寸等等）。

2) “元件”可以“多次复用”。例如可重复使用某元件（如“柱体”），经过缩放/拉伸、平移、多轴旋转后产生各异的“多个部分”，再拼接成一个复杂的天线单元。

3) “元件”包含了“共享信息和共同操作”。例如，我们可利用“某元件”产生阵列，通过修改“共享的元件”，就能方便地统一修改阵列所有单元的某尺寸（如“高度”）和形状（如“方→圆”），不必再次建模和多次操作。如此大幅降低了复杂重复结构建模和修改的难度，也可以方便进行“多参数寻优”计算（如“发现最佳的高度、阵列类型、单元距离…”等等）。

4) 利用“元件”可以方便实现“多层嵌套结构”。例如，需要改变阵列的部分单元（例如“左边一半”）的高度，那可以选择“左边所有的单元”，重新定义“新元件”，通过修改“新元件”的高度，就可以改变所有左边单元的高度，而右边保持不变。

5) 利用“元件”可以构建“曲面共形”复杂结构。例如，我们希望构建“曲面共形天线阵”或“频选/超材料天线罩”，即可根据曲面的局部特征，对局部的单元进行“平移、多轴旋转”等规定操作，从而构建优良的曲面共形阵列结构。

6) 元件可以通过“组合”、“拆分”生成新元件，该功能常常用于构建复杂元件和多参数优化。

5.5.1. 元件概念

元件首先是物体结构的抽象，在建模过程中，软件可以通过元件保留物体的结构信息，还可以通过元件进行复杂建模。通过元件概念，软件建模在功能上实现“结构”、“材料”、“对物体操作”的分离。

EastWave 的物体抽象为材料、结构、对物体的空间操作以及网格剖分属性等几个并列的、平等的、闭合的控制项。用户可以在任何时候，任何层级对物体进行修改，而不影响物体的其他属性和其他物体。如图 5-5-1-1，EastWave 给出物体建模的基本对话框，用户可以通过该对话框定义物体的材料信息，结构、坐标变换和网格属性。

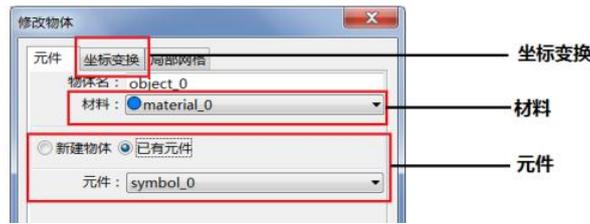


图 5-5-1-1 物体三要素

元件包含了物体基本的结构信息，包括外形、初始中心位置，除了剔除物体的材料属性、颜色属性外，物体尺寸不再含有单位信息。当软件通过各种物体建模引进新的结构时，会自动生成对应元件，通过元件保留结构信息。同时，在“具有重复结构类型”的物体（如天线阵）建模时，相同结构的物体（如所有天线单元），可以通过“共用元件”实现，也可通过修改“共用元件”来实现统一修改。

如图 5-5-1-2，元件“symbol_0”抽象了物体“球体”的结构信息，元件“symbol_1”某一圆柱体的结构信息，通过元件“symbol_1”建立了物体“圆柱体 1”、物体“圆柱体 2”和物体“圆柱体 3”

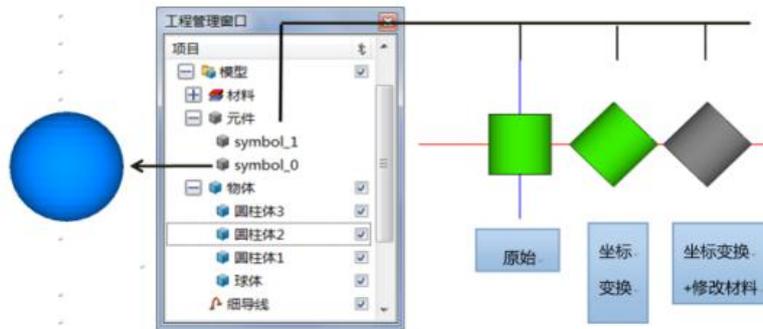


图 5-5-1-2

基于元件概念，EastWave 实现了“结构”、“材料”、“对物体操作”的分离，把物体抽象为材料、结构、对物体的空间操作以及网格剖分属性等几个并列的、平等的、闭合的控制项。如图 4-2 在网状建模思路中，元件的组合功能，建立了新元件“元件 3”，实现复杂物体的构建。此时，物体 1、物体 2 和物体 3 共用“立方柱”元件，可以通过改变“立方柱”元件的“高度”属性，统一修改物体 1，物体 2 和物体 3。若只想修改物体 1 和物体 2，而对物体保留物体 3 原来结构，软件提供元件“独特”功能，把元件 3 与“立方柱元件”独立起来，成为一个独立结构体，这样修改“立方柱元件”不再改变“元件 3”和物体 3 的结构。元件内涵赋予了 EastWave 组合建模功能和建模思路，突破了“线性”建模的思维，我们称这一建模思路为“网状”建模思路。

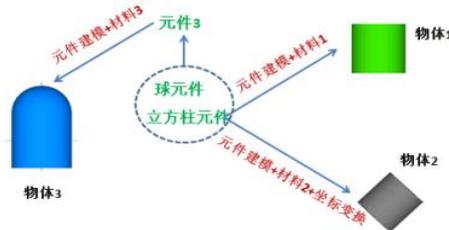


图 5-5-1-3

5.5.2. 元件操作

1) 新建元件

右键元件，选择新建元件，在“元件类型”中选择“梯型台体”，输入如图 5-5-2-1 参数，完成一个频选单元的建模。

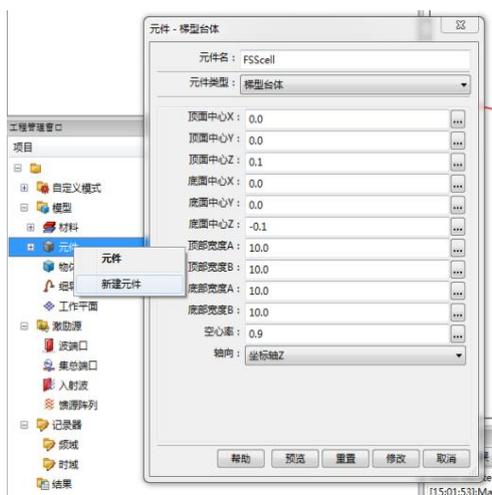


图 5-5-2-1 新建元件

2) 元件自动生成

当软件通过导入“stl”、“step”、“igs”等格式的物体时，软件会自动生成对应的元件。用户还可以通过界面建立球体、立方体以及复杂的参数化模型、阵列模型时，软件同样生成对应的“元件”。当界面通过“组合”功能把两物体组合起来时，软件也生成相应的组合结构的元件。总之，当软件引入新的物体结构时，软件会生成相应的元件与该结构相对应，保证元件功能的完备性。

3) 元件的拆分功能

对于结构复杂的导入元件，往往需要取元件内的局部结构进行结构的复用。EastWave 提供了拆分功能，如图 5-5-2-2。把元件拆分成细小的元件结构，实现对元件内部分结构的复用。

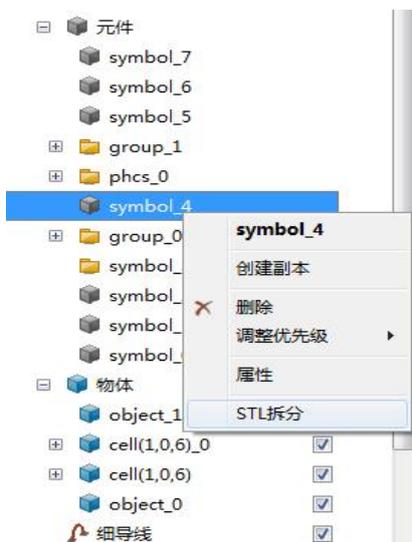


图 5-5-2-2 元件拆分

5.5.3. 元件相关高级建模功能

1) 阵列结构建模功能

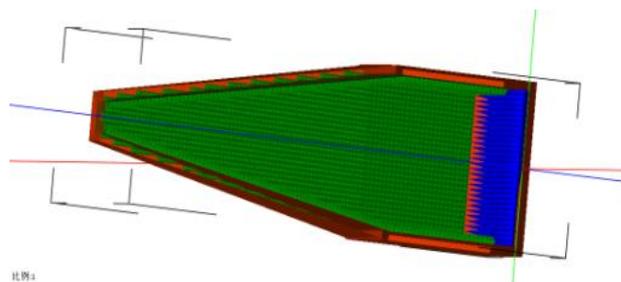


图 5-5-3-1

2) 曲面共形天线建模技术

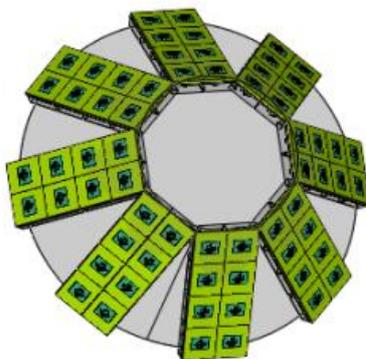


图 5-5-3-2

3) 频选表面天线罩建模功能

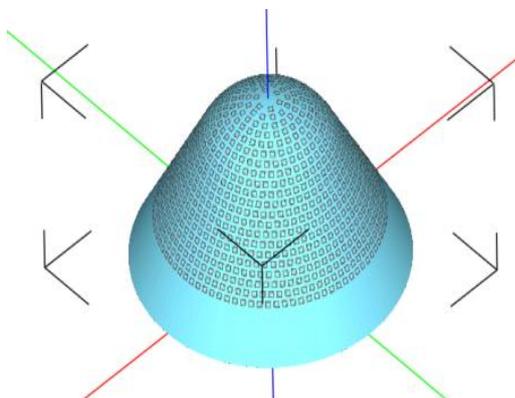


图 5-5-3-3

5.6. 细导线

细导线就是一根直径小于一个格子大小的理想金属圆导线，其周围的平行电场分量满足距离分之一衰减。细导线参数设置窗口如下图所示：



图 5-6-1 细导线设置窗口

各参数含义见下表：

表 5-6-1 细导线参数说明

| 参数名称 | | 参数意义 | 备注 |
|------|----|------------------------------|------------------------------------------|
| 中心位置 | | 指定细导线的中心位置 | |
| 线 | 方向 | 指定细导线的方向 | 注意：细导线半径远小于网格。细导线为关键网格线，使用时需要将网格设为非均匀网格。 |
| | 半径 | 指定细导线的半径 | |
| | 长度 | 指定细导线的长度 | |
| 网格控制 | | 勾选“启用强制网格控制”，则细导线位置有强制网格面通过。 | |



注意事项

1. 细导线只能沿着 X\Y\Z 三个坐标轴方向，不能设置为倾斜
2. 细导线不能直接在物体节点中建模，不能进行坐标变换，其坐标应预先计算好（可利用变量表辅助设置）
3. 用户可将细导线按照某个物体阵列（或组、自定义阵列）进行绑定后产生细导线阵列，从而实现对天线阵馈线的自动设置
4. 细导线的行为与激励源类似，与网格上的材料无关（可认为用细导线覆盖网格上的材料）。

第六章 核心设置

本章主要说明 EastWave 仿真计算过程中用到的核心设置选项。

6.1. 常规设置

单位、背景材料和频率是用户文档最基本的参数。用户可以在菜单栏中的“求解器”菜单中选择。

1) 单位

单位对话框如图 6-1-1



图 6-1-1 单位设置

如上图所示，用户可以设定文档中使用的长度、时间和频率单位：

- 电磁波工程类用户建议使用毫米和 GHz 为单位，时间单位建议选择自动相关。
- 光电类用户，长度单位可取纳米、微米，频率单位可取 Hz 或 THz，时间单位同样建议选择自动相关。

相应的文档全局变量分别为 UL、UT 和 UF，在计算时如需消除单位差异而进行的运算中可引用这些全局变量（例如定义时域波形中的相位是无量纲的，需要用这几个参数）。



注意事项

1. 对于光电用户，建议用户勾选时间单位选项后的“自动相关”勾选框。该功能可以迫使在网格设置中，满足 FDTD 迭代稳定性条件时（不考虑非均匀网格和共形网格等其他因素）能满足迭代时间补偿在数值上恰好满足网格宽度上限 $\Delta x_{sup} = \Delta t$ 。相关内容参考“FDTD 迭代稳定性条件”。

2. 电磁波客户使用普通物理单位时，请注意在高斯脉冲设置处使用频率方式设置高斯脉冲后，再进行微调。

2) 背景材料

在“求解器”菜单中点击“设置背景”，打开背景材料设置对话框如下图 6-1-2 所示：

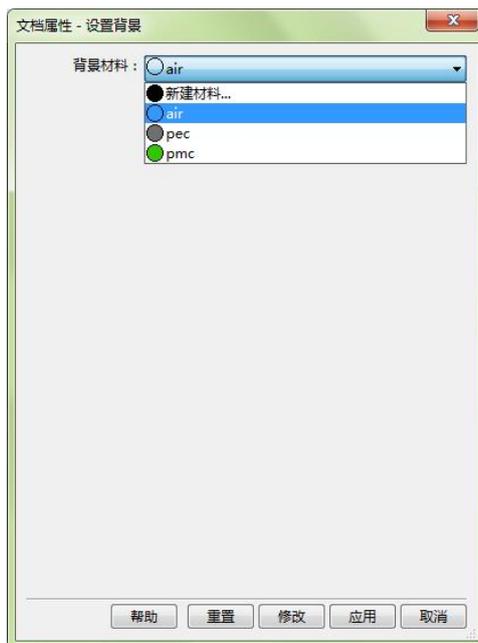


图 6-1-2 背景材料设置对话框

在模拟一些介质中电磁波的传播行为时有时需将背景材料修改为用户需要的某种材料。



注意事项

1. 部分记录器、光源处于非空气介质中，需要设置背景材料的介电常数、波阻抗等参数。
2. 如果背景材料有较高的介电常数或其他复杂色散行为，需要考虑将网格参数调节得较为精细。

3) 频率

在“求解器”菜单中点击“设置频率”，打开频率设置对话框如下图 6-1-3 所示：

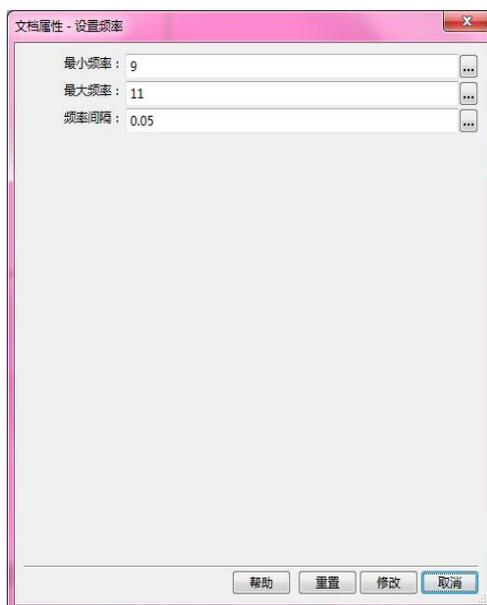


图 6-1-3 频率设置对话框

选择一个合适的频率范围对获得正确的 FDTD 仿真结果非常重要。用户在该对话框中设置了三个参数：最小频率、最大频率和频率间隔，将会产生几个全局文档那个变量：

表 6-1 文档全局变量

| 变量名 | 说明 |
|------------|------|
| FREQ_MIN | 最小频率 |
| FREQ_MAX | 最大频率 |
| FREQ | 中心频率 |
| LAMBDA_MIN | 最小波长 |
| LAMBDA_MAX | 最大波长 |
| LAMBDA | 中心波长 |
| FREQ_DELTA | 频率间隔 |

在设置网格、激励源和记录器时可以使用上述变量，可加强工程文档的可重用能力。



注意事项

1. FREQ_MAX、LAMBDA_MIN 参数会影响智能、半智能网格的设置。
2. 在一些常见的计算问题中，默认设置条件下，FREQ_DELTA 会决定激励源、记录器频率分辨率以及计算的物理时间等参数（参考傅里叶变换相关知识）。

6.2. 边界设置

在仿真不同类型电磁波问题时可能使用不同的边界条件。边界类型分为：开放边界、周期边界、PEC 边界、PMC 边界和布洛赫边界几类：

表 6-2-1 各种边界类型常见问题

| 边界类型 | 使用条件 | 常见问题 | 备注 |
|--------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 开放边界 | 模拟无限大空间时使用 | <ul style="list-style-type: none"> • 天线（天线罩）辐射问题 • 雷达散射截面（RCS）问题 • 有限大天线阵问题 | <ul style="list-style-type: none"> • 开放边界即吸收边界，用于降低电磁波在边界上的反射。 • 需要选择合适的吸收边界类型（PML、UPML、CPML 和阻抗匹配吸收）。 |
| PEC 边界 | 边界上电场连续时使用 | <ul style="list-style-type: none"> • 等效镜像源时可使用 • 微波暗室的吸收墙 | <ul style="list-style-type: none"> • 电场在该边界被完全反射，边界上电场为零 |
| PMC 边界 | 边界上磁场连续时使用 | <ul style="list-style-type: none"> • 暂无 | <ul style="list-style-type: none"> • 磁场在该边界被完全反射，边界上磁场为零 |

| | | | |
|-------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周期边界 | 计算体系（包含物体、激励源）在某个方向上为周期性分布时使用 | <ul style="list-style-type: none"> • 多层薄膜透反射问题（如FSS 仿真） • 光子晶体能带计算 • LED 问题 • 光栅问题 • 无限大天线阵辐射、RCS 问题 • 其他一维、二维计算问题 | <ul style="list-style-type: none"> • 将计算区域内的电磁场及光源强度分布在空间进行了周期性的延拓 • 正负方向锁定为一致的周期边界 • 仅限于正入（出）射计算 |
| 布洛赫边界 | 计算体系为平板斜入射时，布洛赫边界方向为等幅但相位相差常数 | <ul style="list-style-type: none"> • 多层膜透反射问题 • 无限大天线阵辐射、RCS 问题 • 光纤波导模式 | <ul style="list-style-type: none"> • 模型在周期性延拓中，在边界上加入了相位信息。Bloch 矢量实部和虚部表示布洛赫波在 X、Y、Z 方向上对应的波矢的实部和虚部的大小。 • 正负方向锁定为一致的布洛赫边界 • 常用于斜入（出）射，要求在精度中必须选择复数双精度类型 |



布洛赫边界设置

布洛赫边界主要用于斜入（出）射问题的计算。如果 XOY 面的平板，在 x 方向上选择布洛赫边界条件，y 方向选择周期边界，则其表达式为：

$$k_x = \frac{2\pi}{\lambda} \sin(\theta)$$

其中 θ 角表示入射角（入射方向和 z 轴的夹角）。

详细设置方案参考 附录 V 斜入射与布洛赫边界条件。

用户打开边界设置对话框如下图 6-2-1：

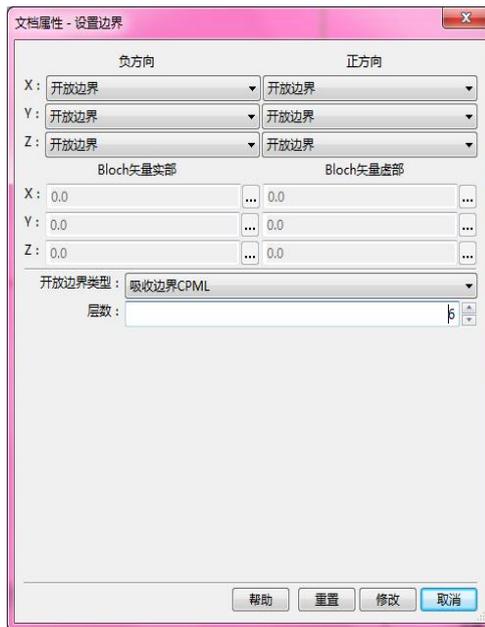


图 6-2=1 边界设置对话框

当选择开放边界时，需要正确选择和合适的吸收边界。每种边界的含义和用法如下表 6-5-2-2：

表 6-2-2 吸收边界的含义和用法

| 吸收边界 | 含义 | 用法 |
|--------|-------------|--------------|
| PML | 完美匹配吸收边界 | 边界上介质连续时使用 |
| UPML | 单轴完美匹配吸收边界 | 边界上介质不连续时使用 |
| CPML | 卷积式完美匹配吸收边界 | 对吸收效果指定要求时使用 |
| 阻抗匹配吸收 | 一般用于波端口 | |

在设置各种吸收层时，可以设定层数。通常层数越多吸收效果越好。



注意事项

1. 使用二维、一维计算体系时使用吸收边界时注意增加吸收层的厚度，尤其使用 CPML 时应在周期方向上拓展几个网格，而不要只有一个网格。
2. 开放边界附近有强色散材料时注意延拓空间（ADDSPACE）要适当增大，否则可能引发边界附近计算不精确或部分发散。

6.3. 网格设置与查看

网格设置是 EastWave 仿真过程中的重要设置，与计算量的大小和计算结果的精度密切相关。EastWave 提供 3 种网格划分策略，分别为均匀网格、非均匀网格（策略一）、非均匀网格（策略二），其中非均匀网格（策略二）为 6.0 版本新增内容。EastWave 6.0 还提供了薄层网格划分功能，可用最少的网格保证薄层网格的连通性，在保证计算精度的基础上，大大减小了计算量。

6.3.1. 常规网格设置

在菜单栏中选择“求解器”，“设置网格”，可以打开“设置网格”对话框，如图 6-3-1-1



图 6-3-1-1 “设置网格”菜单选项

1) 基本网格设置

EastWave 6.0 提供了智能网格、半智能网格和自定义网格三种基本模式供用户选择。其中智能网格和半智能网格还提供 2D 和 3D 网格类型：

a. 智能网格（2D/3D）：智能网格（二维/三维）。智能网格根据模型（包含结构、激励源和记录器构成的整体）的边界和网格质量的要求自动定义出计算区域的大小和网格空间大小。

b. 半智能网格（2D/3D）：半智能网格可根据用户需要自定义计算区域的范围，由系统根据网格质量的要求自动定义网格空间大小。

c. 自定义：自定义网格具有最大的灵活性，用户可任意的定义模型计算区域的范围，并可以灵活的指定各个方向上的网格空间大小。

用户若需设置网格属性，可以在主菜单栏中选择“求解器”下拉菜单中的“设置网格”项目或在工程管理窗口中的计算模式节点下双击“网格”。网格设置对话框如下图 6-3-1-2 所示：

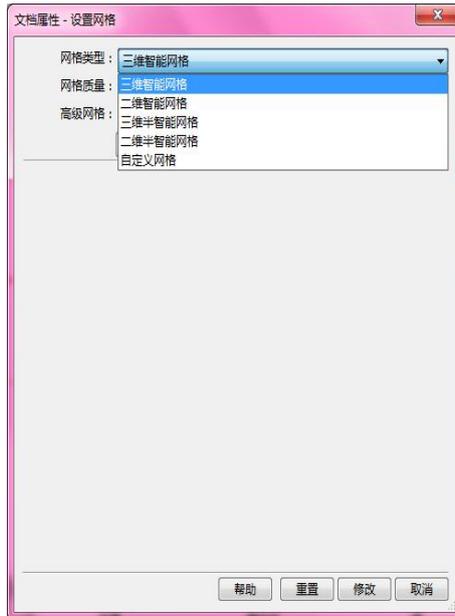


图 6-3-1-2 网络设置对话框

用户可在对话框左上角下拉菜单“网格类型”中选择需要的网格类型。

表 6-3-3 网络设置参数说明

| 网格类型 | 说明 | 备注 |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 二维/三维智能网格 | 开放边界：默认网格计算区域为模型（含结构、激励源、记录器）外接长方形加延拓空间大小。 其他边界：外接长方形（不含延拓空间） 网格空间大小由系统根据网格质量自动给定。 | 延拓空间可以在“高级”里设定。 二维时默认选取 XOY 截面； 智能网格只适合所有边界是开放情况下。 |
| 二维/三维半智能网格 | 计算区域可根据需要自行定义 网格空间大小由系统根据网格质量自动给定。 | |
| 自定义网格 | 可自定义模型计算区域的范围、网格、各个方向空间步长、时间步长及计算步数 | |

在智能或半智能模式下，EastWave 会自动得出一个较为合理的网格数量、计算时间、步长等参数。建议用户选择某种智能或半智能网格后，点击“确认”，然后再打开网格设置对话框，并且选择“自定义”网格类型，软件将显示上次智能（或半智能）网络的设置参数。



注意事项

1. 根据频率间隔（频率分辨率）得到计算时间 $T_1=1/\Delta f$;
2. T_{pulse} 等于由文档最大最小频率决定的**典型高斯脉冲宽度**（下式），其中 f_w 表示脉冲能谱的半峰宽。

$$T_{\text{pulse}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi f_w}$$

3. 根据电磁波在计算区域对角线之间来回传播两次的时间，得到 $T_2=4L_{\text{max}}/c+2T_{\text{pulse}}$ ，其中 L_{max} 为计算区域对角线的长度，并加上脉冲自身宽度的两倍左右的时间；

4. 取 T_1 、 T_2 中的最大值作为最终的计算时间 T_{max} ；

5. 计算步数 $N=T_{\text{max}}/\Delta t$ 。

6. 如果计算提前结束（如达到收敛精度或人为手动结束），则与 AR 相关的记录器\激励源（点记录、截面平均记录、远场记录(时域)、集总端口、波端口）数据将被外推到 T_{max} ，如无法外推则通过插值的方法拓展到 T_{max} 。

7. 用户选择“自定义网格”类型时可参照上述方法根据课题需求确定有关参数。

2) 网格质量

在基本的网格设置中，用户还可以选择网格质量参数，该参数用来控制 FDTD 正交网格的粗细度，分为：低、较低、中、较高、高、很高和自定义几种情况。在工程文档中用变量定义参数的时候可以使用 MESH_QUALITY 全局变量引用这个参数对应的网格质量因子，该参数显示在网格质量下拉菜单文字后的括号内（见下图 6-3-1-3）。

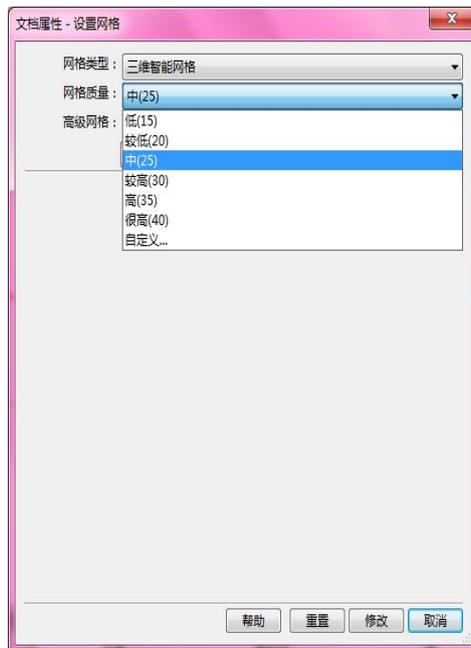


图 6-3-1-3 网格质量设置

MESH_QUALITY 参数表示一个波长大约需要划分多少个格子，该功能在智能或半智能网格类型中直接引用。在智能、半智能网格情况下选择均匀网格时，网格长度由用户文档设置的最高频率

对应的最小波长 $LAMBDA_MIN$ 和网格质量参数 $MESH_QUALITY$ 决定（两者相除）。选取非均匀网格时该参数具有限定上下限和基本指导意义。

3) 查看网格剖分

网格查看功能能够帮助用户对建立好的结构进行离散化，以确认最终参与计算的结构是否符合设计要求。EastWave 6.0 增加了一种新的网格查看方式，以避免查看网格时填充三维网格的材料信息，在新方式下（默认）用户可以在普通 PC 机上查看电大尺寸工程的网格划分情况。用户在

工具栏  中点击左边的网格剖分按钮  后，软件界面弹出离散化区域设置窗口，如下图 6-3-1-4 所示：



图 6-3-1-4 离散化区域参数设置

默认情况下，使用“网格显示”功能（如上图）观察网格（不同于之前的版本），在指定位置处产生一个非均匀网格面，并显示网格划分信息（工具栏中开启了切片功能可以看到物体内部），如图 6-3-1-5：

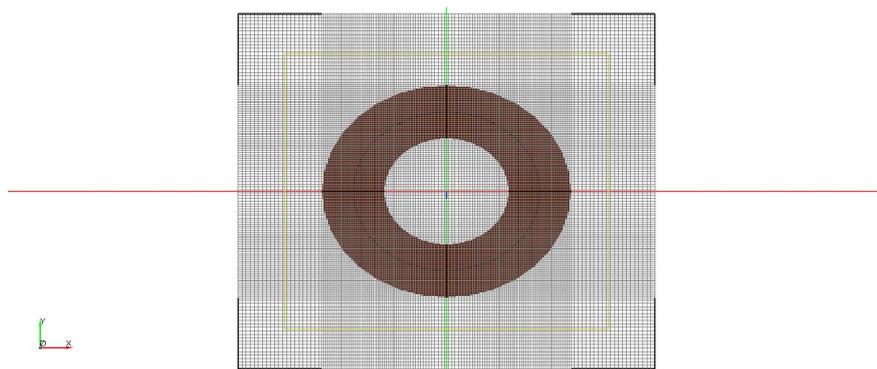


图 6-3-1-5 直接查看非均匀网格划分

EastWave 6.0 中保留之前版本查看三维网格划分的情况，选择【自动】和【自定义】时采用传统方式查看，如下图 6-3-1-6：



图 6-3-1-6 传统的网格查看方式

在这里可以指定需要查看离散化网格的区域，点击确定后即可生成指定区域中的离散化网格。

还可以通过  显示或隐藏网格线。EastWave 6.0 为高级用户增加了查看电场网格线和磁场网格线，对于需要计算磁性材料的用户提供方便。选择“自定义”方式时，用户还可以在模型窗口中选择物体，指定物体的包围框查看 FDTD 网格的区域。

6.3.2. 均匀网格

“设置网格”对话框中，在“高级网格”下拉菜单选择“均匀网格”，如图 6-3-2-1。



图 6-3-2-1 均匀网格设置

当网格类型为均匀网格时，所有网格 X 方向，Y 方向和 Z 方向对应的边长都相同，如图 6-3-2-2

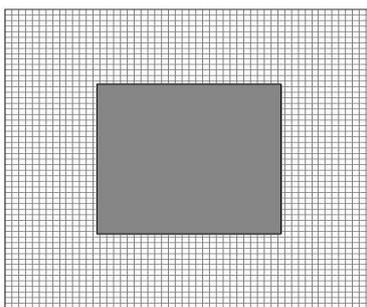


图 6-3-2-2

在默认设置下，X 方向，Y 方向和 Z 方向的网格边长相等，即格子形状为正方体。如需单独调整每个方向的格子边长，在“网格类型”下拉菜单中选择“自定义网格”，如图 6-3-2-3。

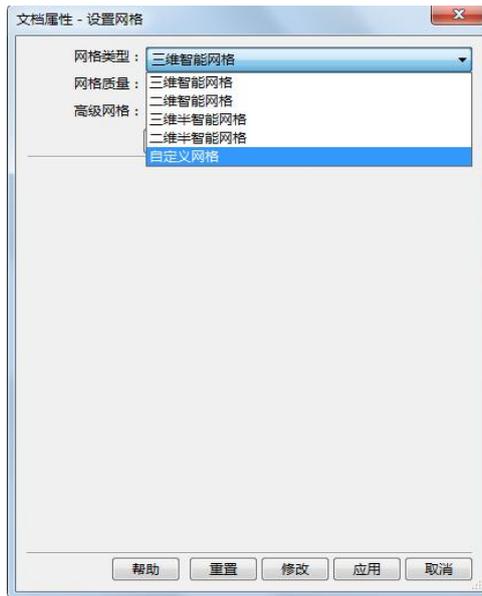


图 6-3-2-3 自定义网格

“自定义网格”设置如图 6-3-2-4，红色区域部分为单独调整 X 方向，Y 方向和 Z 方向的网格数，绿色区域为该方向对应的网格边长。

 注意事项

注意：当修改网格大小时，其对应的时间步长（即 ΔT ）和步数也要做出相应修改，如图 6-3-2-4 蓝色区域部分。使之满足 FDTD 计算的稳定性和电磁波传播满足的时间要求。详情请参考附录-I FDTD 原理（3）迭代稳定性要求和边界条件和 6.3.6 计算步数和时间步长调整

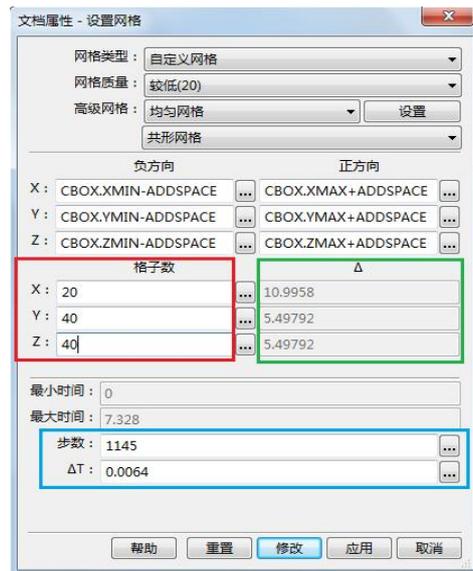


图 6-3-2-4

当时间步长（即 ΔT ）不合理时，软件会自动给出报错信息，如图 6-3-2-5。修改时间步长（即 ΔT ）使其数值略低于报错信息给出的数值即可。

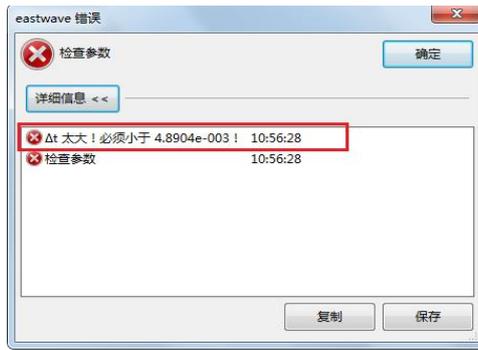


图 6-3-2-5 时间步长报错信息

单独调整网格单方向长度后的划分如图 6-3-2-6

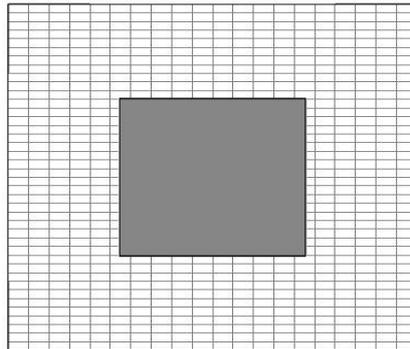


图 6-3-2-6 单独调整某一方向网格的划分

6.3.3. 非均匀网格策略一

在“设置网格”对话框中，“高级网格”下拉菜单选择“非均匀网格(策略一)”，如图 6-3-3-1。



图 6-3-3-1 网格设置对话框

点击“设置”，打开非均匀网格（策略一）的“高级网格设置”选项，如图 6-3-3-2



图 6-3-3-2 非均匀网格（策略一）高级网格设置

非均匀网格（策略一）的高级网格设置说明如表 6-3-3-3

表 6-3-3-3 非均匀网格（策略一）高级网格设置参数说明

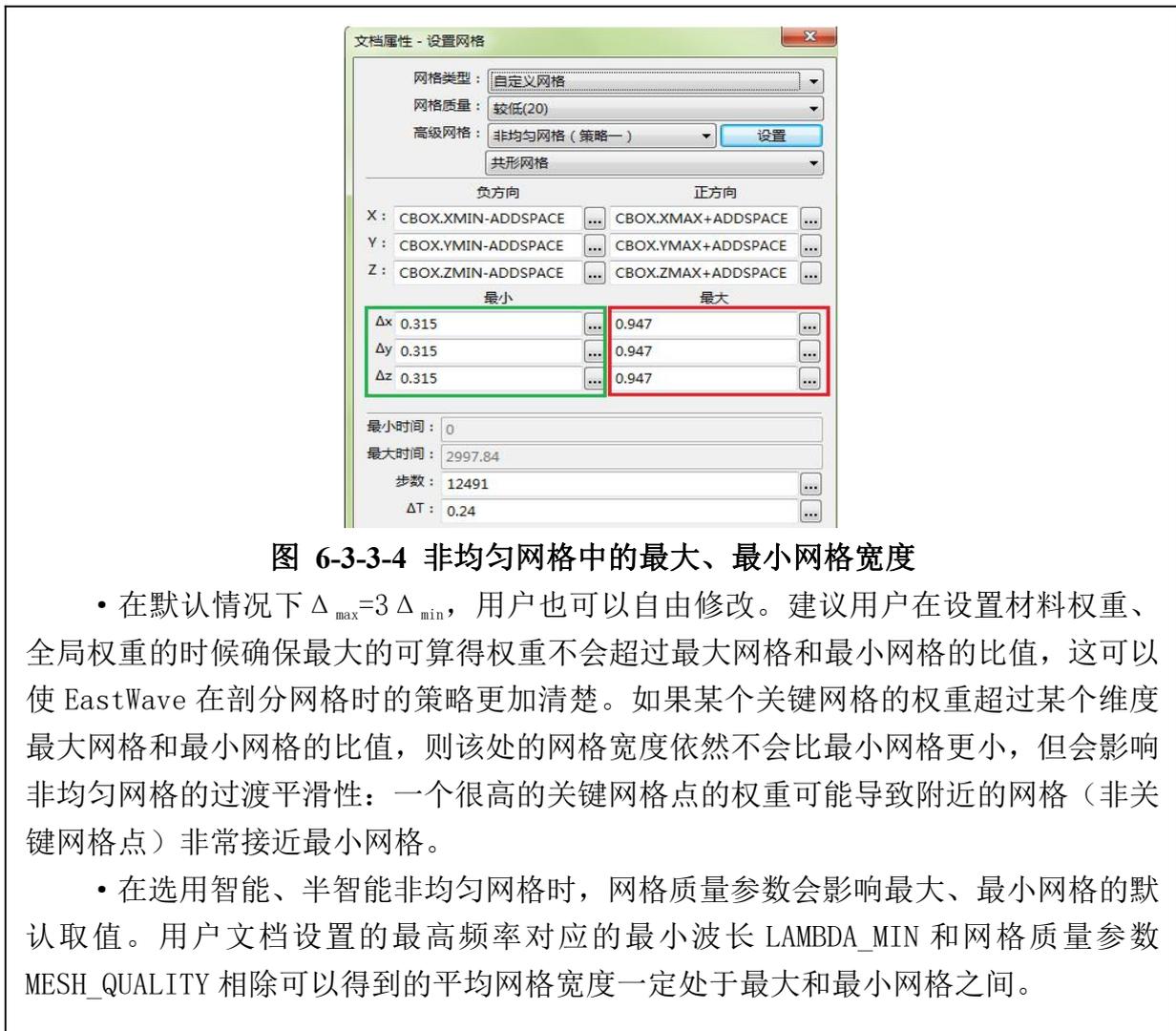
| 参数 | 含义 | 备注 |
|-------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 平滑过渡宽度 | 指定计算区域中以权重突变点为中心, 正负平滑过渡宽度的范围为过渡区 | 平滑系数越高网格过渡越平滑 |
| 材料权重 | 指定全局材料权重的大小 | 最终的材料权由全局权重和材料自身权重共同决定。权重越大, 网格划分越密 |
| 斜率权重 | 指定全局斜率权重的大小 | 数值上等于 $1+\cos \theta$, 其中 θ 为结构与网格处交点的切线和水平网格线之间的夹角。斜率权越大网格越密 |
| 延拓空间 | 指定延拓空间的大小 | 智能网格开启时, 开放边界距离用户模型区域 (包括光源、记录、物体等) 的距离 |
| 物体中心控制点 | 要求物体的中心有网格线穿过 | |
| 物体边界控制点 | 要求物体边界的特征控制点有网格线穿过 | |
| 物体外包围框中心控制点 | 要求物体外包围框中心有网格线穿过 | |
| 物体外包围框边界控制点 | 要求物体外包围框边界特征控制点有网格线穿过 | |
| 垂直表面 | 要求物体的垂直表面 (与 XOY、YOZ、ZOX 中之一平行或垂直) 必须有网格面平行划过 | |

非均匀网格通过权分布和关键点来控制其网格的生成:



注意事项

- 在设置网格权重因子必须考虑到非均匀网格设置中的最大网格宽度和最小网格宽度之比的问题。用户可打开“自定义网格”查看由智能或半智能网格类型生成的非均匀网格参数, 下图中的绿色框内是三个方向的最小网格宽度, 而红色框内是三个方向的最大网格宽度:



6.3.4. 非均匀网格策略二

在“设置网格”对话框中，“高级网格”下拉菜单选择“非均匀网格(策略二)”，如图 6-3-4-1。



图 6-3-4-1

点击“设置”，可打开非均匀网格（策略二）的“高级网格设置”选项，如图 6-3-4-2、图 6-3-4-3、图 6-3-4-4。

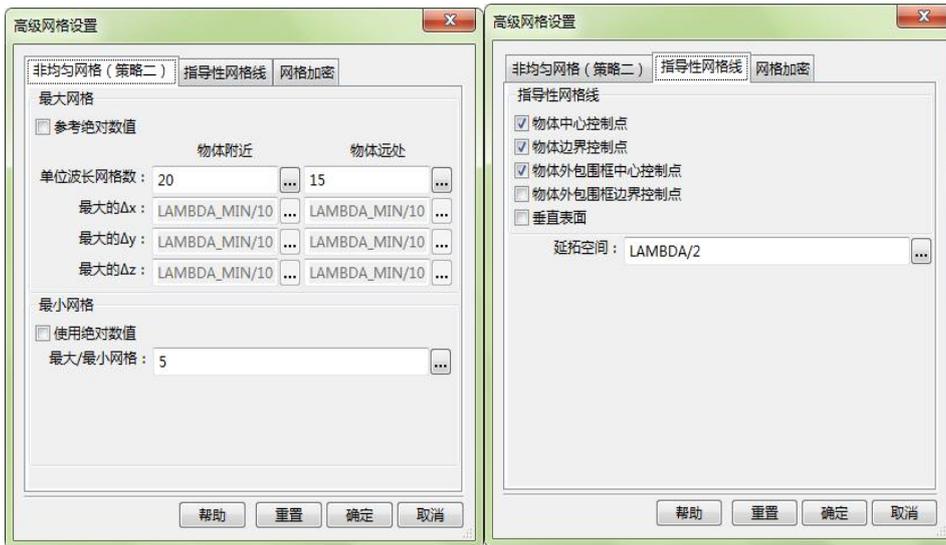


图 6-3-4-2

图 6-3-4-3

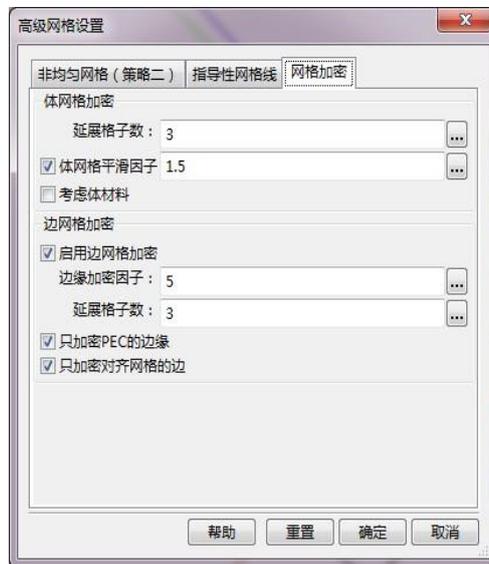


图 6-3-4-4

非均匀网格（策略二）允许用户控制多项策略参数，并且允许选择使用相对比例或绝对数值两种设置方式。同时非均匀网格（策略二）提供更多的网格指导线生成机制，并提供新的网格加密机制，可以平衡非均匀网格的精度和网格总数。此外，非均匀网格（策略二）入了物体局部网格设置，用于对特定物体的独立加密，参见 物体局部网格设置 补充内容。

表 6-3-4 新版高级网格设置参数说明

| 参数 | 含义 | 备注 |
|--------------|------------------|----------------------------------------------------|
| 配置：非均匀网格基本参数 | | |
| 参考绝对数值 | （最大网格）参考网格参数用绝对值 | 勾选该选项以后，同时考虑相对数值和绝对数值设定的约束条件，选取其中网格尺度最细（按绝对值）的起作用。 |

| | | |
|-------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 使用绝对数值 | (最小网格) 使用绝对数值定义 | 勾选该选项后, 使用绝对数值定义最小值。当体系出现精细结构(如薄板、细线)时, 需要严格精确仿真时, 可以将该模式打开, 并按绝对值设定最小网格。 |
| 单位波长网格数 | 工程文档最高频率对应波长与最大网格边长的比例 | 1. 物体附近和物体远处可使用不同的参数 2. 最大/最小网格是指物体附近的最大网格比物体区域中的最小网格, 与远离物体区域的“最大网格”没有直接关系。 |
| 最大/最小网格 | 最大网格与最小网格的比例 | |
| 配置: 指导性网格线 | | |
| 物体中心控制点 | 要求物体的中心有网格线穿过 | |
| 物体边界控制点 | 要求物体边界的特征控制点有网格线穿过 | |
| 物体外包围框中心控制点 | 要求物体外包围框中心有网格线穿过 | |
| 物体外包围框边界控制点 | 要求物体外包围框边界特征控制点有网格线穿过 | |
| 垂直表面 | 要求物体的垂直表面(与XOY、YOZ、ZOX中之一平行或垂直)必须有网格面平行划过 | |
| 延拓空间 | 指定延拓空间的大小 | 智能网格开启时, 开放边界距离用户模型区域(包括光源、记录、物体等)的距离 |
| 配置: 网格加密 | | |
| 体网格加密-延展格子数 | 物体的包围框附加加密区域延伸的格子数 | |
| 体网格平滑因子 | 物体加密区域过渡到其他区域的平滑过渡因子 | 表示从其他区域过渡到此物体区域的网格按照等比例(设定值即为该比例因子)过渡变化。一般该值大于1, 数值越大则过渡越快, 数值越小过渡越平缓。 |

| | | |
|--------------|------------------------------------|--|
| 考虑体材料 | 考虑并使用材料的网格权重因子 | |
| 启用边网格加密 | 启用对边缘网格加密的功能 | |
| 边缘网格加密因子 | 最大网格边长与对物体边缘加密区域网格边长的比例 | |
| 边缘网格加密-延展格子数 | 边缘加密区域附近向内和向外延伸的格子数 | |
| 只加密 PEC 的边缘 | 只对 PEC 边缘进行加密 | |
| 只加密对齐网格的边 | 在物体被旋转的情况下，只考虑在旋转后仍然平行于网格线的棱边附近作加密 | |



注意事项

1. 计算一些具有精细结构的天线时，尽可能使用内建物体、元件设计仿真模型。非均匀网格生成器可以正确识别这些内建物体、元件的控制点。
2. 使用导入外部 CAD 模型的时候，非均匀网格生成器只能识别出外包围框的中心、边界控制点，这可能导致用户需要划分网格线（如振子）的位置没有网格线经过，这时需要使用“[高级]网格强制面”功能来指定。

6.3.5. 共形网格

使用 FDTD 正交网格离散模型时，材料的边界可能存在一些不平行于网格面的情形（特别是曲面），这个时候为了精确计算这些斜面、曲面对电磁波的响应，需要开启共形网格技术。对于体系中包含金属（如 PEC）- 普通介质（或空气）界面时，建议开启该共形功能，开启共形网格如图 6-3-5。



图 6-3-5



注意事项

共形网格功能开启后，对 FDTD 迭代稳定性条件有更加严格的要求。在设置文档

时间单位为“自动关联”的情况下需要保证计算体系中的 $\Delta t < 0.8 \Delta s$, Δs 为最小网格的边长。相关内容参考“FDTD 迭代稳定性条件”。

6.3.6. 计算步数和时间步长调整

在“设置网格”对话框选择“自定义网格”，最下方红色框中的两个选项可调整步数和时间步长（即 ΔT ），如图 6-3-6-1

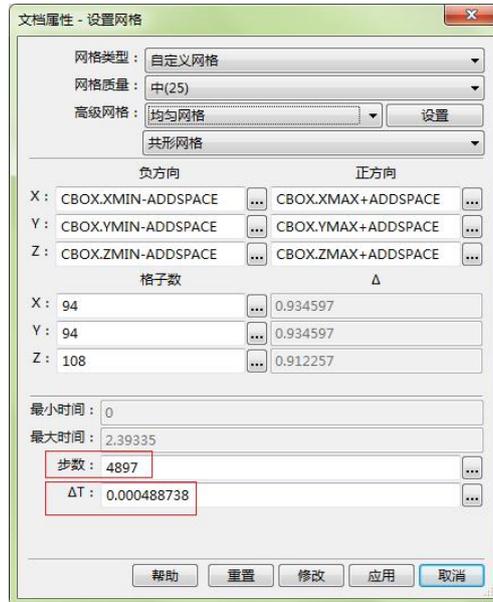


图 6-3-6-1 调整步数和时间步长

ΔT 的单位为当前文档下的单位，当调整步数和调整步长 ΔT 时，对话框的最大时间都会随之发生改变。最大时间=步数 \times ΔT 。



注意事项

1. 时间步长 ΔT 的设定

(1) ΔT 应满足 Courant 稳定条件：

$$c\Delta t \leq \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2}}}$$

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 为 x, y, z 方向的最小网格尺度，详细内容请参考附录 I FDTD 原理

(2) 共形网格要求

共形网格功能开启后，对 FDTD 迭代稳定性条件有更加严格的要求。在设置文档时间单位为“自动关联”的情况下，需要保证计算体系中的 $\Delta T < 0.8 * \Delta s$, Δs 为最小网格的边长

2. 最大时间应保证

(1)

$$T_{\max} \geq \frac{4L}{c} + 2T_{\text{pulse}}$$

其中, L 为计算区域对角线长度, T_{pulse} 为脉冲宽度

(2) 满足频率分辨率精度所要求的最小时间, 若频率分辨率设定为 Δf , 则最大时间

$$\text{number} = \frac{T_{\max}}{\Delta T}$$

最后根据 T_{\max} 修改步数 number

$$\text{number} = \frac{T_{\max}}{\Delta T}$$

6.3.7. 物体局部网格设置

本章节是关于“物体局部网格设置”的专题说明, “局部网格设置”对话框如图 6-3-7-1。

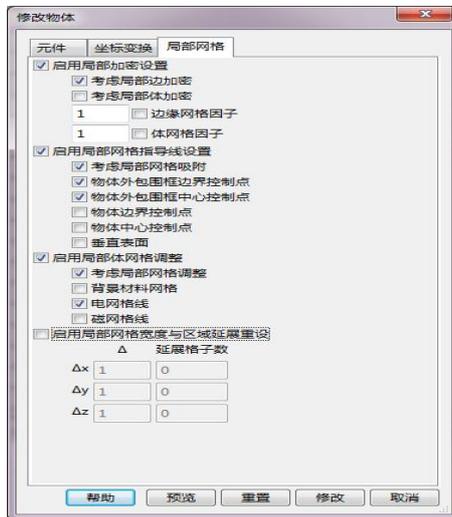


图 6-3-7-1 局部网格设置对话框

1) 局部加密设置

| 参数 | 含义 | 备注 |
|---------|------------------------|------------------------------------|
| 考虑局部边加密 | 勾选表示启用局部边加密策略, 不勾选表示关闭 | 当“全局边加密”和“局部体加密”同时设置时, 软件自动选择较密的设置 |
| 考虑局部体加密 | 勾选表示启用局部体加密策略, 不勾选表示关闭 | 当“全局体加密”和“局部体加密”同时设置时, 软件自动选择较密的设置 |
| 边缘网格因子 | 当前物体区域的边缘加密比例 | |
| 体网格因子 | 当前物体区域的体内网格加密比例 | |

2) 局部网格指导线设置

| 参数 | 含义 | 备注 |
|-------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 考虑局部网格吸附 | 勾选则启用物体局部的网格吸附策略 | 覆盖全局默认设置 |
| 物体外包围框边界控制点 | 将物体的外包围框设定为吸附网格面 | 覆盖全局默认设置 |
| 物体外包围框中心控制点 | 将物体的外包围框的中心添加吸附网格面 | 覆盖全局默认设置 |
| 物体边界控制点 | 将物体的边界设定为吸附网格面 | 覆盖全局默认设置。注意：物体的边界依赖于元件的内部设定，如“管形元件”在内壁和外壁均有网格吸附面可选。 |
| 物体中心控制点 | 将物体的中心设定为吸附网格面 | 覆盖全局默认设置。注意：物体的中心控制点依赖于元件的内部设定。 |
| 垂直表面 | 检测某些垂直于X/Y/Z特殊坐标轴的表面，并在这些表面设定为吸附网格面 | 覆盖全局默认设置。注意：对导入的 STL 模型可以启用该参数对某些垂直表面区域添加相应的网格控制面。 |

3) 局部体网格调整（薄板网格修复）

FDTD 使用正交网格系统，因此对曲面薄板或者倾斜的薄板进行离散化时可能会出现如下的情况：

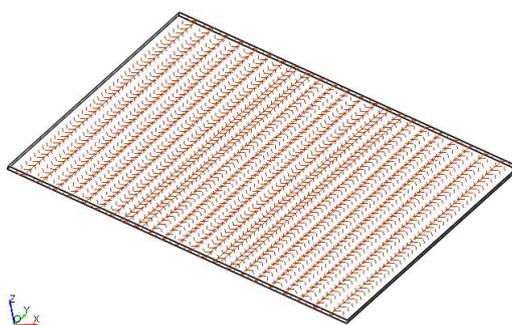


图 6-3-7-2 倾斜薄板的 FDTD 网格出现“破裂”

用户可以通过开启薄板网格修补功能解决这个问题：

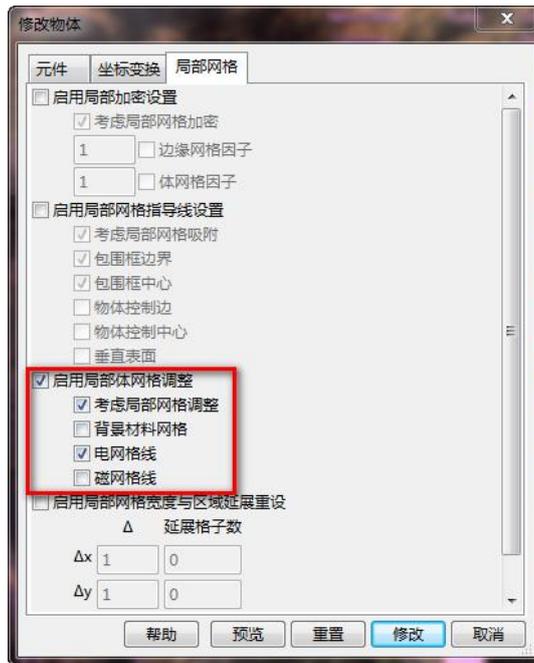


图 6-3-7-3 倾斜薄板的 FDTD 网格出现“破裂”

修补之后薄板的网格会转变为阶梯状的正交网格。使用该功能时建议开启非均匀网格和共形网格。

4) 局部网格宽度与延展区域重设

EastWave 支持对某一物体模型的网格格边长设置为固定数值，如图 6-3-7-4 红色区域。该设定是对该物体区域（外包围框内）的网格间隔进行设定，并且具有最高优先级，覆盖任何非均匀网格（策略二）的全局设定（对均匀网格无效），生成局部的均匀网格。延展格子数表示在该物体区域向外增加几个宽度和区域内一样的网格。

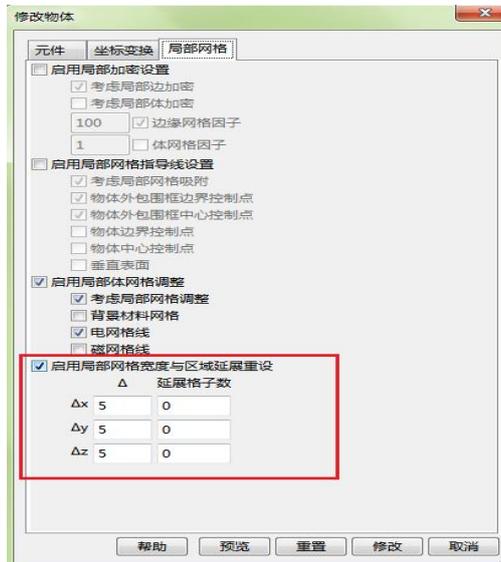


图 6-3-7-4 局部网格宽度与区域延展重设

6.3.8. [高级]网格细分区域

[高级]网格细分区域通过指定区域内各个方向上的权重大小来指导非均匀网格的剖分。网格细分区域参数设置对话框如下图 6-1-18 所示。



图 6-3-8 网格细分区域元件参数设置

各参数含义见下表：

表 6- 1-8 网格细分区域参数说明表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|---------------|------------------------|----|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 中心位置(X, Y, Z) | 指定网格细分区域的中心坐标(X, Y, Z) | |
| X 方向宽度 | 指定网格细分区域 X 方向的长度 | |
| Y 方向宽度 | 指定网格细分区域 Y 方向的长度 | |
| Z 方向宽度 | 指定网格细分区域 Z 方向的长度 | |
| X 方向权重 | 指定在网格细分区域中 X 方向上的权重大小 | |
| Y 方向权重 | 指定在网格细分区域中 Y 方向上的权重大小 | |
| Z 方向权重 | 指定在网格细分区域中 Z 方向上的权重大小 | |



某个区域内既有高级网格指定的权重又有物体本身的材料权重和斜率权重，网格剖分时选用哪个？

通过高级网格指定的权重优先级高于该区域内物体的材料权重和斜率权重，在实际的网格剖分时选择其中的最大值作为有效权重，具体参考非均匀网格（策略一）和非均匀网格（策略二）一节内容。

6.3.9. [高级]网格强制面

在计算天线、薄板等具有极小尺寸（体系关键区域尺寸小于最小网格）时，为了使 FDTD 网格剖分器可以正确的识别出精细结构，需要强迫某些关键点（线、面）的网格线。如需启用该功能，用户可以在工程管理窗口的“物体”节点中新增“[高级]关键网格面”，并设置相应的参数，如下

图所示：在网格剖分时，[高级]强制网格面所指定的位置将强制生成一条网格线。关键网格面参数设置对话框如下图所示。

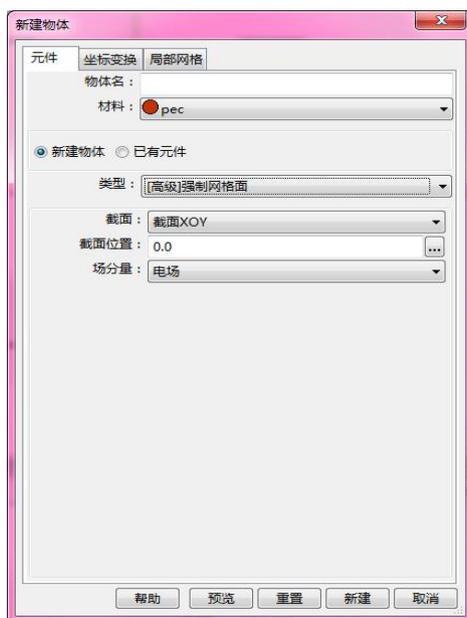


图 6-3-9 网格细分区域元件参数设置

各参数含义见下表：

表 6- 3-9 网格细分区域参数说明表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|--------------------|----|
| 物体名 | 指定物体的名称 | |
| 截面 | 指定关键网格面所在的平面 | |
| 截面位置 | 指定关键网格面在该面法线方向上的位置 | |
| 场分量 | 指定关键网格面上的场分量 | |



注意事项

1. 划分金属（如 PEC）平板、细金属线时，应选择电场网格，例如选择 XOY 面时应选取电场网格。对应的，划分 PMC 的物体边界处于 XOY 面时，应设定为磁场网格。
2. 根据 FDTD 的 Yee 网格规则，我们这里规定 UOV 面（XOY，YOZ 和 ZOY），EU 和 EV 分量所在的平面为电网格，HU 和 HV 分量所在的平面为磁网格。
3. 对于色散材料，添加网格控制面时考虑其主要色散性质为电色散还是磁色散，如是电色散优先考虑边界处设定电网格，否则设定为磁网格。如果电色散和磁色散相当，则考虑在附近加密网格。

6.4. 物体优先级设置

EastWave 不支持布尔操作，当不同的物体模型存在区域重叠时，可通过调整优先级的方式对重叠区域赋予材料。

在“工程管理窗口”→“模型”→“物体”显示下，位置位于上方的物体，其材料优先级比下方的要高，如图 6-3-1，物体 B 的优先级高于物体 A



图 6-4-1

调整优先级的方法是，鼠标右键点击需要提高（或降低）优先级的物体，选择“调整优先级”，“提升优先级（或降低优先级）”，该物体的优先级排位会上升一位，如需要将优先级调至最高（或最低），选择“调整优先级”“优先级最高”（或“优先级最低”），如图 6-3-2

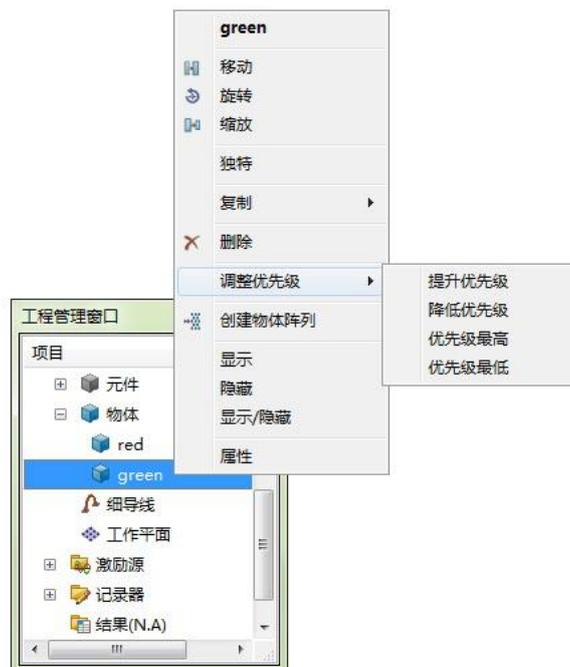


图 6-4-2 提升优先级

下面 6-3-3 给出示例，立方体 A 和 B 存在交叠部分

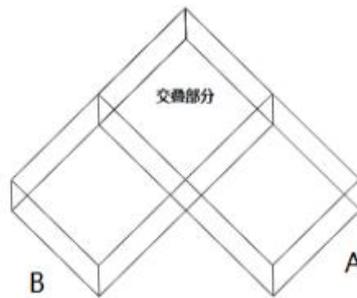


图 6-4-3 物体交叠

当物体“B”优先级高于“A”时，交叠部分的材料为物体 B 的材料，如图 6-3-4

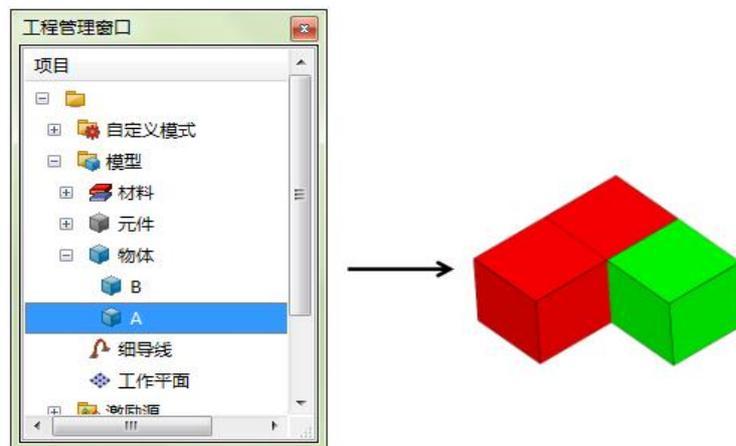


图 6-4-4 B 优先级高于 A

当物体“A”优先级高于“B”时，交叠部分的材料为物体 A 的材料，如图 6-3-5

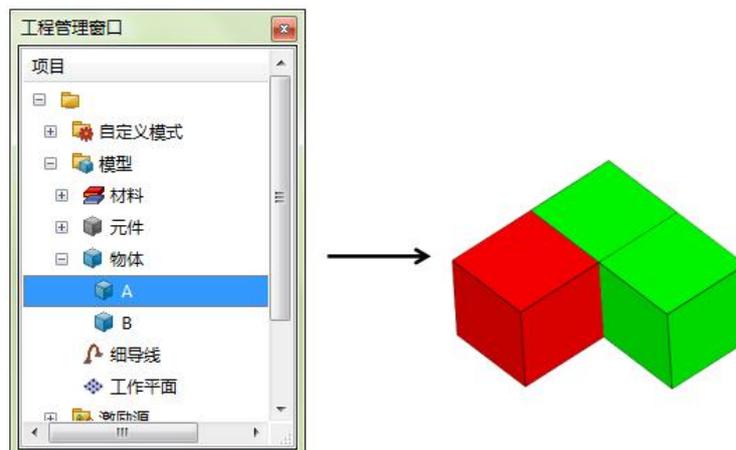


图 6-4-5 A 优先级高于 B

6.5. 变量设置和内置常量

EastWave 内置了常用常量和一些名称固定的内置变量，用户可在工程设计时使用。设置参数时可直接使用这些内置常量和内置变量，也可使用自定义变量和表达式，但需注意自定义变量名称不能和系统内置常量和内置变量同名。

6.5.1. 系统内置常量

下表中内置常量可在变量和建模输入框中直接使用：

表 6-5-1 系统内置常量

| 常量名 | 值 | 描述 |
|--------|------------------------------------|-----------------------------------|
| PI | 3.14159265358979... | 圆周率 |
| NATE | 2.718281828459 | 自然对数的底数 e |
| EPS0 | 8.854187817e-12; | 真空介电常数, F/m |
| MU0 | 1.256637061e-06 (=PI*4.0e-07) | 真空磁导率, N/(A ²), 或 H/m |
| C0 | 299792458 (=1.0/sqrt(EPS0*MU0)) | 真空光速, m/s |
| ZF0 | sqrt(MU0/EPS0) | 自由空间阻抗, Ohm |
| ELEC | 1.60217653e-19 | 电子电荷, C |
| ME | 9.10938215e-31 | 电子质量, kg |
| PLANCK | 6.6260755e-34 | 普朗克 (Planck) 常数, J*s |
| BOLTZ | 1.380658e-23 | 波尔兹曼 (Boltzmann) 常数, J/K |

6.5.2. 系统内置变量

系统内置变量为 EastWave 软件内部定义并调用的变量, 用户不需要定义, 可以直接调用。需要注意: 变量窗口中只能调用内置变量中的单位 UT\UF\UL, 其他内置变量比如 FREQ 和 LAMBDA 等不可在变量表中调用。

系统内置变量见下表:

表 6-5-2 系统内置变量

| 变量 | 含义 | 备注 |
|-----------------------------|----------------|---------------------|
| UL\UT\UF | 长度\时间\频率单位 | 模型文件中所有相关物理量都使用此处单位 |
| MESH_QUALITY | 网格质量 | |
| FREQ | 中心频率 | |
| FREQ_MIN/REQ_MAX/FREQ_DELTA | 最小频率/最大频率/频率间隔 | |
| FREQ_WIDTH | 频率宽度 | |
| LAMBDA | 波长 | |

| | | |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| LAMBDA_MIN/LAMBDA_MAX | 最小波长/最大波长 | |
| ADDSpace | 延拓空间 | |
| WEIGHT_AUTO | 系统默认权重 | |
| BBOX.XMIN/BBOX.XMAX BBOX.YMIN/BBOX.YMAX BBOX.ZMIN/BBOX.ZMAX | BBOX 为物体外接长方体范围（外接长方体指能够框住所有物体的最小长方体，棱边平行于建模坐标系坐标轴） BBOX.XMIN/ BBOX.XMAX 为长方体垂直于 X 轴的两个面所在位置 X 坐标，分别对应最小值和最大值，Y、Z 同理 | 结构定义时不能引用该变量； 单位为全局长度单位 |
| CBOX.XMIN/CBOX.XMAX CBOX.YMIN/CBOX.YMAX CBOX.ZMIN/CBOX.ZMAX | 类似上一栏 BBOX 相关定义，CBOX 为包围模型空间所有物体、激励源和记录器的外接长方体范围； | 仅限于定义计算区域时引用； 单位为全局长度单位 |
| FBOX.XMIN/FBOX.XMAX FBOX.YMIN/FBOX.YMAX FBOX.ZMIN/FBOX.ZMAX | 类似 BBOX 相关定义，FBOX 为计算区域范围； | 一般不要引用该变量 |
| DELTA_T | FDTD 仿真时间步长 Δt | |
| STEP_MAX | FDTD 仿真最大时间步数 | |
| COORD | 坐标信息 | 仅限于后处理中引用 |
| STEP | FDTD 仿真实际计算步数 | |
| STEP_AR | AR 外推步数 | |
| NEED_AR | 是否 AR 外推标识符 | |
| MESHO | 模型离散化后网格信息（挂载外部文件） | 仅限于后处理中引用 |
| _t | 时间变量，单位为文档时间单位；（若在参数曲线方程中为设置页的扫描参数） | 激励源时域波形中的“自定义”型可引用该变量 |
| _x/_y/_z | 空间位置变量，单位为文档长度单位 | 空间相关材料可引用该变量 |

6.5.3. 自定义常规变量

（详细内容见 2.7 变量窗口）

用户可在变量窗口自定义变量，如下图 6-5-3 所示：

| 变量 | 表达式 | 值 | 详细描述 |
|------------|---------------------------------|---------|----------|
| temp | 0; regfunc("math") | | |
| freq_min | 0.5 | 0.5 | 最低频率 |
| freq_max | 1.5 | 1.5 | 最高频率 |
| df | 0.1 | 0.1 | 频率间隔 |
| freq | (freq_min + freq_max)/2.0 | 1 | 中心频率 |
| lambda | math.f2lambda(freq, UL, UF) | 299.792 | 中心频率对应波长 |
| lambda_min | math.f2lambda(freq_max, UL, UF) | 199.862 | 最短波长 |
| lambda_max | math.f2lambda(freq_min, UL, UF) | 599.585 | 最长波长 |
| | | --- | |

图 6-5-3 自定义变量窗口

变量表中定义变量可以使用系统内置常量和内置函数，但需要注意对内置变量仅能使用单位 UT/UF/UL，其他内置变量比如 FREQ 和 LAMBDA 等不可在变量表中调用。

EastWave 对变量列表中的变量从上到下进行解析。列表中变量定义需注意先后顺序，后定义的变量可以引用前面定义的变量，但不允许前面的变量引用后定义的变量。下面对变量列表的操作进行介绍。

编辑：在常规变量列表中双击变量名列中的单元格，进入编辑状态，用户可新建一个变量名或对已有变量名进行修改操作，编辑完成后键入回车或鼠标点击其他任意单元格退出编辑。执行同样的操作可以实现对“值”列和“详细描述”列的编辑。在定义完新的变量名和值后，系统将自动在列表的最后生成一行，用于新变量的定义。

删除：鼠标选中需要删除的行，在右键菜单中选择“删除”操作，删除不需要的变量。（可通过“Ctrl+鼠标左键单击”点或“Shif+鼠标左键单击”选中多个变量后执行删除操作）。

插入：鼠标选中某行，在右键菜单中选择“插入”，即可在选定行前插入一个变量。

复制/粘贴：鼠标选中一行或者多行（用 Ctrl 或者 Shift+鼠标左键点击），在右键菜单中选择“复制”，可以将表格内容复制到剪贴板，在另一个工程的变量表中可以点击粘贴即可。也可以将剪贴板的内容复制到文本编辑器或者 Excel 等表格编辑软件中去。

命名规则

- 1) 变量名首字符必须为下划线或字母，不能以数字开头；
- 2) 变量名中不得包含#、¥、%等特殊字符，不得包含空格符；
- 3) 变量名不得重复定义，如出现重复定义的情况，变量的值以后定义的值为准；
- 4) 值的定义可以通过两种方式：数值常量和表达式（表达式中可以包含上面已经定于过的变量）。

6.5.4. 自定义数组变量

EastWave 支持直接将数组赋值给自定义变量得到“数组变量”，数组变量的操作和命名规则同常规变量。可使用“[]”来取得数组的某个元素。数组下标从 0 开始，例如对数组变量 a，可用 a[i-1]取得或修改其第 i 个元素。

定义数组支持以下几种方式：

表 6-5-4 数组定义

| 定义方式 | 说明 |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| array(x1, x2, x3, …… , xn) | 枚举数组。 如 a=array(1, 3, 2)，数组变量 a 的元素依次为： a[0]=1; a[1]=3; a[2]=2。 |
| linspace(xmin, xmax, n) | 等间隔数组。从 xmin 到 xmax 等间隔取得 n 个值。 如 a=linspace(0, 10, 3)，数组变量 a 的元素依次为： a[0]=0; a[1]=5; a[2]=10。 |
| (xmin:dx:xmax) | 等间隔数组。从 xmin 到 xmax 每隔 dx 取一个值。 如 a=(1:2:6)，数组变量 a 的元素依次为： a[0]=1; a[1]=3; a[2]=5。 |



注意事项

对数组变量赋值时，只要求输入的是一个数组即可，也可在上述方式调用内置函数。例如：若已定义 b=1, c=PI/2，可定义数组变量 a=array(1, 3+b, 2)*sin(c)，a 的元素依次为 a[0]=0.5; a[1]=2; a[2]=1。

6.5.5. 扫描优化参数变量

EastWave 参数扫描和参数优化功能中，扫描参数和优化参数中变量须是变量窗口中已定义的常规变量（不支持数组变量），且变量窗口中定义该变量时的值只影响建模效果。实际在参数扫描或优化的计算中，变量取值以给定的变量扫描序列和取值范围为准。

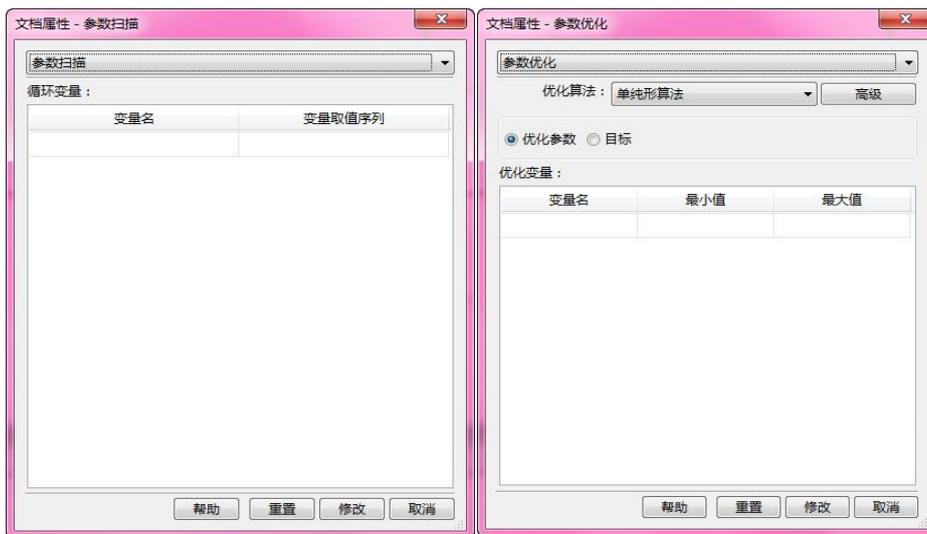


图 6-5-5 参数扫描和寻优设置

参数扫描中的“变量取值序列”输入形式同 6.5.4 中的数组定义方式：

| 函数 | 说明 |
|----|----|
|----|----|

| | |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>array(x1, x2, x3, ..., xn)</code> | 数组枚举。扫描变量将依次采用 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 所对应的值。 如 <code>a=array(1, 3, 2)</code> ，则依次扫描： <code>a=1</code> ； <code>a=3</code> ； <code>a=2</code> 。 |
| <code>linspace(xmin, xmax, n)</code> | 等间隔数组。从 <code>xmin</code> 到 <code>xmax</code> 等间隔取 <code>n</code> 个值。 如 <code>a=linspace(0, 10, 3)</code> ，则依次扫描： <code>a=0</code> ； <code>a=5</code> ； <code>a=10</code> 。 |
| <code>(xmin:dx:xmax)</code> | 等间隔数组。从 <code>xmin</code> 到 <code>xmax</code> 每隔 <code>dx</code> 取值。 如 <code>a=(1:3:10)</code> ，则依次扫描： <code>a=1</code> ； <code>a=4</code> ； <code>a=7</code> ； <code>a=10</code> 。 |



注意事项

“变量取值序列”只要求输入的是一个数组即可，也可在上述方式调用内置函数。例如：若已定义 `b=1, c=PI/2`，可输入序列：`array(1, 3+b, 2)*sin(c)`，等效于 `array(0.5, 2, 1)`。

6.6. 其他设置

6.6.1. 输出设置

用户可以修改 FDTD 求解器的默认保存路径。打开“求解器”菜单下的“设置输出”，修改输出路径一栏：

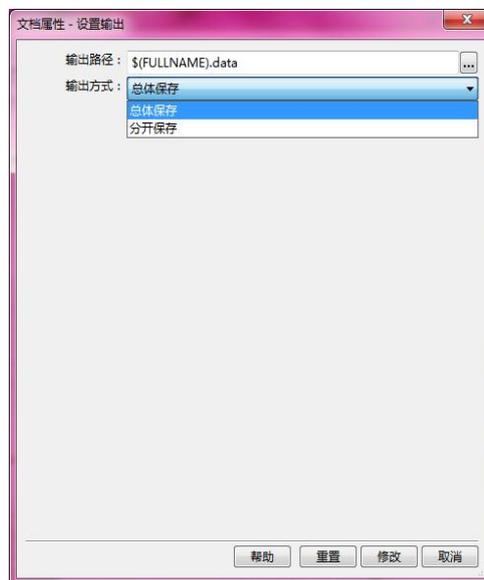


图 6-4-1 输出文件设置

输出路径的默认值是“`$(FULLNAME).data`”，其中 `$(FULLNAME)` 是一个宏，表示的是工程文件的文件名。

另外，用户还可以改变文件的输出策略。如果选择“总体保存”，则会生成一个单独的 `ewd` 结果文件；如果选择“分开保存”，则结果 `ewd` 文件有可能只作为总表保存，而具体的细节数据保存在其他文件中。在计算结果可能特别巨大时，应考虑使用“分开保存”策略。



注意事项

使用“分开保存”策略输出的结果会将每个记录器的结果（子变量表）放在单独的文件中保存，调用这些特殊的外挂变量表时会载入到内存，用户可以使用 `load_extable` 和 `unload_extable` 两个脚本函数控制变量表的载入内存的时机。

6.6.2. 精度设置

用户可以修改 FDTD 迭代所使用的基本数据类型。工程管理窗口中选择“其他”节点下的“精度”，双击打开后弹出以下窗口，如图 6-4-2：

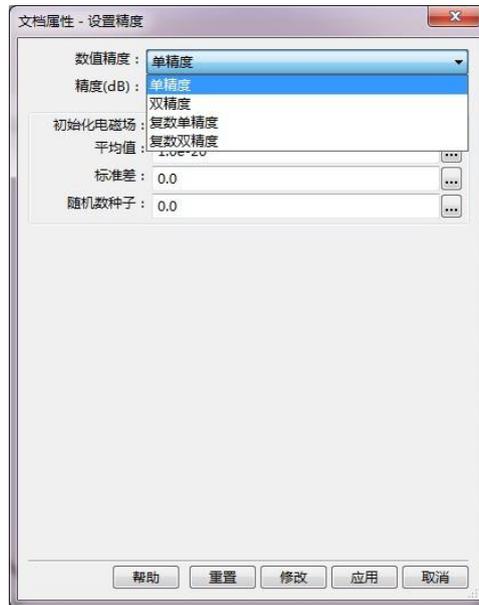


图 6-4-2 精度设置对话框

- EastWave 提供以下几种类型供用户选择：单精度、双精度、复数单精度、复数双精度。在使用布洛赫边界计算斜入（出）射问题时需要使用复数双精度。
- 设定初始场会影响计算精度，或者实现特殊的计算目的（如计算模式场等），参见 初始化电磁场。



注意事项

1. 在使用布洛赫边界计算斜入（出）射问题时需要使用复数型，建议使用复数双精度型；
2. 单精度数据长度为双精度数据的一半，因此要大约会节约一半内存，但数值精度较低；
3. 选择双精度可以提高计算结果的精度，并且可以减少 FDTD 迭代发散的可能。

6.6.3. 初始化电磁场

初始化参数将计算区域各点的各个场量（ E_x 、 E_y 、 E_z 、 H_x 、 H_y 、 H_z ）随机一个较小的初始值，分布满足正态分布。方差为零时没有随机性，空间各点各场量的初始化值均为设定的幅度值。

默认情况下该功能不开启。



图 6-4-3 初始化电磁场设置窗口

表 6-4-3 初始化电磁场参数说明

| 参数 | 含义 | 备注 |
|-----|---------------|------|
| 初始值 | 选择是否启用随机初始化参数 | |
| 期望值 | 按高斯分布的场强的期望值 | V/m |
| 标准差 | 按高斯分布的场强的标准差 | |
| 种子 | 初始化种子 | 一个整数 |

6.6.4. 自定义脚本

高级用户在熟悉使用 EastWave 后，可以对经常性仿真业务设置一份自定义脚本，减少后处理（参见 第七章 数据后处理）的重复劳动。自定义脚本采用 EastWave 脚本语言（参考“EastWave 脚本语言”一章）。

工程管理窗口中选择“其他”节点下的“自定义脚本”，双击打开后弹出自定义脚本输入对话框，并在其中输入脚本：

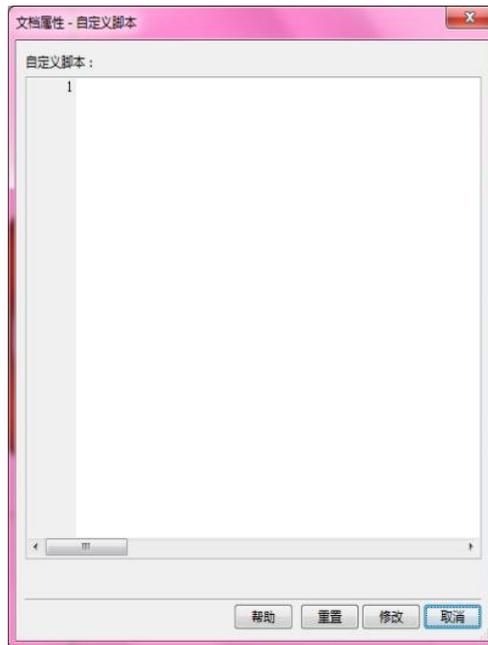


图 6-4-4 自定义脚本输入对话框



注意事项

1. 自定义脚本用来处理单次运算（包括计算模式）的 ewd 结果文件内容。
2. 参数扫描、优化功能中每次子计算任务都会运行一次自定义脚本。
3. 参数优化时，可以用自定义脚本计算出所需的参数。

6.6.5. 采集位置点与测量

- 1) 采集位置点建立馈线：定义馈线元件时，需要指定起止点的坐标，因此我们增加了一种交互式采集点的功能。



图 6-4-5-1 新集总端口（带连接线）的设置

选择“采集起止点”：

- (0) 已经建立了一对 PEC 圆柱（模拟偶极子天线）
- (1) 单击按钮，进入采集点模式

选择第0个点（共2个点）

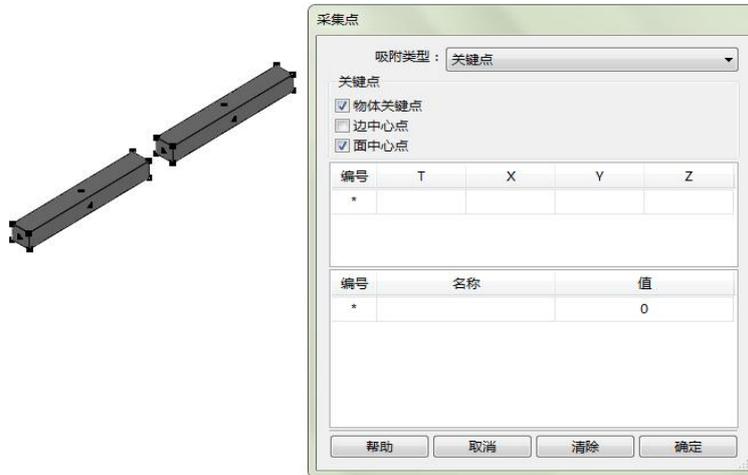


图 6-4-5-2

(2) 界面弹出一个对话框。此时用户仍然可以修改视口的旋转角度（物体的观察角度）和缩放比例，因此先调整到一个合适的视角。

(3) 选择“关键点”中需要的关键点类型，视口中会显示对应的点（黑色小立方体，不随缩放比例变化）。

- (4) 选中一个点（如柱体的底面中心）：

选择第1个点（共2个点）

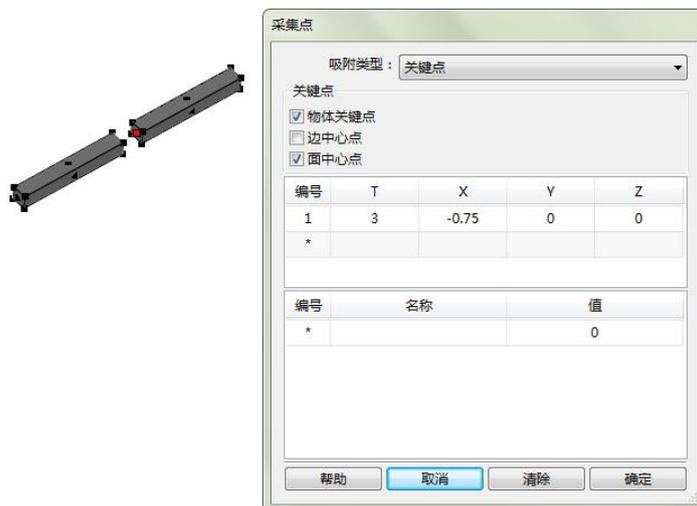


图 6-4-5-3 采集第 1 个点

说明：对话框中的“吸附类型”包括：

- <1> 不吸附
- <2> 关键点
- <3> 坐标平面

- 选择“不吸附”，选中的点位用户鼠标正下方对应的最近的物体表面点。
- 选择“关键点”包括物体的各种关键点和坐标平面的栅格点。

- 选择“坐标平面”仅吸附到坐标平面上。

(5) 我们可以看到选中的点显示为“高亮”。同时视口顶部显示“选择第 1 个点”指示当前已经选中的点的个数。该选中点的信息显示在对话框内下方的表格中。

(6) 点击右键可以撤销，可以再次选点。单击“取消”按钮可以退出选点状态。

(7) 选中第二个点到下方圆柱的顶面中心，选择“确定”退出：

(8) 查看属性对话框点的属性：



图 6-4-5-4 馈线对话框

(9) 检查无误后点击“修改”退出，视口中显示（或预览）：

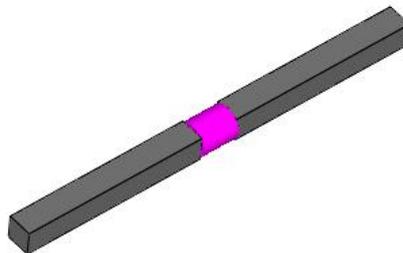


图 6-4-5-5 建立馈线

补充说明：当用户建立过“工作平面”。



注意事项

用交互界面生成的起止点坐标是纯数据，不会随着拾取点的所在元件发生变动而变化。目前用户仅可以使用定义脚本变量的方式来获得动态变化的起止点。我们将在后续版本中持续改进这一功能以支持用户的需求。

2) 测量



通过点击工具条的选点测量按钮。操作过程与前述的基本没有差别。可以查看下图中表格的测量信息。

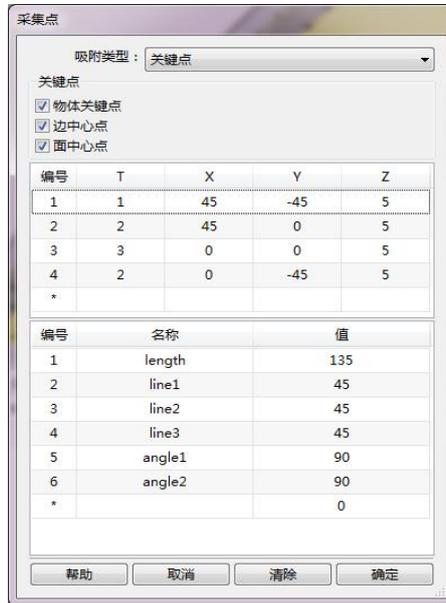


图 6-5-21 - 9f

图中 length 表示总长度，line 表示某根线段的长度，angle 表示某个顶点的夹角。T 表示捕获的顶点类型，1 表示物体关键点，2 表示边中心，3 表示面中心。X/Y/Z 表示该点在全局工作空间的坐标。

6.6.6. 工作平面和坐标系

在 EastWave 5.1 with update 1 版本中，引入了“工作平面”的概念，用来辅助建模和工程定义。

工作平面是这样一个平面，包含了一个有限大正方形平面（可以认为设定大小）、可显示栅格（可设定栅格尺寸，默认 0 为不显示）、携带一个局部坐标系并支持通过定义坐标变换（历史操作）改变坐标平面的局部坐标系。在部分激励源、记录器、计算模式中可以通过引用用户自定义的工作平面设定局部坐标系中的方位立体角、极化角、扫描面等参数。此外，工作平面还可以辅助集总端口建模。

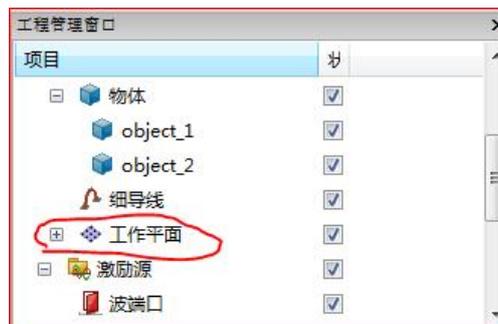


图 6-4-6-1

建模方法：

- 1) 在工程管理窗口中选择“工作平面”节点
- 2) 右键单击“新建工作平面”
- 3) 弹出窗口，并设定如下：

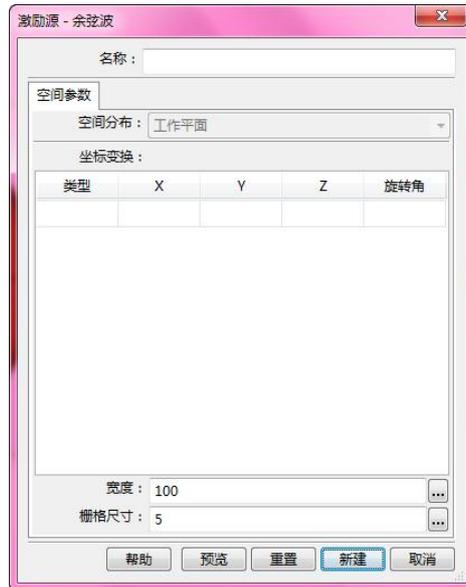


图 6-4-6-2

设置变换历史如下：

- a. 局部坐标变换：绕局部 Y 轴旋转 30 度
- b. 局部坐标变换：绕局部 Z 轴旋转 45 度

显示的情况如下图：其中图 c 是未选中状态，图 d 是选中状态（包括显示了局部坐标系的三个坐标轴 (x', y', z') 或理解为 (u, v, n) ）。其中青色表示 x' 或 u ，绿色表示 y' 或 v ，蓝色表示 z' 或 n 。

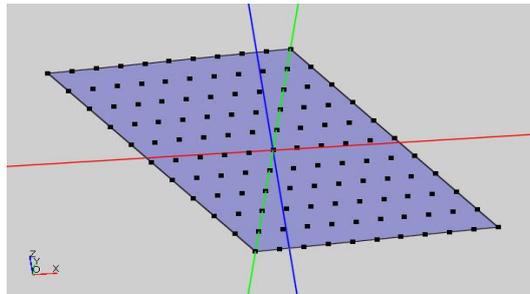


图 6-4-6-3

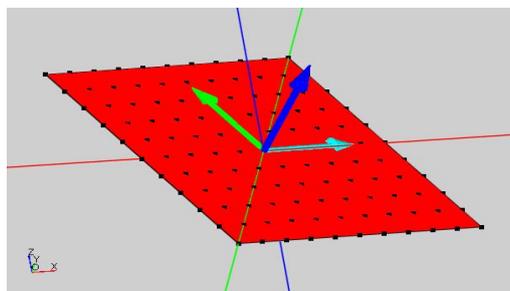


图 6-4-6-4

注意：青色表示 x' 或 u ，绿色表示 y' 或 v ，蓝色表示 z' 或 n 。

- 4) 在工具栏（下图）中选择显示框线后可以显示坐标平面的栅格点，去掉则不显示。



图 6-4-6-5



注意事项

1. 工作平面被激励源、记录器、计算模式引用时，请保证该工作平面中的坐标变换仅含有旋转变换（正交变换，另允许包含零平移、零旋转、单位缩放）。否则计算模式、激励源、记录器等在引用该工作平面时，若检测到这些非正交变换将报错，直到用户修正工作平面的变换历史满足条件为止。

2. 计算模式、激励源、记录器引用非全局工作平面后，某些球坐标角度参数将依赖于工作平面所定义的局部坐标系，具体请阅读相关章节内容。

第七章 数据后处理

软件的后处理界面包含丰富的功能，主要有数据处理功能，包括数据的导入、导出、寻找最大最小值，脚本语言处理等；图像绘制和处理功能，包括曲线绘图、曲面绘图、图形的复制、黏贴、保存、注释等；智能数据功能，集数据和数据处理于一体，可增加数据的完整性，减少数据存储空间。通过 EastWave 脚本语言，用户可以方便地进一步处理 EastWave 仿真数据，获得需要的工程参数、图表等数据再加工信息。

7.1. 后处理数据结构

记录器部分内容见 5.4 记录模块

1) 后处理工具窗口

后处理数据位于“后处理工具窗口”的“工程管理窗口”中，后处理工具窗口还包括“脚本编辑”和“脚本执行窗口”，详情参见 2.11。

● 后处理工具窗口总览

EastWave 计算模式生成的数据后处理结果包含“report”、“核心结果”、“FDTD_Data”三个主要部分。以天线罩（功率传输系数，扫频扫角，相扫）模式为例，数据结构如图 7-1-1 所示，

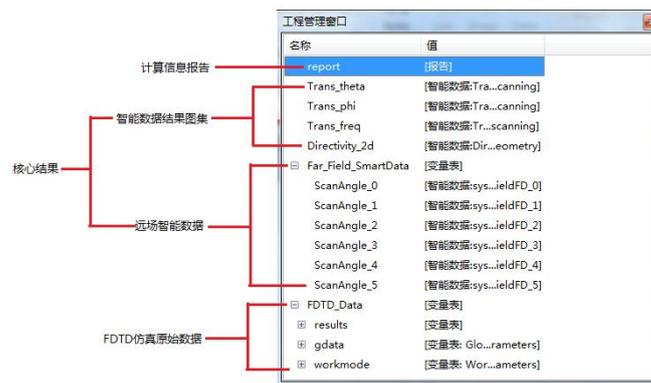


图 7-1-1 后处理结果

report: 计算信息报告，记录了 FDTD 仿真过程的相关信息。

智能数据图集: 计算模式核心结果的集合。所有相关结果以图集的形式整合在一起，可按照不同参数查看。

远场智能数据: 远场方向外推结果的集合。所有相关结果以图集的形式整合在一起，可按照不同参数查看。

FDTD 仿真原始数据: FDTD 仿真计算的原始数据，以数组和图的形式整合在一起，通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据，可实现更高级的后处理功能。

用户自行定义的记录器，记录的数据内容见 5.4 记录模块

● Report

双击“report”，用户进入计算信息记录窗口，如图 7-1-2。图中用户可以查看工程仿真过程的详细设置和步骤、计算时间、错误提示等信息。

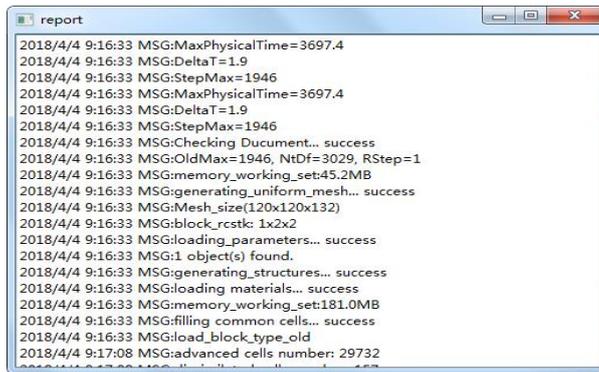


图 7-1-2 report 信息

“Report” 信息解读详细见 7-2 节

● 核心结果

以天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫）为例，图 7-1-3 中红色区域范围内为核心结果。该模式下核心结果包括透波率角度响应，2 维方向图，3 维方向图，近场场图，远场智能数据。

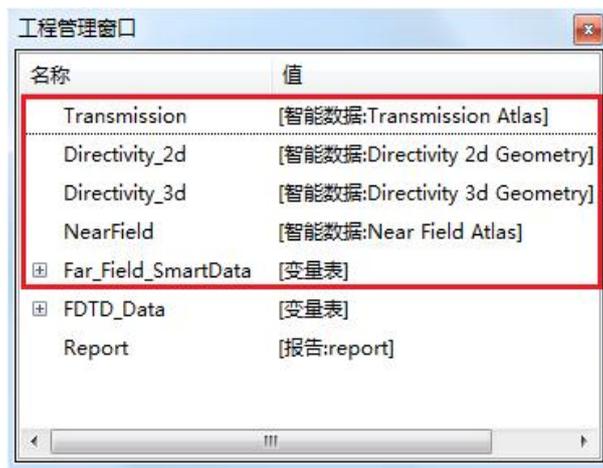


图 7-1-3 核心结果

用户通过双击数据名称进行查看结果图，如双击“Transmisson”，得到如图 7-1-4

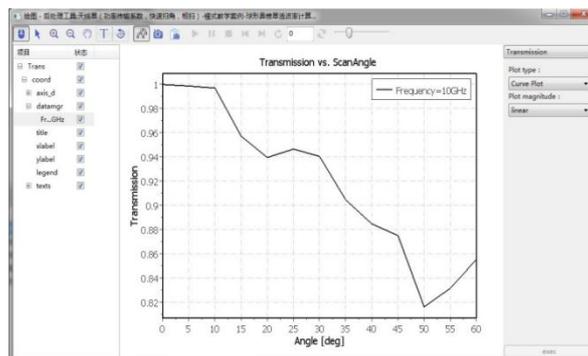


图 7-1-4 核心数据-Transmisson

● FDTD_Data

FDTD_Data 包含 EastWave 原始的数据形式 (results)、用户定义变量和内置变量 (gdata) 以及模式相关参数 (workmode)，如图 7-1-5。通过 EastWave 后处理脚本语言调用 FDTD 仿真结果数据，可根据自身需要实现更高级的后处理功能。

| | |
|--------------------|----------------------------|
| [-] FDTD_Data | [变量表] |
| [-] Far_Field_Data | [变量表] |
| [-] ScanAngle0 | [变量表] |
| [-] ScanAngle1 | [变量表] |
| [-] ScanAngle2 | [变量表] |
| [-] ScanAngle3 | [变量表] |
| [-] ScanAngle4 | [变量表] |
| [-] ScanAngle5 | [变量表] |
| [-] data | [变量表: Original data] |
| [-] gdata | [变量表: Global parameters] |
| [-] workmode | [变量表: Workmode parameters] |

图 7-1-5 FDTD_Data

2) 计算模式和记录器概览

表 7-1-1 计算模式

| 计算模式 | 模式结果节点 |
|---------------|------------------|
| 自动计算透反率模式 | 见 4.2 自动计算透反率模式 |
| 天线罩计算模式 | 见 4.3 天线罩计算模式 |
| 天线阵计算模式 | 见 4.4 天线阵计算模式 |
| 雷达目标 RCS 计算模式 | 见 4.5 RCS 计算模式 |
| 电磁兼容计算模式 | 见 4.6 电磁兼容计算模式 |
| 雷达目标成像计算模式 | 见 4.7 雷达目标成像计算模式 |

表 7-1-2 记录类型

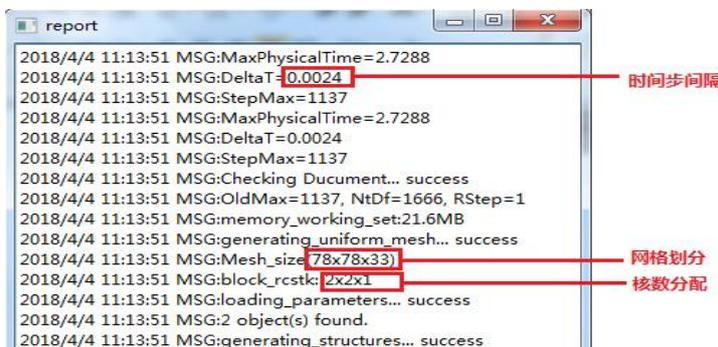
| 记录 | 后处理结果 |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| [时域]点记录 | 指定点位置处指定场分量强度随时间变化曲线。横坐标为时间步，纵坐标为强度 |
| [时域]截面场平均记录 | 指定截面指定场分量平均强度随时间变化曲线。横坐标为时间步，纵坐标为截面平均强度 |
| [时域]截面场记录 | 指定截面、时刻下的指定场分量强度分布图，如果记录出来的为多个时刻的时场情况，则为各时刻强度分布动态播放图 |
| [频域]截面场记录 | 指定频率指定截面上的复场分布图，可在右键“属性”中指定只看幅场的实部、虚部等分布图 |
| [频域]能流记录 | 指定频率指定截面上能流分布图 |
| [时域]远场记录 | r:远场距离(单位为米) Etheta:指定位置 θ 偏振场的强度随时间变化曲线; Ephi:指定位置 ϕ 偏振场的强度随时间变化曲线; |
| [频域]远场记录 | Etheta:指定频率下 θ 偏振远场的强度; Ephi:指定频率下 ϕ 偏振远场的强度; Dtotal:指定频率下的远场方向图。 |
| [时域]表面场记录 | 指定时刻指定结构表面上指定场类型分布图，如果记 |

| | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 录为多个时刻，则给出动态表面场分布图 |
| [频域]表面场记录 | 指定频率指定结构表面上指定场类型分布图 |
| [频域]电磁力记录 | <p>F_x: 电磁力 x 方向分量随频率(波长)变化曲线;</p> <p>F_y: 电磁力 y 方向分量随频率(波长)变化曲线;</p> <p>F_z: 电磁力 z 方向分量随频率(波长)变化曲线;</p> |

7.2. Report

Report 记录了 FDTD 仿真过程的相关信息，可以查看工程仿真过程的详细设置和步骤、计算时间、错误提示等信息。

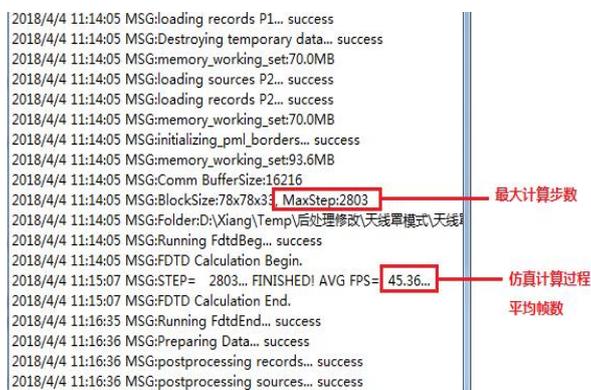
相关信息解释如图 7-2-1 和图 7-2-2



```

report
2018/4/4 11:13:51 MSG:MaxPhysicalTime=2.7288
2018/4/4 11:13:51 MSG:DeltaT=0.0024
2018/4/4 11:13:51 MSG:StepMax=1137
2018/4/4 11:13:51 MSG:MaxPhysicalTime=2.7288
2018/4/4 11:13:51 MSG:DeltaT=0.0024
2018/4/4 11:13:51 MSG:StepMax=1137
2018/4/4 11:13:51 MSG:Checking Document... success
2018/4/4 11:13:51 MSG:OldMax=1137, NtDf=1666, RStep=1
2018/4/4 11:13:51 MSG:memory_working_set:21.6MB
2018/4/4 11:13:51 MSG:generating_uniform_mesh... success
2018/4/4 11:13:51 MSG:Mesh_size(78x78x33)
2018/4/4 11:13:51 MSG:block_rcstk:2x2x1
2018/4/4 11:13:51 MSG:loading_parameters... success
2018/4/4 11:13:51 MSG:2 object(s) found.
2018/4/4 11:13:51 MSG:generating_structures... success
  
```

图 7-2-1



```

2018/4/4 11:14:05 MSG:loading records P1... success
2018/4/4 11:14:05 MSG:Destroying temporary data... success
2018/4/4 11:14:05 MSG:memory_working_set:70.0MB
2018/4/4 11:14:05 MSG:loading sources P2... success
2018/4/4 11:14:05 MSG:loading records P2... success
2018/4/4 11:14:05 MSG:memory_working_set:70.0MB
2018/4/4 11:14:05 MSG:initializing_pml_borders... success
2018/4/4 11:14:05 MSG:memory_working_set:93.6MB
2018/4/4 11:14:05 MSG:Comm BufferSize:16216
2018/4/4 11:14:05 MSG:BlockSize:78x78x33 MaxStep:2803
2018/4/4 11:14:05 MSG:Folder:D:\Xiang\Temp\后处理修改\天线罩模式\天线罩
2018/4/4 11:14:05 MSG:Running FdtdBeg... success
2018/4/4 11:14:05 MSG:FDTD Calculation Begin.
2018/4/4 11:15:07 MSG:STEP= 2803... FINISHED! AVG FPS= 45.36...
2018/4/4 11:15:07 MSG:FDTD Calculation End.
2018/4/4 11:16:35 MSG:Running FdtdEnd... success
2018/4/4 11:16:36 MSG:Preparing Data... success
2018/4/4 11:16:36 MSG:postprocessing records... success
2018/4/4 11:16:36 MSG:postprocessing sources... success
  
```

图 7-2-2

7.3. 智能数据

1) 数据概览

核心结果以 EastWave 电磁仿真软件特有的“智能数据”形式呈现，“智能数据”是所有核心结果的图集。在智能数据下，可对结果进行数据操作和图像操作，以天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫）为例。如图 7-3-1

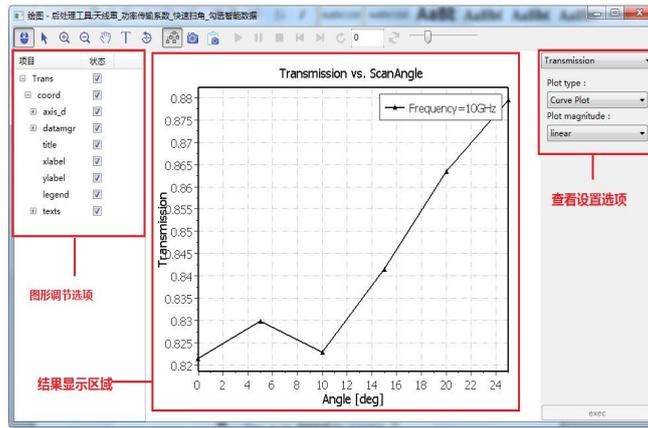


图 7-3-1 智能数据

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，详情参考 7-4。在图形的右侧，工程师可选择频率，角度，单位，坐标形式进行查看。

2) 智能数据使用例子

以天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫）为例子，讲述模式主要数据的实现方式。天线罩（功率传输系数，快速扫角，相扫）主要数据为天线罩透过率、场图、2 维方向图和 3 维方向图，远场智能数据，如图 7-3-2，红色区域为核心结果显示。

| 名称 | 值 |
|---------------------|--------------------------------|
| Transmission | [智能数据:Transmission Atlas] |
| Directivity_2d | [智能数据:Directivity 2d Geometry] |
| Directivity_3d | [智能数据:Directivity 3d Geometry] |
| NearField | [智能数据:Near Field Atlas] |
| Far_Field_SmartData | [变量表] |
| FDTD_Data | [变量表] |
| Report | [报告:report] |

图 7-3-2 核心结果

- 双击“Transmisson”显示透波率随角度的响应关系，如图 7-3-3

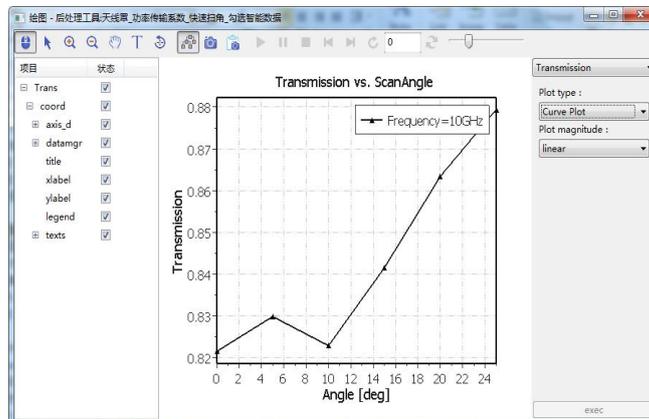


图 7-3-3 透波率随角度的响应关系

选择右侧查看选项，如图 7-3-4，查看透波率云图，如图 7-3-5。

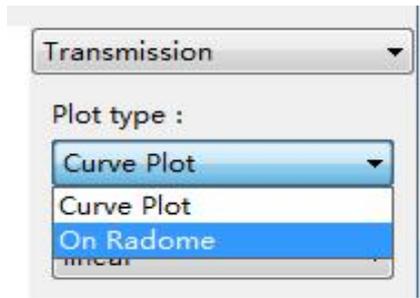


图 7-3-4 选项查看

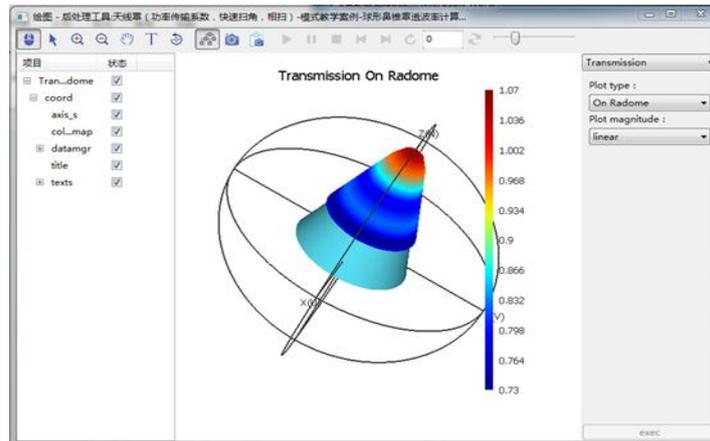


图 7-3-5 透波率云图

- 双击 “Directivity_2d”显示二维方向图，如图 7-3-6

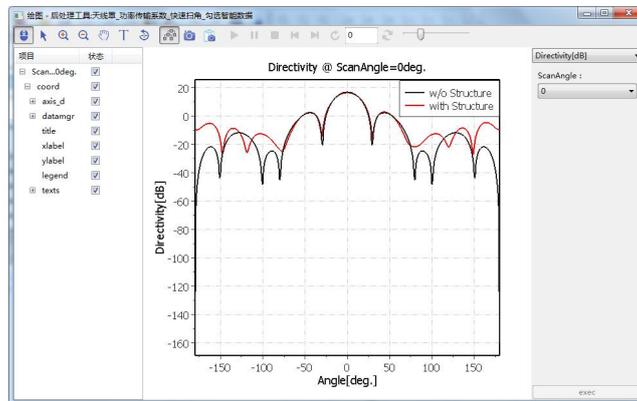


图 7-3-6 二维方向图

图中显示带罩与不带罩的二维方向图，右侧可选择不同扫描角查看。

- 双击 “Directivity_3d”显示三维方向图，如图 7-3-7

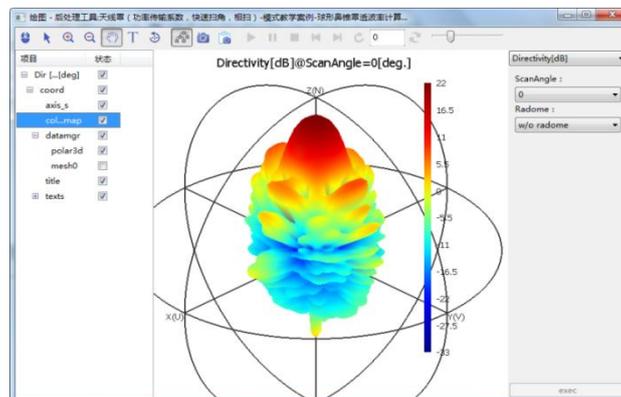


图 7-3-7 三维方向图

图中显示带罩与不带罩的三维方向图，右侧可选择不同扫描角查看。

- 双击“NearField”显示天线罩近场场图，如图 7-3-8

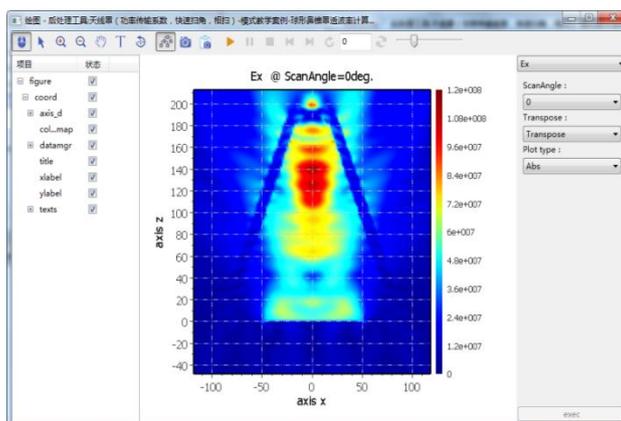


图 7-3-8 近场场图

- 双击“Far_Field_SmartData”下的“ScanAngle_0”、“ScanAngle_1”... 显示每个扫描角下的远场智能数据，如图 7-3-9

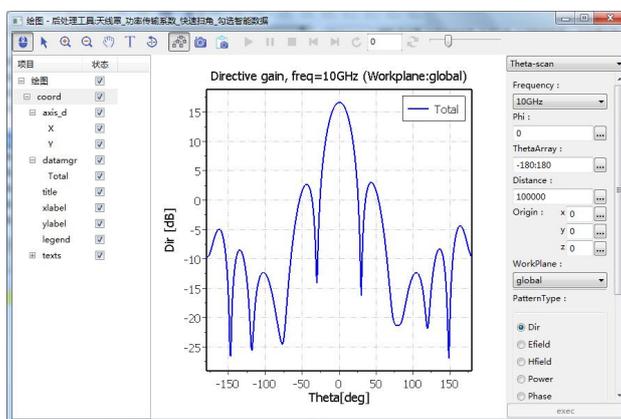


图 7-3-9 远场智能数据

远场智能数据包含丰富的远场外推信息，可选择不同的远场角度范围和角度精度查看。

7.4. 图对象属性介绍

figure 属性

在图数据树中选择 figure 节点，双击或在鼠标右键菜单中选择“属性”，弹出 figure 属性设置窗口，如下图所示：



图 7-4-1 Figure 属性设置

各参数意义见下表：

表 7-4-1 Figure 属性设置

| 参数 | 说明 | 备注 |
|-----|-----------|----|
| 背景色 | 指定画布的背景颜色 | |

- 坐标系 (Coord) 属性

在图数据树中选择 coord 节点，双击或在鼠标右键菜单中选择“属性”，弹出 coord 属性设置窗口，如图 7-4 所示：



图 7-4-2 坐标系 coord 属性

各参数意义见下表：

表 7-4-2 坐标系 coord 属性参数意义表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 名称 | 指定该结点的名称 | |
| 画布比例 | 指定当前图像在画布 X、Y 方向上的位置，这里的位置采用比例大小来表示，X、Y 取 0 到 1 之间的值（含 0, 1），左下角为画布的 (0, 0) 点，如 x 设为 (0, 0.5), y 设为 (0, 0.5) 则该图像位于画布左下角的位置。 | |
| 坐标轴单位属性 | 指定当前图像坐标轴显示方式，含自动和各坐标轴等长刻度显示两种 | |
| 范围 | 指定当前图像 X 轴和 Y 轴显示范围 | |
| 页边距 | 指定当前图像 X 轴和 Y 轴方向上的页边距大小 | |

- 坐标轴属性

在图数据树中选择 axis_d 节点下的坐标轴 X\Y\Z(直角坐标系下)，双击或在鼠标右键菜单中选择“属性”，弹出坐标轴属性设置窗口，如图 7-5 所示。

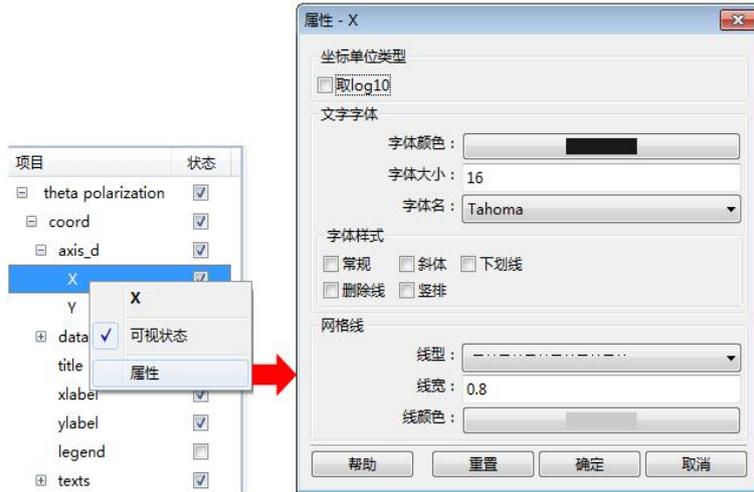


图 7-4-3 二维坐标系属性

各参数意义见下表：

表 7- 4-3 二维坐标系属性意义表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|--------------|------------------------------|--------------------|
| 坐标单位类型 | 取 log10：对坐标轴刻度值取 log10 操作 | 二维 直角坐标 系下有效 |
| 文字字体 文字样式 | 指定当前图像坐标轴刻度值数字的字体、颜色、大小及显示效果 | |
| 网格线 | 指定当前图像刻度辅助线的线型、线宽和线的颜色 | |

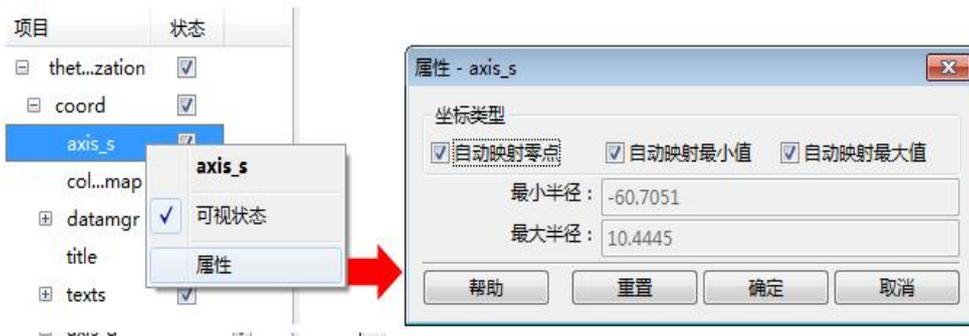


图 7-4-4 三维坐标系属性

各参数意义见下表：

表 7- 4-4 三维坐标系属性意义表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|----|----|----|
|----|----|----|

| | | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 坐标类型 | 指定数值与三维球坐标之间的映射关系： (1) 自动映射零点：选中时数据 $\rho < 0$ 时将缩在原点 ($r=0$)，未勾选时画到反方向； (2) 自动映射最小值：选中时将 ρ_{min} 映射至 $r=0$ 处； (3) 自动映射最大值：选中时将 ρ_{max} 映射至 $r=r_{max}$ 处， r_{max} 是图中的三个圆形外框的半径。 | 三维球坐标系下有效 |
| 最小半径 | 手动映射球坐标原点 ($r=0$) 数据值 | |
| 最大半径 | 手动映射球坐标最大点 ($r=r_{max}$) 数据值 | |

• 颜色映射表 colormap 属性

在图数据树中选择 axis_d/axis_s 节点下的 colormap，双击或在鼠标右键菜单中选择“属性”，弹出 colormap 属性设置窗口，如下图所示。

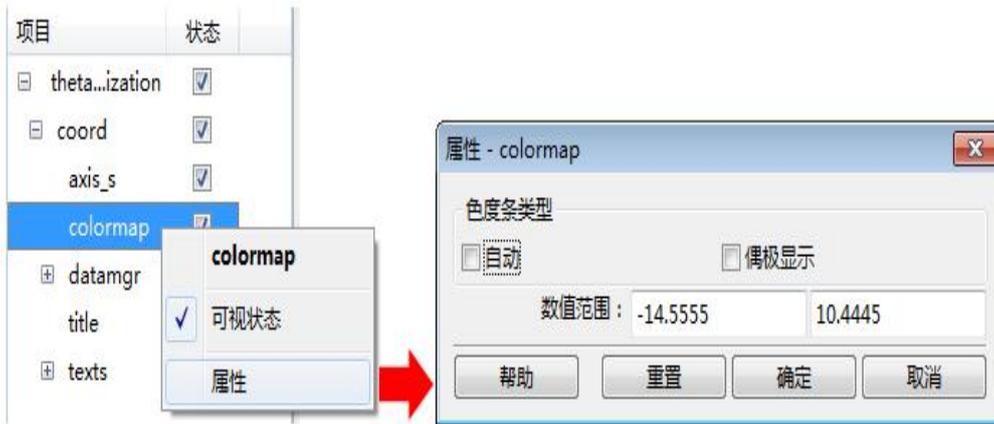


图 7-4-5 colormap 属性

各参数意义见下表：

表 7- 4-5 colormap 属性参数意义表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|-------|------------------------|-----------|
| 色度条类型 | 指定当前色度条颜色映射方式。含自动和偶极显示 | |
| 数值范围 | 指定当前色度条颜色映射范围 | 在非自动模式下有效 |

• 数据管理器 datamgr 属性

二维线型属性



图 7-4-6 datamgr 属性：线型

各参数意义见下表：

表 7- 4-6 datamgr 属性：线型

| 参数 | 说明 | 备注 |
|----|---------------------|----|
| 名称 | 指定曲线的标识名，与图例显示的名字关联 | |
| 线 | 指定选中曲线的样式和线宽 | |
| 标识 | 指定选中曲线上标识的样式和大小 | |

曲线图取点属性

任意一张曲线图，展开图中的节点列表，在数据上右键，可以看到“最小值”、“最大值”、“峰宽”，分别取曲线的最小值、最大值和峰宽。

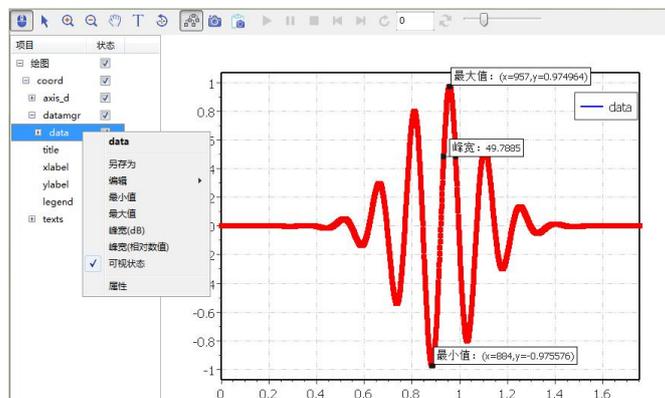


图 7-4-7 最大值，最小值，峰宽

选点后可进一步设置寻值的范围。在相应的结果上右键选择“属性”。

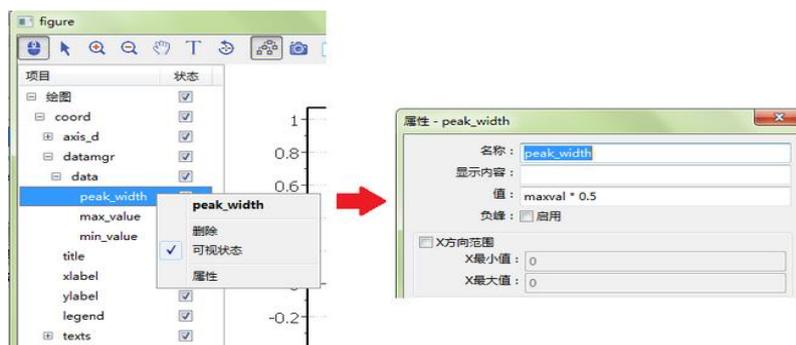


图 7-4-8 峰宽属性

各参数意义见下表：

表 7-2-7

| 参数 | | 说明 | 备注 |
|--------|-------|---------------|----|
| 名称 | | 指定标签的名称 | |
| 显示内容 | | 指定标签在图表中的显示名称 | |
| 值 | | 设定峰宽 | |
| X 方向范围 | X 最小值 | 选点区域的最小值 | |
| | X 最大值 | 选点区域的最大值 | |

实时场数据属性

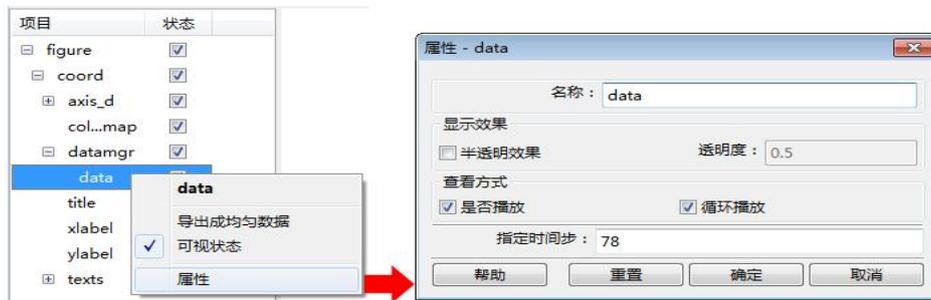


图 7-4-9 datamgr 属性：实时场数据属性

各参数意义见下表：

表 7-4-8 实时场数据属性参数说明表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|-------|-------------------------------------------------------|------------------|
| 显示效果 | 指定图显示透明效果. 透明度取值范围 0 到 1, 0 为不透明, 1 为透明 | 在三维球坐标下有效 |
| 查看方式 | 指定场图的显示方式, 可选择“是否播放”显示或“循环播放”显示。在“循环播放”显示状态下可指定查看指定帧。 | |
| 指定时间步 | 指定需要显示帧, 这里的帧代表记录的第几个数据 | 只在显示方式为“循环播放”时有效 |

复场数据属性

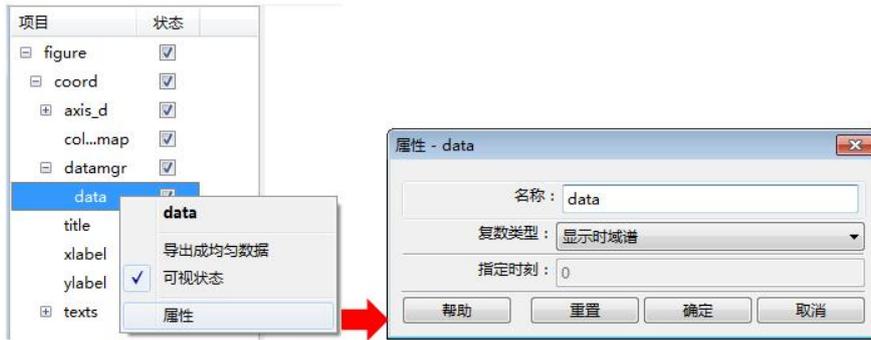


图 7-4-8 复场数据属性

各参数意义见下表：

表 7-4-9 复场数据属性参数说明表、

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 复数类型 | 显示实部：只显示复场的实部值 显示虚部：只显示复场的虚部值 显示绝对值：显示对复场取模操作后的值 显示复场相位：显示复场的相位分布情况 显示时域场：显示伪时域场 显示指定时刻场：显示指定时刻下场的分布情况，需在下面指定时刻 | |

三维球坐标模型、方向图数据属性



图 7-4-9 维球坐标模型、方向图数据属性

各参数意义见下表：

表 7-4-10 维球坐标模型、方向图数据属性参数说明表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|--------|---------------------------------------------|----------|
| 显示效果 | 指定模型、场的透明显示效果。透明度取值范围为 0 到 1, 0 为不透明, 1 为透明 | 三维结果图下有效 |
| 模型显示比例 | 指定模型与场显示的相对比例 | |

- 文字信息 title、xlabel、ylabel、text 属性

在图数据树中择 title\xlabel\ylabel 节点或 text 子节点，双击或在鼠标右键菜单中择“属性”，弹出 title 属性设置窗口，如下图所示：

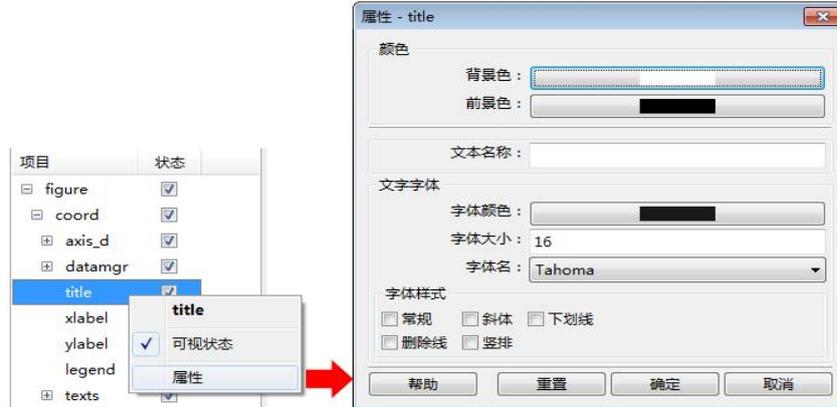


图 7-4-10 文本属性

各参数意义见下表：

表 7-4-11 title 属性参数说明表

| 参数 | 说明 | 备注 |
|------|--------------|----|
| 颜色 | 指定文本框背景色和前景色 | |
| 文本名称 | 指定文本的名称 | |
| 文字字体 | 指定文字的颜色和字体属性 | |
| 文字样式 | 指定文字的显示效果 | |

- 图例 Legend 属性

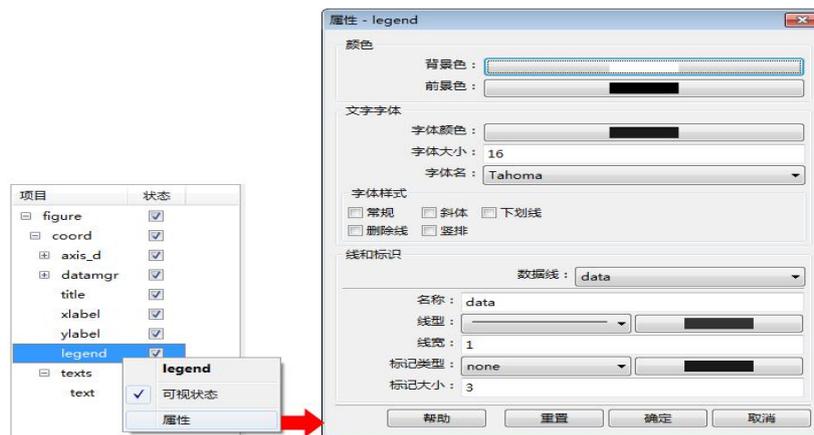


图 7-4-11 legend 属性

该属性只在二维直角坐标系曲线图下效。

表 7-4-12 legend 参数说明

| 参数 | 说明 | 备注 |
|----|---------------------|----|
| 颜色 | 指定 legend 框的前景色和背景色 | |

| | | |
|------|-----------------------------------|--|
| 文字字体 | 指定文字的颜色和字体属性 | |
| 文字样式 | 指定文字的显示效果 | |
| 线和表示 | 指定数据线的线型、线宽、颜色及数据线上标识的类型、颜色、大小等信息 | |

• 标注功能

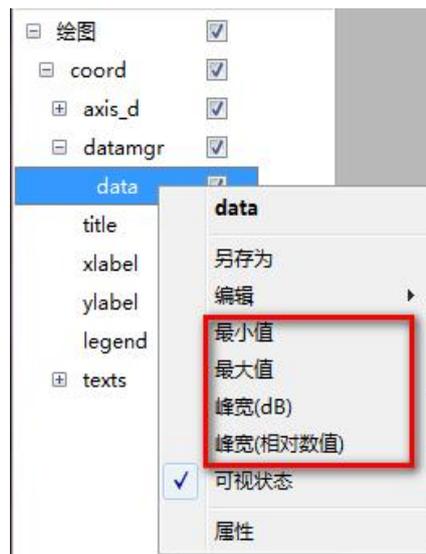


图 7-4-12 标注

可以选取最小值、最大值、峰宽（dB）和峰宽（相对数值）四种。
以峰宽（相对数值）为例：

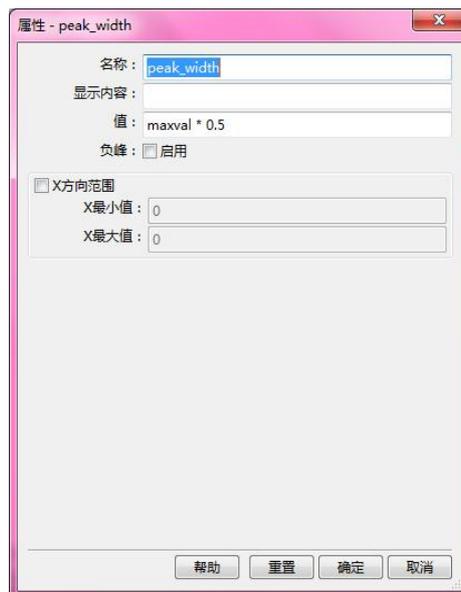


图 7-4-13 标注峰宽（相对数值）

表 7-4-13 标注峰宽的参数说明

| 参数 | 说明 | 备注 |
|--------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 名称 | 标注本身的名称 | |
| 显示内容 | 标注的显示文本内容，默认空白表示自动生成 | 不建议用户修改。如果修改，可以使用一些宏来标记数值： (1) 最大、最小值：使用 $\{V\}$ 表示数值， $\{X\}$ 、 $\{Y\}$ 、 $\{Z\}$ 表示坐标。 (2) 峰宽： $\{Width\}$ 表示宽度。 |
| 值 | 从峰的位置向两侧搜寻，达到该数值的 X 坐标差为峰宽 | 可以使用简单的表达式。可用变量包括： maxval、minval、imin、imax、xvalue、yvalue 等。如 maxval - 3 表示距离峰值-3dB 位置。 |
| 负峰 | 按照负峰（最小值）进行处理 | |
| X 方向范围 | 是否开启人工设定 X 坐标范围的功能，并在该区间定位峰 | |
| X 最小值 | 设定 X 坐标的最小值 | |
| X 最大值 | 设定 X 坐标的最大值 | |

7.5. 功能操作

在数据后处理中，我们可以通过相应的操作，以完成特定的功能。接下来将对后处理工具中所包含的功能做意义介绍。

• 取点

取点功能用于实现在二维直角坐标系曲线图上生成数据点提示信息。

操作方法：

- 1) 鼠标左键点选曲线上的数据点，选中后数据点变为黑色，并显示坐标消息；
- 2) 在鼠标右键菜单中选择“创建数据点”，即可在曲线上生成数据提示标签。

重复以上操作，可同时生成多个数据提示标签。在数据点选中状态下，通过右键菜单“删除数据点”可删除单个数据提示。在曲线选中状态下，通过右键菜单“删除所有数据点”可删除该曲线上标记的所有数据提示。

• 数据导入/导出

EastWave 求解完成后默认生成的是二进制数据，可通过数据导出功能，将数据类型结果导出成可编辑的文本文件，也可以将图数据类型结果导出成 EastWave 可以识别的图数据文件。

o 数组纯数据导出

在结果树中选择 array 类型的二维数组，通过右键菜单“另存为”，指定路径后，即可将纯数据输出到文本文件。多维数组会在文本文件中显示维度信息，并且按照子二维数组方式输出：



图 7-5-1 数组纯数据导出文件

o 数组纯数据导入

在文件对话框中选择后缀名称筛选数据“.ed”和“.txt”，或者选择“*.*”

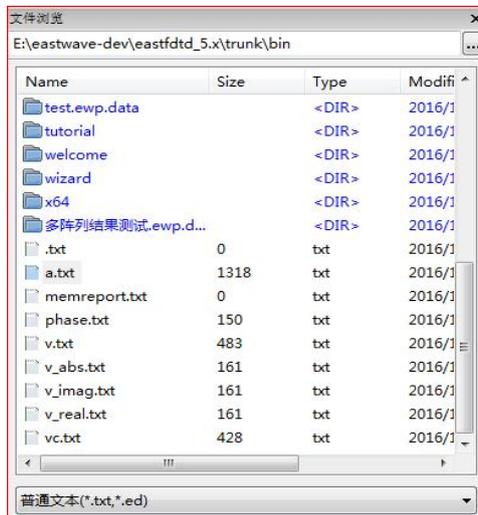


图 7-5-2 导入文件对话框

右键点击文件（如“a.txt”），选择“LoadTxtFile”，即可导入一组数据，简单英文名称会转换成同名变量。

o 图数据导出

在结果树中选择 fig_figure 类型的图数据，通过右键菜单“保存并导出”，指定路径后，即可导出成 ewd_figure 格式的图形文件，该类型的图形文件可以在 EastWave 中读取查看。

o 实时场数据导出

要导出“[时域]截面场记录”生成的数据结果，可通过在实时场图右键菜单中选择“另存为”，指定路径后，即可将该时刻的实时场数据导出到文本文件。该导出操作将生成两个文件：_coord.txt，该文件含两行数据，第一行记录横坐标值，第二行记录纵坐标值；_value.txt，该文件记录截面上的场值。

 非均匀网格下数据导出

如果截面场记录面上采用的是非均匀网格，则在导出的过程中将采用插值算法输出成均匀分布的场数据。

o 复场数据导出

要导出“[频域]截面场记录”生成的复场数据结果，可通过在复场图右键菜单中择“另存为”，指定路径后，即可将该复场数据导出到文本文件。要导出复场数据的实部、虚部、模值等，需要在复场图的右键属性中将显示类型调整到相应的模式下，再执行导出操作。

7.6. 脚本后处理

EastWave 脚本语言基础见第八章《EastWave 脚本语言》及《EastWave5.1 脚本语言说明文档》，后者更全面的介绍了 EastWave 脚本语言。通过 EastWave 脚本语言，用户可以方便地进一步处理 EastWave 仿真数据，获得需要的工程参数、图表等数据再加工信息。

下面通过计算材料透射反射率案例，绘制相关曲线图，来说明 EastWave 脚本后处理的功能。

EastWave 计算完成后，点击工程管理窗口里的“结果”，进入结果后处理窗口，如图 7-4-1，工程管理窗口中 EastWave 生成的数据后处理结果，具体见 7.1 后处理数据结构。

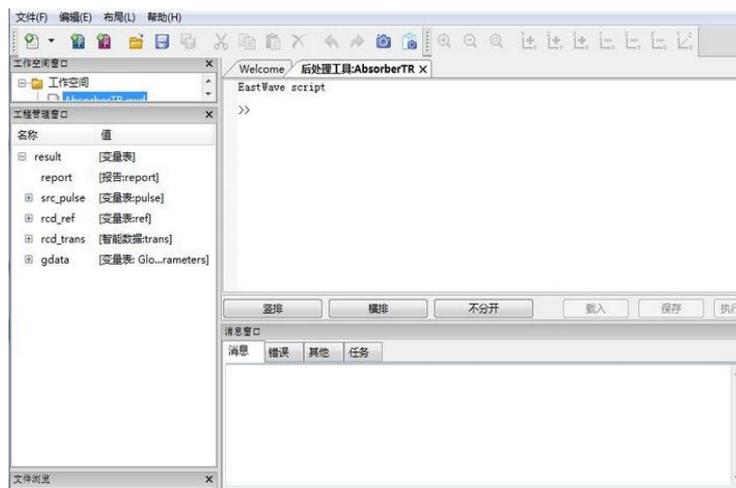


图 7-6-1 结果后处理窗口

上图工程管理窗口中，src_pulse 为高斯脉冲激励源信号，rcd_ref 为时域远场记录器记录的反射场信号，rcd_trans 为时域远场记录器记录的透射场信息。通过对信号进行傅里叶变换，得到信号的频域信息，利用发射率公式， $R = (E_{ref}/E_{src})^2$ ，透射率公式 $R = (E_{trans}/E_{src})^2$ 具体如下：

通过在 EastWave script 窗口中，运行以下脚本，计算吸波材料透射反射率：

```
//分别对激励源和记录器的信号做 FFT:
Esrc=abs(fft(src_pulse.data));
Etra=abs(fft(rcd_trans.data));
Eref=abs(fft(rcd_ref.data));
//计算透射率和反射率
T=(Etra/Esrc)^2;R=(Eref/Esrc)^2;
//获取 FFT 的频率序列
```

```

fmax=1/gdata.DELTA_T/gdata.UT;
freq=linspace(0,1,gdata.STEP_MAX)*fmax;
//画图并设置格式
fig.new();
fig.plot(freq,T);line_style(1,2,color(0,0,1));info("T");
fig.plot(freq,R);line_style(1,2,color(1,0,0));info("R");
fig.plot(freq,T+R);line_style(1,2,color(0,0,0));info("T+R");
axis(gdata.FREQ_MIN*gdata.UF,gdata.FREQ_MAX*gdata.UF,0,1.1);legend(
);
xlabel("Frequency [Hz]");ylabel("T, R");

```

点击“执行”即可得到透射/反射率频谱：

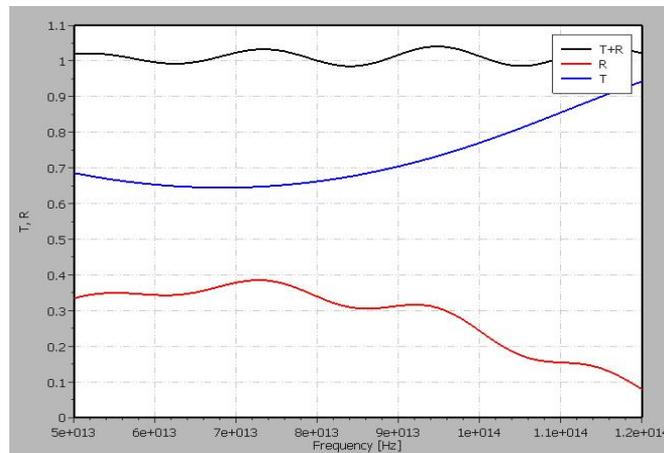


图 7-6-2 透反率频谱图

上图结果中看出：反射率明显有抖动，且“透射率+反射率”之和大于1。观察反射信号数据可看出激励源在正向发射时有微弱的背向噪声信号（下图 200~1000 步的微弱信号）：

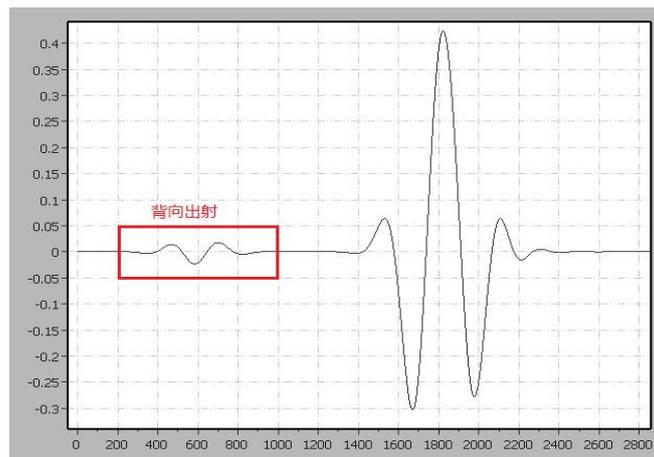


图 7-6-3 激励源产生的背向出射信号

通过将反射记录器记录的 0~1200 步信号置 0，来消去噪声信号，重新做透射率/反射率图，具体如下：

```

//将反射记录器的 0~1200 步噪音信号置 0
refl=rcd_ref.data; refl[0:1200]=0.0;

```

```

//重复上述流程
Eref1=abs(fft(ref1));
R1=(Eref1/Esrc)^2;
Esrc=abs(fft(src_pulse.data));
Etra=abs(fft(rcd_trans.data));
fmax=1/gdata.DELTA_T/gdata.UT;
freq=linspace(0,1,gdata.STEP_MAX)*fmax;
fig.new();
fig.plot(freq,T);line_style(1,2,color(0,0,1));info("T");
fig.plot(freq,R1);line_style(1,2,color(1,0,0));info("R1");
fig.plot(freq,T+R1);line_style(1,2,color(0,0,0));info("T+R1");
axis(gdata.FREQ_MIN*gdata.UF,gdata.FREQ_MAX*gdata.UF,0,1.1);legend(
);
xlabel("Frequency [Hz]");ylabel("T, R1");

```

点击“执行”即得到更准确的透射/反射率频谱：

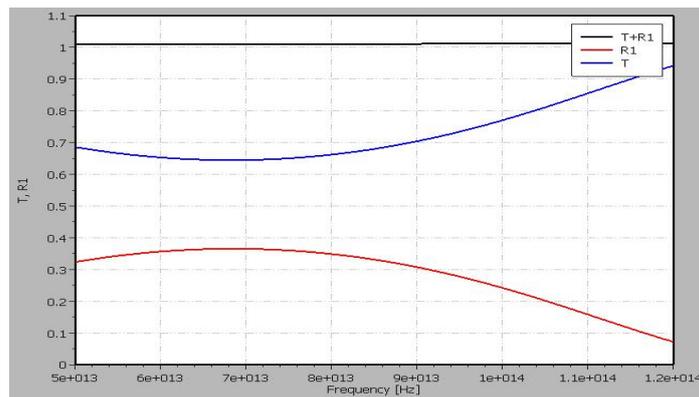


图 7-6-4 透反率频谱图（修正激励源背向出射后）

第八章 EastWave 脚本语言

高级用户在使用 EastWave 进行仿真计算的时候,需要对计算结果或者工程文档进行定制处理,以获取工程项目特定的参数、特性指标等数据。为此, EastWave 为广大用户提供了一套脚本语言,可用于工程文档前处理和数据后处理。通过使用 EastWave 脚本语言,高级用户可以形成专用的自动化仿真工程;用户也可以使用与 Matlab 工具类似的方式使用 EastWave 编写自己的程序,提高仿真效率。

8.1. 后处理脚本语言

从 EastWave 4. x 开始,我们提供了一套后处理脚本语言(EastWave Script Language, EWSL),用于解决用户处理自定义记录结果的后处理问题。在 EastWave 5.0 和 6.0 版本中,我们增加了一些新的函数功能,提升了处理能力。与 EastWave 4. x 类似,EWSL 的基本结构如下:

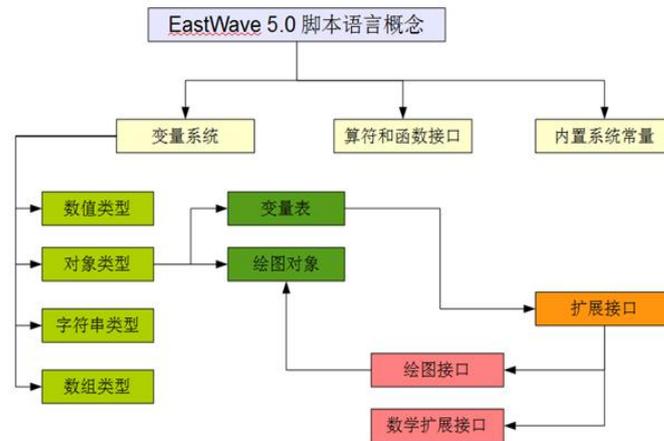


图 8-1-1 脚本语言概念与框架

EWSL 是一种具有动态类型和多种数据结构的脚本语言,主要包括:

- 支持分支语句和循环语句
- 支持动态类型的变量定义,可随用随定义
- 面向对象,函数也可以作为变量传递
- 支持变量表,可以自定义复杂的数据结构
- 支持多种数学函数和其他工具函数
- 支持绘图
- 支持数据的导入导出

EWSL 可以处理 EastWave 计算结果文件,包括后缀分别为 .ewd、.ed、.txt 的数据文件。

EWSL 处理的数据以变量表形态保存,可以在图形界面中进行操作,可参考“数据后处理”一章内容。



注意事项

由于帮助文件篇幅有限,无法全面介绍 EastWave 脚本语言。高级用户如需深入了解该脚本语言,请参考《EastWave 5.1 脚本语言说明文档》专题文档。

8.1.1. 基本语法和常用语句

1) 变量定义与赋值

```

a = 1; // 定义一个整数变量
b = 1.2; // 定义一个浮点数
c = complex(1, -1); // 定义一个复数 1-i
d = array(1, 1, 2, 3, 5, 8); // 定义一个整数数组
s = "name"; // 定义一个字符串
e = a; // 将 a 赋值给 e
f = table(); // 定义一个空变量表
f.x = 1.0; // 在变量表 f 中加入浮点数变量 x
f.y = 2.0; // 在变量表 f 中加入浮点数变量 y
f.u = "table"; // 在变量表 f 中加入字符串变量 u
f.func = sin; // 在变量表 f 中加入一个函数 func, 并且用 sin 函数赋值
a = nil; // 擦除变量 a

```

2) 函数

```

a = 1.0;
b = 2.0;
// 工具函数
print("a=", a); // 屏幕打印变量 a 的值
c = -a; // 取反
// ** 四则运算
c = a + b;
c = a - b;
c = a * b;
c = a / b;

```

```
c = a % b; // 取模
c = a ^ b; // 乘方

// 关系运算
f1 = true; // 定义布尔值
f2 = false;
f = f1 && f2; // 与
f = f1 || f2; // 或
f = !f1; // 非
f = xor(f1, f2); // 异或

// 其他常用函数
// ** 三角函数
c = cos(a);
c = sin(a);
c = tan(a);

// ** 反三角函数
c = atan(a);
c = atan2(a, b); // 二元反正切，用于坐标象限的确定
c = acos(a);
c = asin(a);

// ** 双曲三角函数
c = sinh(a);
c = cosh(a);
c = tanh(a);

// ** 角度制三角函数
c = cosdeg(45);
c = sindeg(60);
c = tandeg(30);

// 复数运算
d = complex(1, -1); // 复数定义
re = real(d); // 取实部
im = imag(d); // 取虚部
c = conj(d); // 取共轭
```

```

    ang = angle(d);           // 取俯角，弧度

    // 数组函数
    a = linspace(0,1,101);   // 给定最大值和最小值和点数，生成
    等差数列
    a = 1:10;                // 冒号算符，生成等差数
    列
    b = a[0:2];              // 索引算符，取元素(引
    用)或取子数组(引用)

    // 其他函数
    M = 10;
    N = 5;
    A = zeros(M, N);        // 创建一个 M 行
    N 列的二维零数组
    B = math.randn(M, N);   // 创建一个 M 行 N 列的二
    维随机标准正态分布数组
    C = math.randi(100,M,N); // 创建一个 M 行 N 列
    二维随即均匀分布非负整数数组
    signal = math.randn(1000,1); // 创建一个一维数组信号
    signal_f = fft(signal);   // 快速 Fourier 变换
    signal_f = fftshift(signal_f); // 快速 Fourier 变换后的移
    位
    signal_t = ifft(signal_f); // 快速 Fourier 逆
    变换
    signal_t = ifftshift(signal_t); // 快速 Fourier 逆变换后的
    移位

```

3) 分支判断语句和循环语句

分支判断语句: if-then-else

```

    a = 100;
    b = 99;
    if (a>b)
    {
        print("a>b");
    }else if (a<b)
    {
        print("a<b");
    }else

```

```
{
    print("a==b");
}
```

循环语句: for

```
s = 0;
n = 100;
for(local i=0; i<100; i=i+1)
{
    s = s + i;
}
print("sum(0:", n-1, ")=", s);
```

4) 注释功能

单行注释 (//)

多行注释 (/* */)

```
a = 1;           // 这是单行注释
                // 这也是单行注释

b = 2;
/* 这是多行注释
 * 注释内容
 */
```

8.1.2. 函数表

表 8-1-2 EastWave 脚本语言函数表

| 函数名 | 所属模块 | 是否可用于全局 | 功能 |
|---------|------|---------|------------|
| 类型转换函数 | | | |
| int | | 是 | 转换或定义一个整数 |
| float | | 是 | 转换或定义一个浮点数 |
| bool | | 是 | 转换或定义一个布尔数 |
| complex | | 是 | 转换或定义一个复数 |
| array | | 是 | 定义一个数组 |
| tuple | | 是 | 定义一个数组/元组 |
| range | | 是 | 定义一个数组/元组 |
| string | | 是 | 定义一个字符串 |

| 常见数学函数 | | | |
|-------------|------|---|--------------------|
| abs | | 是 | 取绝对值 |
| floor | | 是 | 取不大于 x 的最大整数 |
| ceil | | 是 | 取不小于 x 的最小整数 |
| sqrt | | 是 | 开平方 |
| pnorm | | 是 | p -范数 |
| round | | 是 | 四舍五入截断为整数 |
| sin | | 是 | 正弦 |
| sindeg | | 是 | 正弦(角度) |
| cos | | 是 | 余弦 |
| cosdeg | | 是 | 余弦(角度) |
| tan | | 是 | 正切 |
| asin | | 是 | 反正弦 |
| acos | | 是 | 反余弦 |
| atan | | 是 | 反正切 |
| atan2 | | 是 | 反正切 $[0, 2\pi)$ 范围 |
| sinh | | 是 | 双曲正弦 |
| cosh | | 是 | 双曲余弦 |
| log | | 是 | 以 e 为底的自然对数 |
| log10 | | 是 | 以 10 为底的对数 |
| exp | | 是 | 指数 |
| 数组函数 | | | |
| reshape | math | 是 | 数组变形 |
| adjust_dims | math | 是 | 维度调整 |
| size | math | 是 | 数组维度 |
| length | math | 是 | 数组元素个数 |
| linspace | math | 是 | 线性空间(等差数列) |

| | | | |
|---------------|------|---|-----------------|
| logspace | math | 是 | 对数空间（等比数列） |
| sum | math | 是 | 求和 |
| mean | math | 是 | 求平均 |
| min | math | 是 | 求最小值 |
| max | math | 是 | 求最大值 |
| std | math | 是 | 标准差 |
| ones | math | 是 | 全 1 的数组 |
| zeros | math | 是 | 全 0 的数组 |
| eye | math | 是 | 返回单位矩阵 |
| trans | math | 是 | 转置 |
| sort | math | 是 | 排序 |
| sortrows | math | 是 | 按列排序 |
| dimension | math | 否 | 返回数组的维度 |
| iscolumn | math | 否 | 是否是列向量 |
| isrow | math | 否 | 是否是行向量 |
| isvector | math | 否 | 是否是向量 |
| isscalar | math | 否 | 是否是标量 |
| isdeterminant | math | 否 | 是否是行列式 |
| issquare | math | 否 | 是否是方阵 |
| ismatrix | math | 否 | 是否是矩阵 |
| repmat | math | 是 | 将给定数组按照规定大小进行扩展 |
| matrixcat | math | 是 | 拼接矩阵 |
| fliplr | math | 是 | 左右反转 |
| flipud | math | 是 | 上下翻转 |
| rot90 | math | 是 | 矩阵逆时针旋转 90 度 |
| last | math | 否 | 返回数组的最后一个元素 |

| | | | |
|------------|------|---|------------------------------|
| meshgrid | math | 是 | 返回 XY 网格数组 |
| ndgrid | math | 是 | 返回网格数组 |
| 复数函数 | | | |
| real | | 是 | 取实部 |
| imag | | 是 | 取虚部 |
| conj | | 是 | 取共轭 |
| angle | | 是 | 取相位角 |
| 字符串函数 | | | |
| strcat | | 是 | 字符串拼接 |
| num2str | | 是 | 数字转字符串 |
| formatdata | | 是 | 格式化多列数据，生成字符串数组，用 print 函数打印 |
| 工具函数 | | | |
| clc | | 是 | 清屏 |
| clear | | 是 | 清除指定变量或全部非系统变量 |
| print | math | 是 | 打印内容 |
| 数学、物理常数 | | | |
| PI | | 是 | 圆周率 |
| NATE | | 是 | 自然对数的底数 e |
| C0 | | 是 | 真空光速 c |
| EPS0 | | 是 | 真空介电常数 ϵ |
| MU0 | | 是 | 真空磁导率 μ |
| ZF0 | | 是 | 真空阻抗 Z_0 |
| ELEC | | 是 | 电子伏特 eV |
| PLANCK | | 是 | 普朗克常数 h |
| BOLTZ | | 是 | 玻尔兹曼常数 k_B |
| Fourier 变换 | | | |

| | | | |
|-----------|------|---|-------------|
| fft | math | 是 | FFT |
| ifft | math | 是 | iFFT |
| fftshift | math | 是 | FFT 后的换位 |
| ifftshift | math | 是 | iFFT 前的换位 |
| 插值 | | | |
| interp1 | math | 否 | 一维插值 |
| interp2 | math | 否 | 二维插值 |
| 绘图模块 | | | |
| plot | fig | 否 | 直角坐标系 2D 绘图 |
| polar | fig | 否 | 极坐标 2D 绘图 |
| imagesc | fig | 否 | 矩阵图像图 |
| polar3d | fig | 否 | 球坐标 3D 绘图 |
| view | fig | 否 | 设定 3D 视角 |
| xlim | fig | 否 | 设定 x 轴范围 |
| ylim | fig | 否 | 设定 y 轴范围 |
| zlim | fig | 否 | 设定 z 轴范围 |
| xlog10 | fig | 否 | 设置 x 轴为对数坐标 |
| ylog10 | fig | 否 | 设置 y 轴为对数坐标 |
| zlog10 | fig | 否 | 设置 z 轴为对数坐标 |
| equal | fig | 否 | 设置所有轴等长 |
| title | fig | 否 | 设置标题 |
| xlabel | fig | 否 | 设置 x 轴标签 |
| ylabel | fig | 否 | 设置 y 轴标签 |
| zlabel | fig | 否 | 设置 z 轴标签 |
| info | fig | 否 | 设置图例名称 |
| legend | fig | 否 | 开启图例显示 |
| datatip | fig | 否 | 设置数据点说明文字 |

| | | | |
|----------|-----|---|-----------|
| text | fig | 否 | 设置文本框 |
| line | fig | 否 | 设置线形 |
| marker | fig | 否 | 设置记号形状 |
| setcolor | fig | 否 | 设置颜色 |
| color | fig | 否 | 返回颜色 |
| colorbar | fig | 否 | 设置颜色条是否现实 |
| allplot | fig | 否 | 设置多个绘图区域 |
| subplot | fig | 否 | 设置子绘图 |
| canvas | fig | 否 | 设置画布名称 |
| seqbeg | fig | 否 | 图像序列开始 |
| seqadd | fig | 否 | 图像序列增加一幅图 |
| seqend | fig | 否 | 图像序列结束 |
| mesh | fig | 否 | 加载三角形网格 |



注意事项

由于帮助文件篇幅有限，无法全面介绍 EastWave 脚本语言。高级用户如需深入了解该脚本语言，请参考《EastWave 6.0 脚本语言说明文档》专题文档。

8.1.3. 绘图

绘图功能是后处理中最重要的功能。

创建一个新的绘图需要使用以下命令：

```
f = fig.new();
```

然后我们调用 fig 中的绘图函数，即可在绘制图形并保存在图变量 f 中。

例如：

```
f = fig.new();
x = linspace(0, 360, 361);
y = cosdeg(x);
fig.plot(x, y);
```

我们使用以下函数对绘制出的图进行标注：

```
fig.info("my plot");
```

```
fig.title("y = cos(x)");
fig.xlabel("x");
fig.ylabel("y");
```

我们可以在左侧属性管理器中选择需要观察的图：

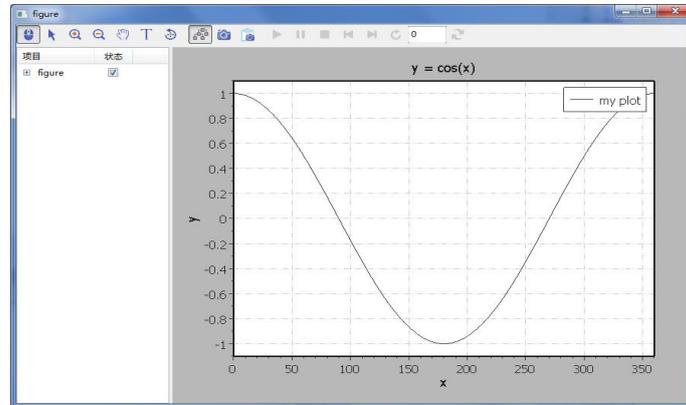


图 8-1-3 用脚本语言绘制一个余弦函数 $y = \cosdeg(x)$

利用绘图工具，我们可以绘制多种图，上面的例子是绘制较为简单的曲线图。下面介绍另外几个例子：二维极坐标方向图；三维球坐标方向图；二维矩阵图像。

绘制二维极坐标方向图：

```
fig.polar(theta, r); // theta 是极坐标角度，r
表示矢径，弧度制
```

绘制三维球坐标方向图：

```
fig.polar3d(theta, phi, rho); // theta 是极坐标  $\theta$  角，phi
是方位角；
```

绘制图表后，可以通过 第七章 数据后处理 中的操作方法设置曲线的颜色、线型、文字标识、图例等属性。也可以使用脚本函数的方式定义颜色。

```
fig.info("THIS_LEGEND"); // 设置当前曲线的名
称，并作为图例
fig.legend(true); // 显示图例
fig.line_style(1, 2.0, color(1.0, 1.0, 0)); //
设置曲线线型、宽度和颜色
fig.marker_style(2, 5.0,
color(1.0, 1.0, 0)); // 设置标识符的类型、大小和颜
色
```

用户可以在同一幅图上绘制多个曲线，然后再进行统一设置其颜色：

```
fig.setcolor("auto"); // 自动根据曲线数量设
置颜色，当曲线较少时采用颜色差异较大的几种颜色，当曲线较多时采用彩虹过渡
色。
```

EastWave 默认在同一个（当前）坐标系中进行绘图，不存在 Matlab 中的 hold on 功能，但是可以使用其他方式替代，如新建一个空绘图，或者创建一个新的画布（canvas）。用户如需创建一个新画布，则应使用 fig.canvase("canvas_name") 的命令：

```
fig.canvas("THIS_CANVAS");
```

8.1.4. 编辑和运行脚本程序

EastWave 提供主要两种方式可以直接执行脚本程序，一种是在后处理窗口中直接执行，另一种可以一次执行一段代码（脚本程序文件）。

1) 窗口立即执行

在菜单栏“文件”下选择新建“后处理工具”，可以打开以下窗口（右上方的字窗口），参考 2.11 后处理工具窗口 一节：

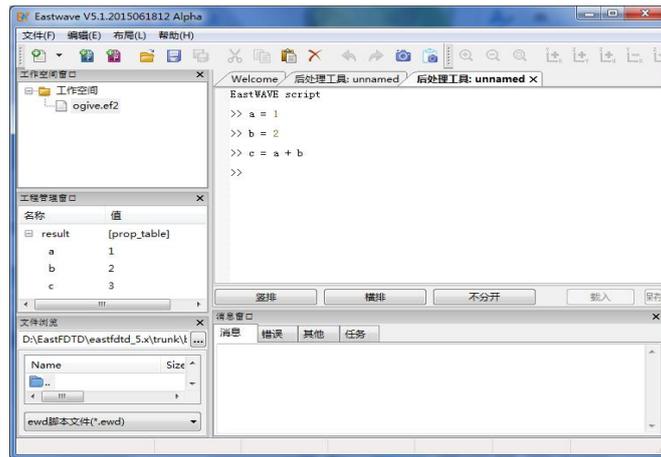


图 8-1-4-1 脚本语言运行窗口

同时在左侧工程管理窗口中显示的是当前变量（不包括临时变量），左下方的窗口显示当前所在路径。

2) 执行脚本程序文件

用户在后处理工具窗口中点击“竖排”、“横排”可以打开脚本文件编辑栏，如下图所示：

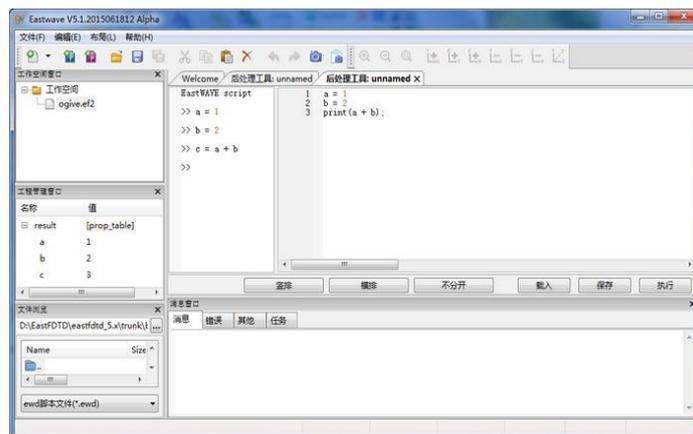


图 8-1-4-2 打开脚本文件编辑功能

如果需要关闭该栏，只需要点击“不分开”即可。

编写了一段代码后，可以点击“执行”便运行了整段程序。

用户也可以点击“载入”按钮，可以加载过去编写的脚本程序文件，或者点击“保存”按钮将当前代码内容保存到某个路径，默认的后缀名为“ewd_script”。



注意事项

1. 在后处理工具界面中如果点击工具栏中的“保存”图标或者按“Ctrl + S”快捷键，保存的是后处理数据（即左侧工程管理窗口中显示的变量表）
2. 高级用户可以在这里对自己的计算结果进行通用功能编程，然后将这部分代码拷贝到“自动后处理脚本”中。

8.2. Lua 语言前处理

Lua 语言是一种超小型嵌入式脚本语言，由标准 C 语言编写，在操作系统和平台上可编译运行。Lua 语言在当前所有的脚本引擎中具有最快的运行速度。

EastWave 使用 Lua 语言对工程文件进行前处理。

8.2.1. Lua 简介

EastWave 为 FDTD 仿真工程文件（.ewp 文件）提供了 Lua 脚本语言前处理方式，可方便进行 FDTD 工程建模。对于一些特殊的 FDTD 工程模型（例如特殊阵列），使用 Lua 脚本语言对工程文件编程处理，非常方便高效。

用户可通过以下方法，使用 Lua 脚本语言编辑 EastWave 仿真工程文件（.ewp）：

使用 EastWave 脚本编辑器打开 .ewp 文件（如果 .ewp 文件已经在窗口交互模式下打开，应先予以关闭），也可使用其他文本编辑器（如 Windows 自带的文本编辑器或者 Notepad++ 等软件）打开 .ewp 文件。若使用 EastWave 内嵌的编辑工具，按如下方式打开：

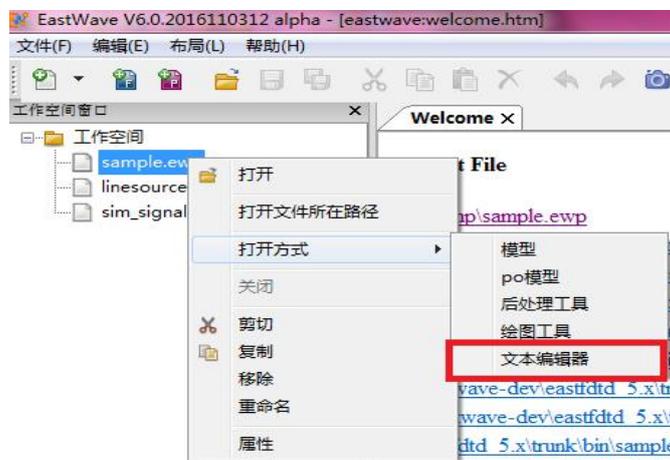


图 8-2-1 脚本方式打开 FDTD 工程

下图是用 EastWave 脚本编辑器打开 .ewp 工程文件：

material_type 表示材料类型。

c. 定义激励源。调用 tds.Begin(<source_type>); ... tds.End();过程。

source_type 表示激励源类型。

d. 定义记录器。tdr.Begin(<record_type>); ... tdr.End();过程。

record_type 表示记录器类型。

e. 定义元件/物体。tdc.Begin(<shape_type>); ... tdc.End();过程。

shape_type 表示物体类型。注意，当 shape_type 为 td.SHAPE_CELL_2 时，表示定义了一个完整的物体，即引用的元件和附加的材料信息、坐标变换信息。

f. 自定义后处理脚本。td.CustomScript(<script>)函数。script 即脚本的内容。

5) FDTD 工程文件，在前处理建模完成后，用 EastWave 软件打开.ewp 工程文件，在交互界面可查看编辑模型，通过菜单栏》求解器》启动计算，开始仿真计算。注意：界面只能识别第一次生成的工程，求解器则可以不断计算，可以用这个方法实现“多次计算”。

8.2.2. Lua 扩展

EastWave 6.0 以前版本也都支持 Lua 编程。在 6.0 版本中新增了一些扩展功能，简化了部分模型，特别是复杂阵列的生成方式。相关的 Lua 扩展代码都是公开的，放在安装目录/extension/lua/文件夹下，便于有兴趣的用户调用和编辑。

启用 Lua 扩展可通过以下两种方式：

1) 手动修改 extension/lua/ __init.lua 文件，将 enable_lua_extension 变量设置为 true。该方法的缺点是，对所有的工程都自动开启 lua 扩展，可能导致速度降低。

2) 在需要自定义 lua 程序的工程文档的开头增加一段代码：

```
dofile("extension/lua/user_init.lua")
```

接下来编写自己的代码。

扩展的内容包括：

- ① 数学函数扩展
- ② Lua 表功能的扩展
- ③ 泛型工具扩展
- ④ 建模功能扩展

下面来说明如何使用 Lua 扩展建立几个特殊的阵列：

案例一 简单阵列

设置晶格常数 a=40，到阵中的最大距离 R=100。通过 makeArray() 函数，建立一个二维阵列，具体代码和建模结果如下：

```
tdc.Begin(td.SHAPE.CUBE);
    tdc.Name("cube");
    tdc.Center("0.0","0.0","0.0");
    tdc.Width("10.0","10.0","10.0");
    tdc.RotateAxis(td.DIR.Z);
    tdc.Angle("0.0");
tdc.End();
```

```

-- 定义晶格常数
a = 40;
lc = makeLatticeConstant(a, 0, 0,
                        0, a, 0,
                        0, 0, a);

-- 获得阵列下标的生成器
-- 使用标准的范围下标
subg = subGenerator(colon(-2, 1, 2), colon(-3, 1, 3));

-- 设置筛选条件为处于半径=R 的圆内
R = 100;
cond = function (sub)
    local d = lc.x * sub.x + lc.y * sub.y + lc.z * sub.z;
    return d:length() <= R;
end;

-- 过滤
subg = gfilter(subg, cond);
-- 生成阵列
makeArray("sym_array", "cube", "", "pec", lc, subg);

-- 挂接到物体节点
tdc.Begin(td.SHAPE.CELL_2);
    tdc.Name("array");
    tdc.Symbol("sym_array");
tdc.End();

```

这段嵌入的代码可以建立起一个 2D 阵列，晶格常数为 a 的方阵，并且排列范围在 $R \leq 100$ 的圆内。

建模结果如下图 8-2-2-1。

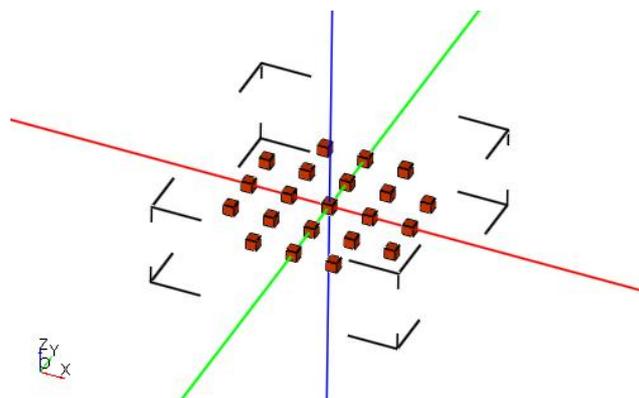


图 8-2-2-1 生成简单阵列

案例二 六角晶格阵列

设置晶格常数 $a=40$ ，到阵中的最大距离 $R=200$ 。通过 `makeArray()` 函数, 建立一个二维阵列, 具体代码和建模结果如下:

```
a = 40;  
R = 200;  
lc = makeHexaLatticeConstant(a);  
subg = hexaGenerator(a, R);  
makeArray("sym_array", "cube", "", "pec", lc, subg);
```

生成的六角晶格阵列如图 8-2-2-2

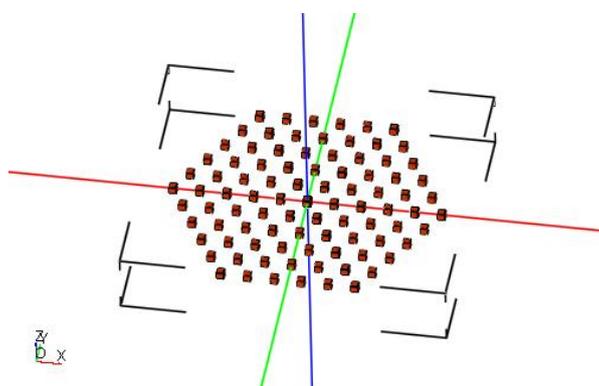


图 8-2-2-2 生成六角晶格阵列且按照六角晶格排列