

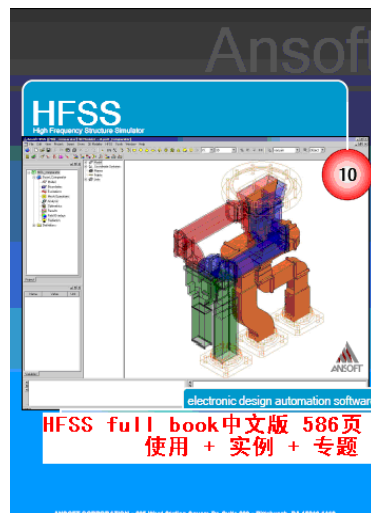
## HFSS FULL BOOK v10 中文翻译版 568 页(原 801 页)

(分节 水印 免费 发布版)

**微波仿真论坛 -- 组织翻译 有史以来最全最强的 HFSS 中文教程**

**感谢所有参与翻译,校对,整理的会员**

版权申明: 此翻译稿版权为微波仿真论坛(bbs.rfeda.cn)所有. 分节版可以转载. [严禁转载 568 页完整版.](#)



**推荐: EDA问题集合(收藏版) 之HFSS问题收藏集合** → <http://bbs.rfeda.cn/hfss.html>

- Q: 分节版内容有删减吗? A: 没有, 只是把完整版分开按章节发布, 免费下载. 带水印但不影响基本阅读.
- Q: 完整版有什么优势? A: 完整版会不断更新, 修正, 并加上心得注解. 无水印. 阅读更方便.
- Q: 本书结构? A: 前 200 页为使用介绍. 接下来为实例(天线, 器件, EMC, SI 等). 最后 100 页为基础综述
- Q: 完整版在哪里下载? A: 微波仿真论坛 ( <http://bbs.rfeda.cn/read.php?tid=5454> )
- Q: 有纸质版吗? A: 有. 与完整版一样, 喜欢纸质版的请联系站长邮寄rfeda@126.com 无特别需求请用电子版
- Q: 还有其它翻译吗? A: 有专门协助团队之翻译小组. 除 HFSS 外, 还组织了 ADS, FEKO 的翻译. 还有正在筹划中的任务!
- Q: 翻译工程量有多大? A: 论坛 40 位热心会员, 120 天初译, 60 天校对. 30 天整理成稿. 感谢他们的付出!

Q: rfeda.cn 只讨论仿真吗?

A: 以仿真为主. 微波综合社区. 论坛正在高速发展. 涉及面会越来越广! 现涉及 微波|射频|仿真|通信|电子|EMC|天线|雷达|数值|高校|求职|招聘

Q: rfeda.cn 特色?

A: 以技术交流为主, 注重贴子质量, 严禁灌水; 资料注重原创; 各个版块有专门协助团队快速解决会员问题;

<http://bbs.rfeda.cn> --- 等待你的加入

RFEDA.cn

rf---射频(Radio Frequency)

eda---电子设计自动化(Electronic Design Automation)



# RFEDA微波社区

微波仿真论坛 | 微波仿真网 | 博客 | 微波商城  
bbs.rfeda.cn | www.rfeda.cn | blog | shop

微波|射频|仿真|通信|电子|EMC|天线|雷达|数值 ---- 专业微波工程师社区: <http://bbs.rfeda.cn>

---

## 致谢名单 及 详细说明

<http://bbs.rfeda.cn/read.php?tid=5454>

一个论坛繁荣离不开每一位会员的奉献  
多交流, 力所能及帮助他人, 少灌水, 其实一点也不难

## 打造国内最优秀的微波综合社区

还等什么? 加入 RFEDA.CN 微波社区

我们一直在努力

微波仿真论坛

[bbs.rfeda.cn](http://bbs.rfeda.cn)

RFEDA.cn

rf---射频(Radio Frequency)

eda---电子设计自动化(Electronic Design Automation)

## 第二章 Ansoft HFSS 求解设置

本章将详细论述 Ansoft HFSS v.10.0 中的求解功能，例如：

### 求解设置

谐振频率  
收敛性；  
网格初始化；  
自适应操作；  
低序基本函数。

### 设置

属性；  
添加扫频范围；  
扫描-属性和扫描类型。

## 第一节 自适应网格划分

### 一. 自适应网格划分

自适应网格划分功能将自动构建符合仿真体电气性能的网格。当使用自适应网格划分功能时, 网格会自动调整到相对精确和高效的划分设置。当不使用自适应网格划分, 用户需自己设置正确的网格划分, 这一过程比较繁琐, 也可能会出错。如果使用自适应网格划分, 能很快得到正确的网格划分。

### 二. 划分原理

自适应网格划分算法会寻找场中或错误中梯度的最大值, 以及这些区域中的子网格划分。同时该算法也会自动寻找一些特殊点, 比如道题的边等作为网格分割的特殊条件。

网格的细化迭代划分是由菜单Setup Solution (Advanced Tab)中设置的四面体单元格决定的。需要注意的是, 单元格是用百分比表示的。这确保了每部迭代过程中网格充分混迭, 避免出现不收敛的情况。

当网格细化后, 系统会重复这一过程, 直到收敛。

### 三. 收敛性

每步自适应迭代后, HFSS都会自动对比当前S参数和前一次的S参数。如果S参数变化很小, 则认为求解收敛, 当前或上次的网格就可以用来设定扫频范围了。如果求解不收敛, 则认为上次划分的网格不如当前的网格划分。在这种情况下如果要设置扫频范围的话, Ansoft HFSS会使用上次的网格划分结果。

### 四. Delta S

网格或求解是否收敛, 默认是用 Delta S 来判定。Delta S 是用来表示两次迭代过程中 S 参数变化的最大值:

$$\max_{ij} [|\text{mag}(s_{ij}^{(N)} - s_{ij}^{(N-1)})|] \quad (i,j \text{ 代表矩阵行列数, } N \text{ 代表迭代次数;}$$

Delta S 是个矢量, 在 0 到 2 间取值。)

基于电场划分的自适应网格, 选择一个合适的自适应频率是很重要的。就像其他工程里的事情一样, 都期望一定的规则, 但总的来说, 以下几点可以帮助我们选择合适的自适应点。

#### 一) 宽带结构

对于宽带结构来讲, 因为一个好的网格划分必须包含所有的低频点, 所以截止频率必须包含在自适应频率内。

#### 二) 滤波器

对于滤波器或者窄带产品来说, 通带或工作频率范围必须包含在内, 因为在截止频段端口仅存在电场。

#### 三) 快速扫频

对于快速扫频来说,一般使用中心频率点。快速扫频使用的是网格/求解中的自适应频率点。如果不使用中心频率,快速扫描将会出现错误,中心频率点一般能很好的推算出整个频率范围的结果。快速扫频的中心频率对自适应网格的划分同样很重要。这点对那些向窄带滤波器一样 Q 值很高的设备尤其重要。如果中心频率不在通带范围内,将得不到准确的带宽和谐振频率。

#### 四) 全波 Spice 输出

在求解全波Spice输出时,需使用拐点频率( $F_{knee} \approx 0.5/\text{rise\_time}$ )来解决收敛性。然后再设置 2-5 个,或更多频率点。这些新增点,必须在拐点频率和最大频率之间(每个频率点仅需要 2-3 步迭代)。

1. 如果频率低于拐点频率,则会对时域产生很大影响。因此,拐点频率主要用于主自适应网格划分。不便之处在于,如果不进行自适应网格迭代,我们需要的网格可能就高于这个频率点。
2. 再带宽很宽的情况下,我们通常需要内插扫描。使用多频率扫描并联合求解结果是很有用的。

#### 五) 高速数字/信号完整性

在高速数字仿真时,通常需要设置一个宽频范围。为确定我们仿真需要的带宽频率,需记住以下公式:

总的来说,所有低于 $F_{knee}$ 频率的频率对熟悉信号会有很大影响。所以一个优秀的高速数字设计必须清楚,好的相应至少是 $F_{knee}$ 。

#### 六) 高速数字 (SPICE 输出)

在瞬态仿真时,为输出SPICE,需要很大的带宽( $\geq 5 \cdot F_{knee}$ )。这样做的原因是 $F_{knee}$ 是近似值,而且我们希望在上升沿有多个采样点。

当输出 SPICE 是,低频同样重要。我们希望更接近 DC。每个端口的设置和每个问题都略微有所不同,那就是在 HFSS 有能求解的最低频率。99%的情况我们都可以仿真到 100MHz。低于这个频率可能就会出错。当输出全波 SPICE 是,DC 部分将有求解的最低频率来推断。所以从 1GHz 到 DC,并没有给出一个很精确的推断结果。

频率间隔。在设置全波 SPICE 时,需要使用最小频率最为间隔。这样扫描带宽中通常会有 1000-8000 个点。

#### 七) 高速数字自适应网格

仿真带宽越大,就越难决定自适应网格的频率。以下几点需要注意:

1. 自适应点从 $F_{knee}$ 到收敛点。(Delta S 为 0.02 到 0.01 间)
2. 选取 2-3 个高于 $F_{knee}$ 的频率点进行自适应。(注意不要设置为收敛点,且每步迭代设置为 3-5 步。)
3. 求解频率扫描  
如果带宽很宽,需要截断频率扫描说是插频扫描。

#### 八) 高速数字 (原理)

低于 $F_{knee}$ 的频率点，对数字信号响应影响最大。所以对于所有低于 $F_{knee}$ 的频率点必须产生一个精确的网格。

一个带宽足够宽的无源器件的仿真结果，通常为一个低通滤波器的响应。所以如果无源器件的响应超出低通滤波器相应的表现范围，更高频率仿真结果的贡献不如时域仿真。这正是我们不用担心高频自适应迭代收敛的原因。要理解这点，我们还需注意 HFSS 是怎样进行自适应网格划分的。HFSS 是自动寻找电场梯度最大的地方。所以如果器件的响应接近滤波器并且采用通带外的电视，我们划分网格时进关心端口的划分。

如果器件的特性远超过 $F_{knee}$ ，在采用高频直到收敛也并无不利之处。然而在实际的问题中（10-40Gb/s），设计的难处在于如何使器件工作在 $F_{knee}$ 频率之上。

对于那些带宽很宽的扫描来说，需要使用插频扫描。这种扫描基于离散扫描。但它自动采用合适的离散点和曲线拟合。所以它比离散扫描需要的点数更少。插频扫描也可用于多项式近似或有理函数中。因此他也可用于打断扫描。上至 $F_{knee}$ 频率，多项式近似更准确，高于这个频率，则有理函数求解更精确。插频扫描总是穿过开始和截止频率点的，所以如果你不改变网格必须确保开始和截止频率在扫描频率之中。

#### 九) 高速数字（设计流量）

整个高速数字的讨论都是假定你所输出的结果都是方针到SPICE的。这里的设计流程中有许多设计步骤，而且SPICE并非每个设计步骤都需要的。如果在 $F_{knee}$ 频率之下出现谐振，失谐或是两种情况都出现，可能是在场仿真之前进行了SPICE仿真。所以仅需要设置 1.5 倍到 2 倍 $F_{knee}$ 的扫频范围来估计响应。另外射击频率应该高于 1Ghz。

在前几步的设计步骤中，也许会用到快速频率扫描，这样在扫描中我们可以得到每个频率的 S 参数和场。这样我们就可以看到每个 S 参数中任何谐振或失谐的情况。

在打包或查看分析结果时另一个有用的工具是本征模求解。在许多例子中，谐振是由能量和地平面网引发的，这对解决设计问题很有用。在去掉除能量/平面网外的所有东西，本征模求解能很快确定谐振。



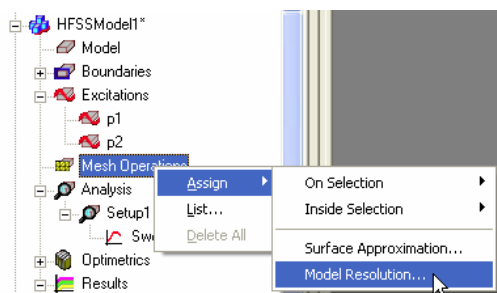
## 第二节 HFSS10 中网格划分算法的改进之处

### 一. 网格划分的容错能力

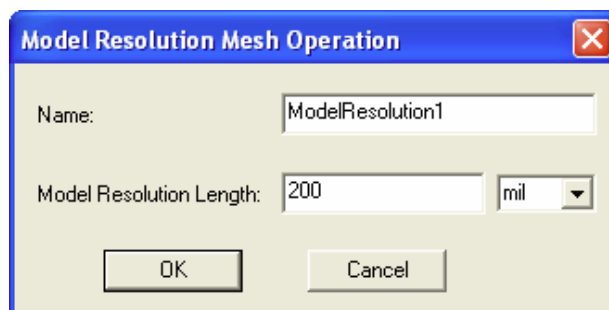
HFSS 再划分三维几何图形中引入了新的特性, 即网格划分容错能力。默认情况下网格仍使用传统的网格, 只有当传统网格出错的情况下, 系统才会调用容错网格。当系统使用容错网格时, 你可以在属性文件中看到在网格 3D\_init\_FT 线。而默认的传统网格划分时, 在属性文件中只会出现 3D\_init 线。

### 二. 模型长度解析率 (MRL)

模型长度解析率可以看作是一种快速初始化网格的特性。传统网格并不支持这一特性。所以当用户设置 MRL 时, 只有容错网格划分功能才会用到。MRL 增强了模型的收敛性。在以前版本的 HFSS 中, 基本单元网格四面体会因为数量太多而消耗完内存, 而使用 MRL, 在保证和以前相同的精确度的前提下, 减少了内存的消耗。(如图: F2.2.1)



F2.2.1



### 三. MRL 默认值

MRL 是网格划分模型时的长度。默认值是 ACIS 划分法划分精度绝对值的 100 倍。ACIS 默认绝对解析率为  $1.0 \times 10^{-6}$  单位。推荐值为波长的 0.1 至 0.5 倍。你可以从 0.1 开始尝试, 然后再试 0.01 到 0.001, 看是否改进了网格尺寸。如果用户指定的长度不正确, 或者改变了物体的连接, HFSS 会检测到并报告错误 ("MRL too large or object\_name lost all surface triangles")。

### 四. 设置收敛性

设置 Delta S 通常是为了得到更高的精度。但要记住, 计算过程, 实验设备, 和测量过程之中都存在误差。要求 HFSS 达到一个很高的精度无异于在现实生活中得到一个你不想买的东西一样无意义, 用这些时间可以更好的仿真。不过, 运用收敛监测功能, 加上工程师丰富的经验, 就

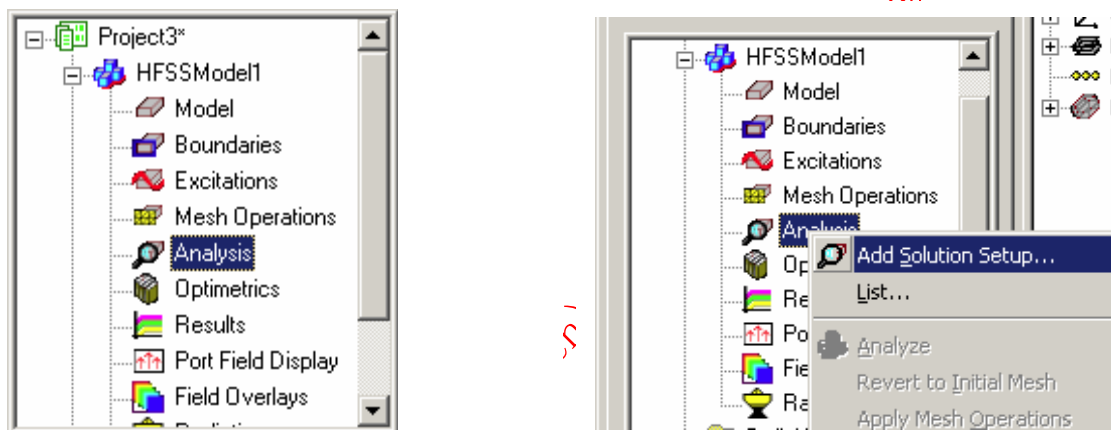
能决定终端自适应网格数，也能知道如何设置 Delta S。总的来说，Delta S 默认值 0.02，或者最低 0.01 已经足够了。

## 五. 收敛求解——S 矩阵和场

收敛判别标准是基于 S 矩阵的。一般 S 矩阵要比场量先收敛。这就是说在问题求解时用绝对场值计算，要比用 S 矩阵得到相同收敛结果的迭代次数要多。当然这也和你要求解的场量有关。Ansoft HFSS 可以直接求解电场，并可以从电场计算磁场，从磁场计算电流。因此，当改变网格密度时，场量同样收敛。

## 六. 添加求解设置

未完成求解分析，必须添加求解设置。在 Ansoft HFSS 的模型目录树中右击就可以添加。

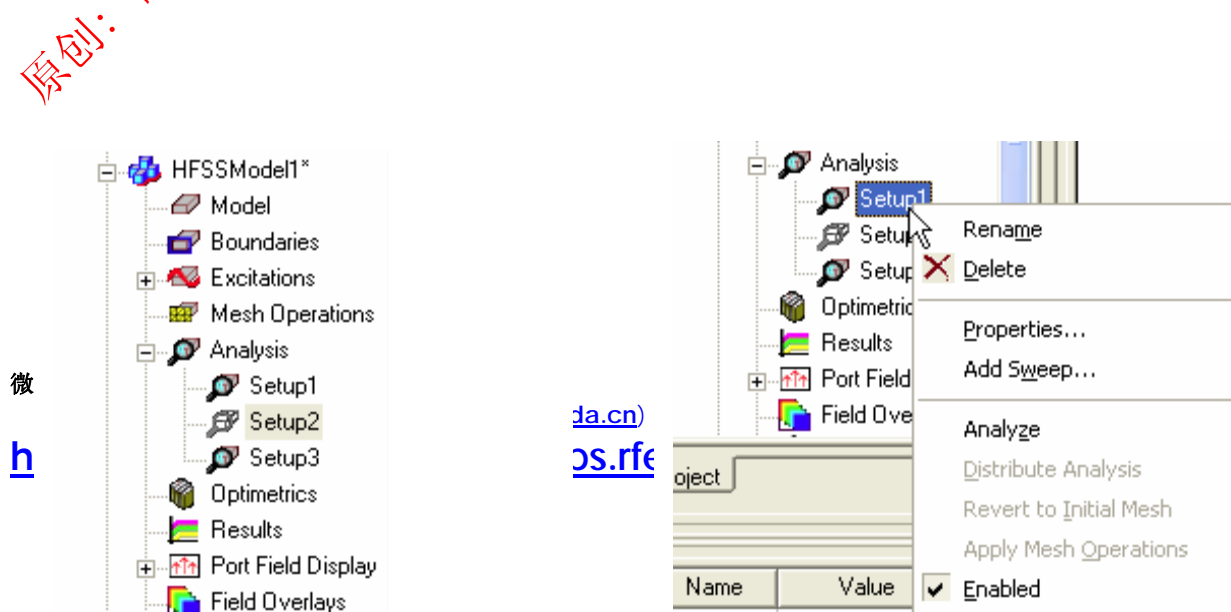


F2.2.2

默认情况下，主窗口将会显示。求解频率和收敛标准就在这里设置。

## 七. 激活/屏蔽求解设置

默认情况下，新添加的求解设置是激活的。要屏蔽此设置，右键点击 setup，并把 Enable 前面的勾去掉。被屏蔽的求解设置在目录树中显示为灰色。要激活求解设置，可以右键点击 setup，并左键点击 Enable 一次，选上 Enable。(如图：F2.2.3)





### F2.2.3

## 八. 求解设置主标签

### 一) 求解频率

次频率点用于自动网格划分功能中自动优化模型电性能网格。

#### 1. 仅求解端口

端口求解使用任意、自适应二维本征模型求解来决定自然频率，或是模型用于仿真结构的激励。单独求解端口功能可用于定义为端口的二维截面。在全部求解之前，这对决定求解模型数量，模型场，端口长度，和端口设置是否合理很有用。

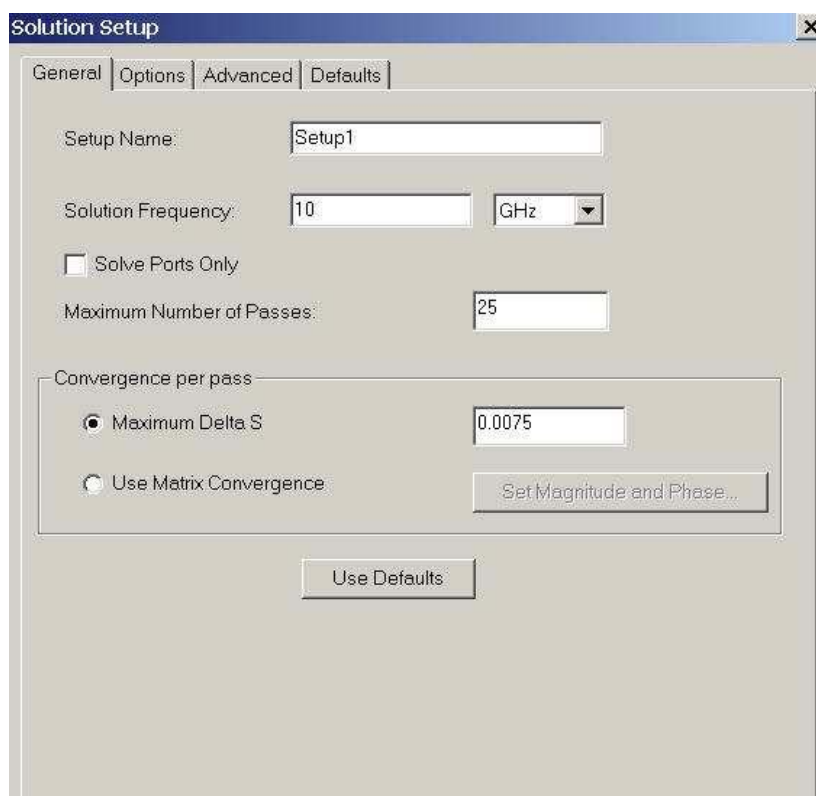
### 二) 适应性求解

#### 1. 最大迭代步数

这个数决定了自适应网格划分过程中尝试满足收敛标准的迭代次数。

#### 2. 最大 Delta S 步进数

这个数决定了自适应网格划分中的收敛标准。(如图: F2.2.4)



## F2.2.4

### 九. 选项标签

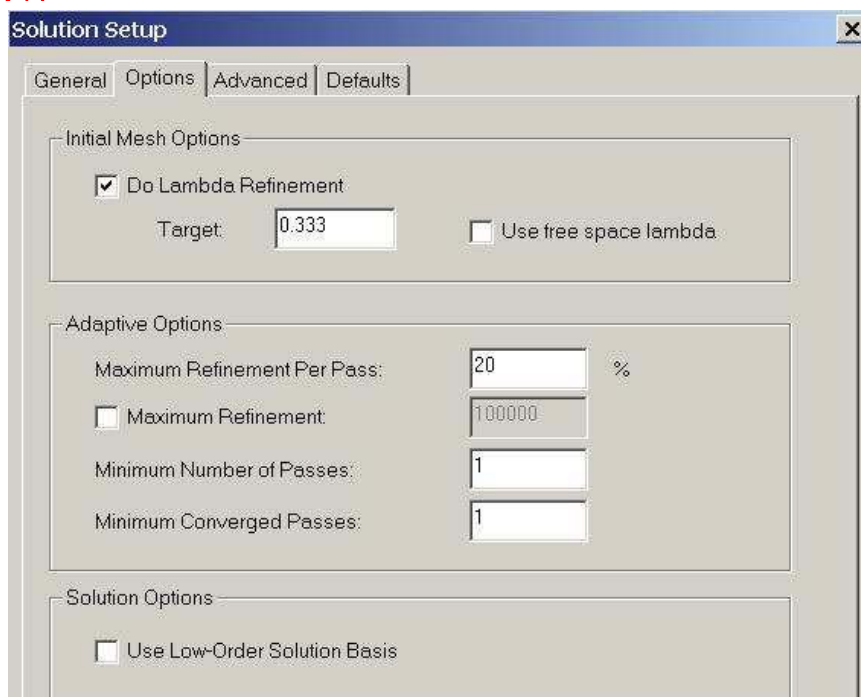
#### 一) 初始化网格选项

##### 1. Lambda 精度

初始化网格仅基于三维固态模型，它与仿真模型的电性能无关。Lambda 精度改进的过程提高了初始化网格的精度，这一过程直到单元网格长度与空气中四分之一波长相近，或电介质中三分之一波长相近为止。波长与 Solution Frequency 中设置的单一频率值有关。几乎所有 Lambda 改进过程中都会用到。

##### 2. 使用自由空间 Lambda

此设置会使 Lambda 改进值接近空气中波长的四分之一，而物体材料属性设置将会忽略。这以功能可以用在电导率非常大的电介质中。脑组织和盐水这两种材料就会产生大量网格，即使射频穿透材料，也仅限于这些区域的表面。(如图：F2.2.5)



## F2.2.5

### 二) 适应性选项

#### 1. 每步迭代精度

每步迭代精度决定了每步自适应迭代的网格生长。每部迭代精度用百分数表示。这可以确保每步迭代的过程中不会得到错误的收敛。

#### 2. 迭代最小值

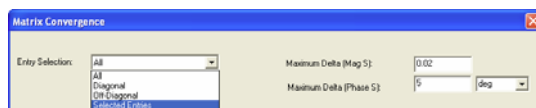
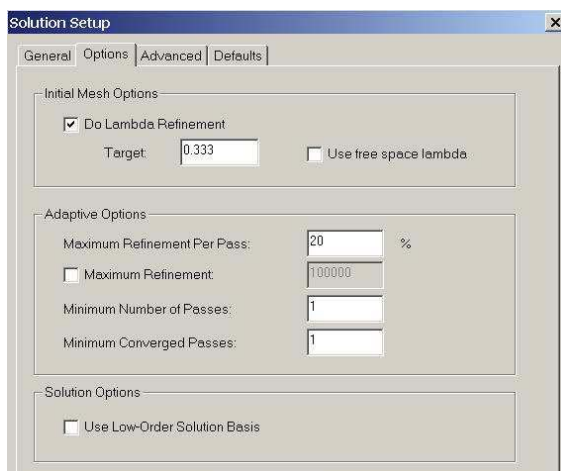
在达到设值的迭代最小值之前，即使符合收敛标准，适应性分析不会停止。

#### 3. 最小收敛迭代数

在达到设值的迭代最小值之前，适应性分析不会停止。此最小值必须保证在适应性分析停止前达到收敛标准。

#### 4. 使用矩阵收敛法

你可以对指定的整个 S 矩阵设定不同的截止标准。使用此功能要选上 Use Matrix Convergence 方框。适应性分析会在达到指定标准或迭代次数前继续分析。(如图：F2.2.6)

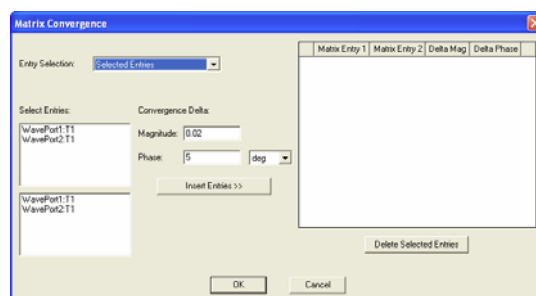


微波仿

<http://bbs.rfeda.cn>

协助团队 HFSS 小组 --- [RFEDA.cn](http://bbs.rfeda.cn) 拥有版权

[da.cn http://blog.rfeda.cn](http://blog.rfeda.cn)



F2.2.6

### 三) 使用低阶求解基础

低阶求解基础功能简化二阶基础功能近似为一个线性基础功能。在边到边的四面体间电有量很小的时候仿真很有用。在这种情况下,此功能会减少很多未知因素。为使假设有效,模型中四面体边长需为波长的  $1/20$ 。在 V10 以前的版本中,此变量在系统变量中称为 ZERO\_ORDER。

应用场合:片上螺旋感应器,电容,变压器等;包分析——Flip-Chip, BGA 等

### 四) 端口适应选项

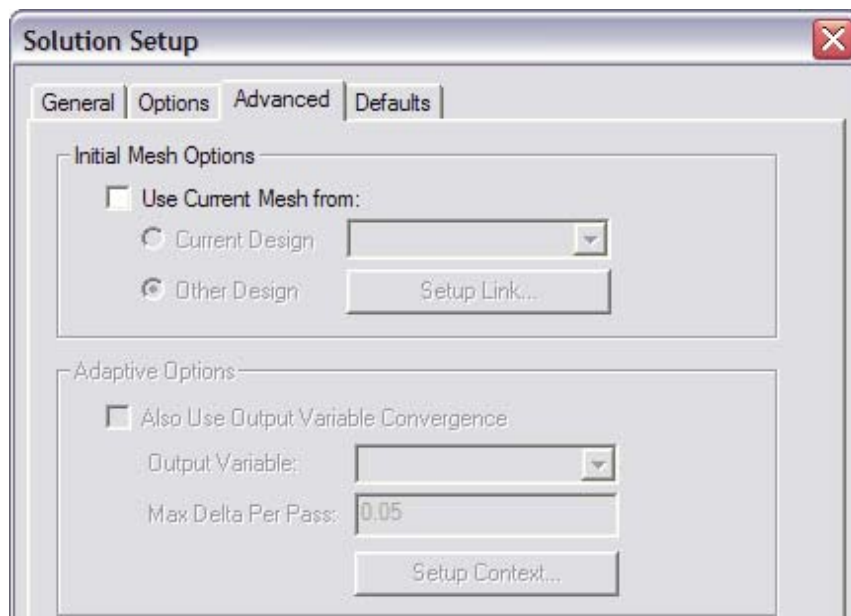
#### 1. 端口场精确度

通常默认的 Port Field Accuracy 的值是合适的。你可以通过以下方法提高端口的准确度:

你也许关心端口的阻抗。端口阻抗也是端口求解的一部分。

你也许需要更低的噪声门限——通常在 -70dB 范围,来捕获 S 参数。

提高端口网格精确度的同时会提高整个结构的网格精度。发生这种情况通常是因为在计算全三维求解时,边界条件设定为了端口场求解。因此,指定过于精细的端口场,会导致过于复杂,且不必要的网格单元。(如图: F2.2.7)



F2.2.7

### 五) 设置最大/最小三角形

每个模型端口的网口会不断自适应优化,知道符合设定三角形的最小数量。然后会继续精细化,直到端口场精确度符合设定的最大数量三角形。

要设置最大、最小数量三角形,需要反选 Automatically Set Min/Max Triangles 操作。

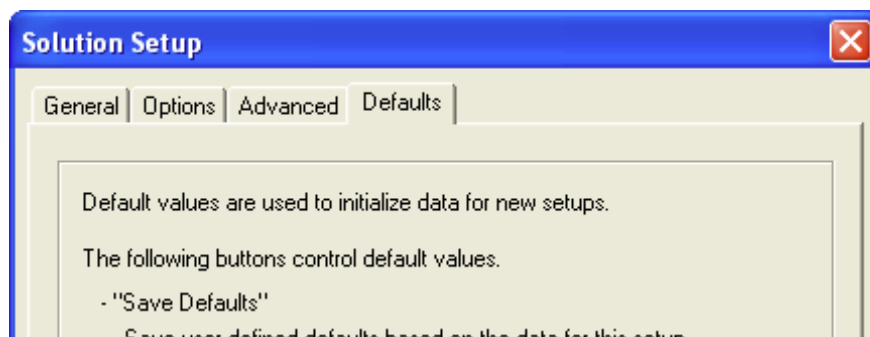
在 Minimum Number of Triangles 中输入数值。集总裂缝端口模型的默认值是 25,波端口模型的默认值是 90。

在 Maximum Number of Triangles 中输入数值。默认值是 400。

如果选择 Automatically Set Min/Max Triangles, HFSS 会自动基于端口设置选择一个合理的最大最小值。

### 六) 默认标签

默认标签可以把当前设置保存为默认设置,也可以恢复当前设置为标准设置。(如图 F2.2.8)



F2.2.8

### 第三节 频率扫描

如果没有自适应迭代的要求，系统会使用收敛网格或初始化网格，并可以获得器件的扫描频率响应。Ansoft HFSS 允许下列几种计算频率响应的算法：

#### 一. 离散算法

使用当前网格计算所有求解。所需时间是每个频率的单个求解时间。如果选择了 Save Fields，可以查看扫描频率范围内的任何频率的场。

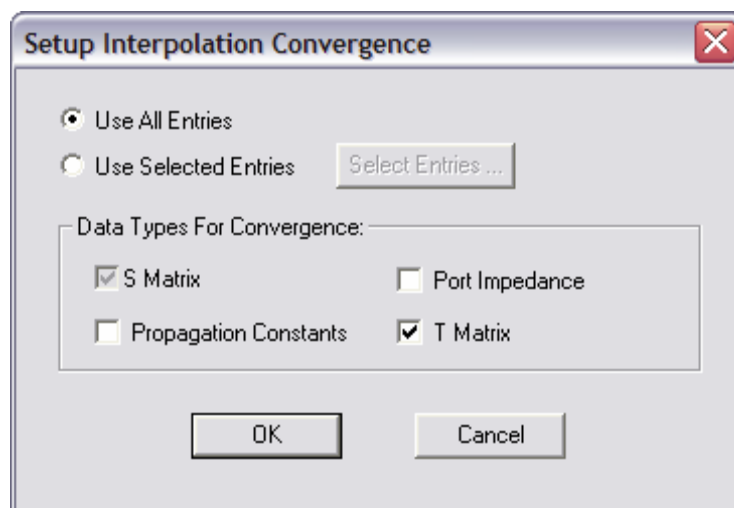
#### 二. 快速扫描算法



使用 ALPS 算法是用中心频率的求解信息推测出整个带宽的求解结果的。这对 Q 值很高的器件很有效，但不能计算那些通过截止频率的器件。通带中的可以推断出来，但很高频率的点就不能正确推测。此外，扫频率范围中任何频率点的场都可以查看。快速频率扫描需要的时间和内存远大于单个频率点扫描。

### 三. 插值扫描算法

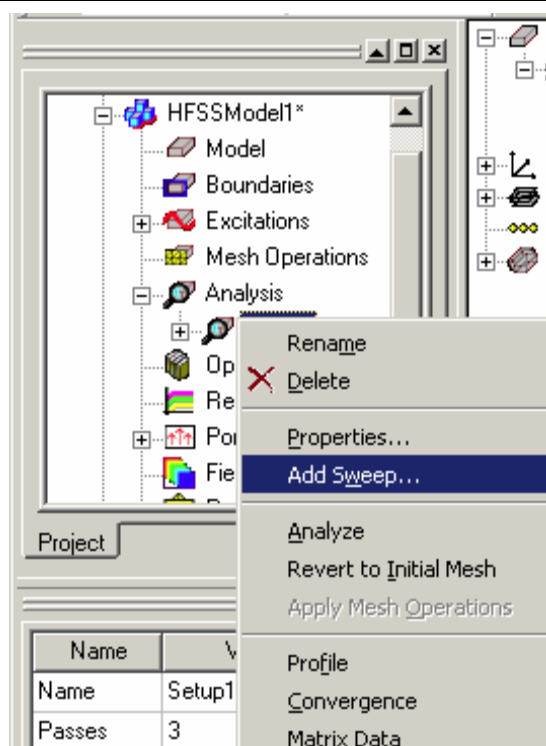
此算法适合计算离散频率点。Ansoft HFSS 使通过插值算法连续迭代中的错误来决定频率点的。插值错误和最大点数是由用户 Edit Sweep 中设置的。和快速扫描相结合，插值扫描可以产生大量的频率点。但你仅需要最后求解得的频率。最大求解时间是单个频率点求解时间的最大频率点数倍。(如图：F2.3.1)



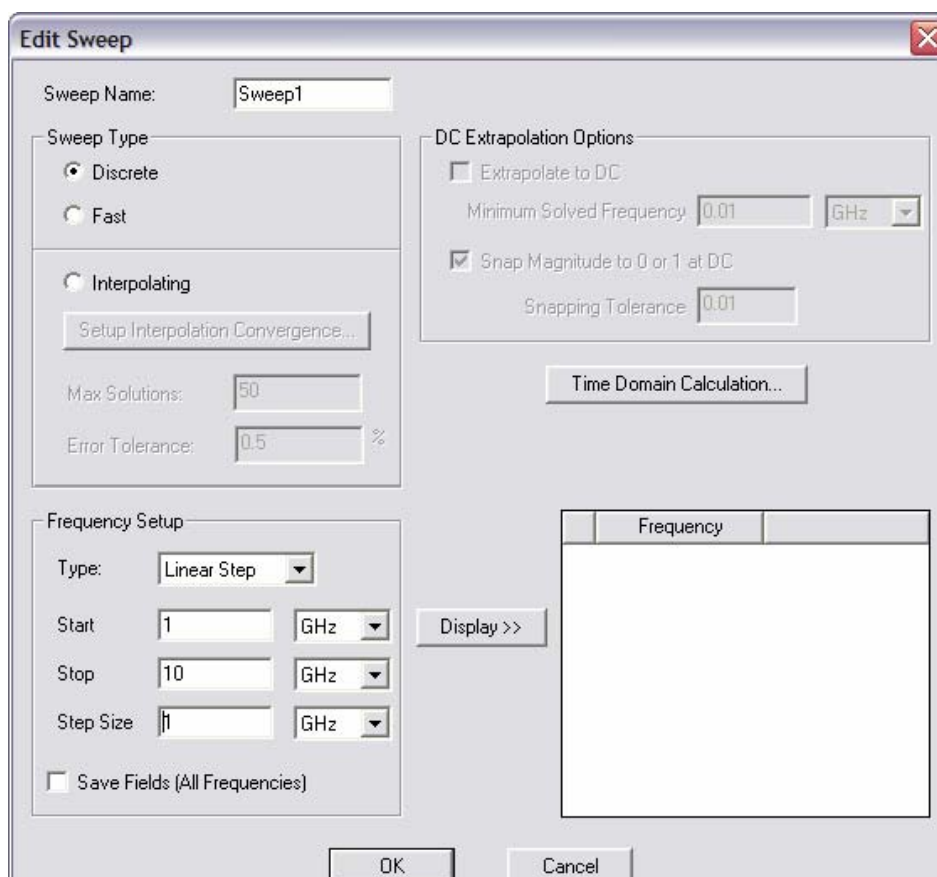
F2.3.1

### 四. 添加扫描

在添加求解设置之后，你可以添加频率扫描。要添加频率扫描，在 HFSS 模型树中右键点击 Setup，将会出现 Edit Sweep 窗口。(如图：F2.3.2 和图 F2.3.3)



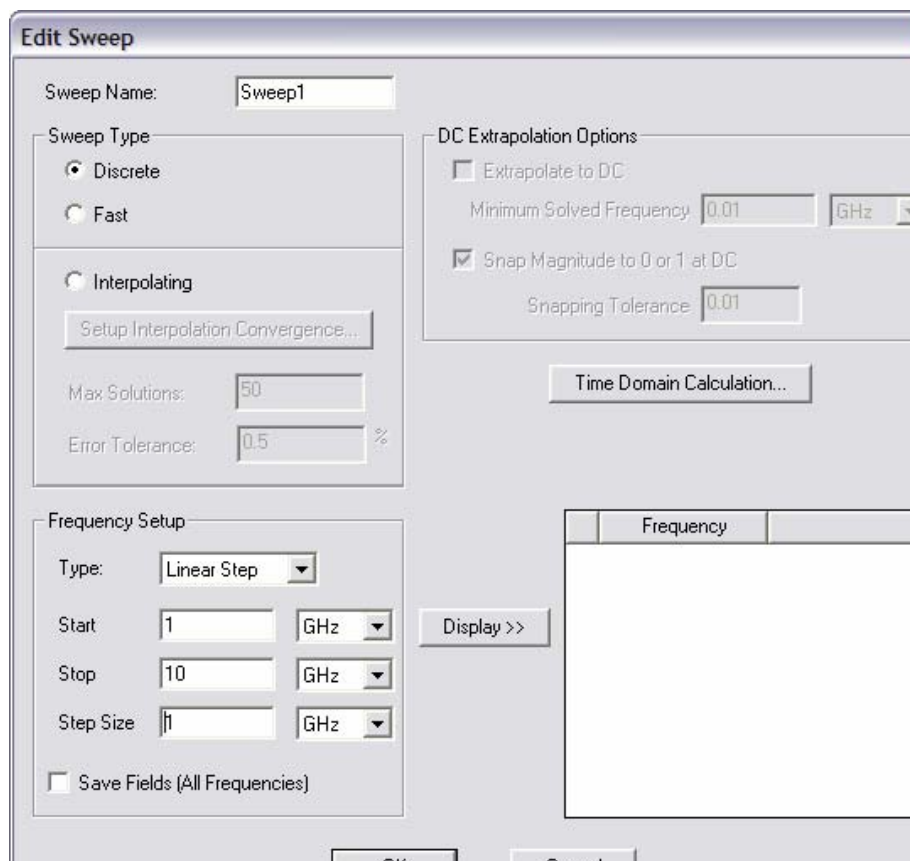
F2.3.2



### F2.3.3

#### 五. 频率设置

选择扫描类型之后，必须指定扫描频率。(如图：F2.3.4)



F2.3.4

有以下三种频率设置方式：

线性步进——指定一个常量为线性变化步进值

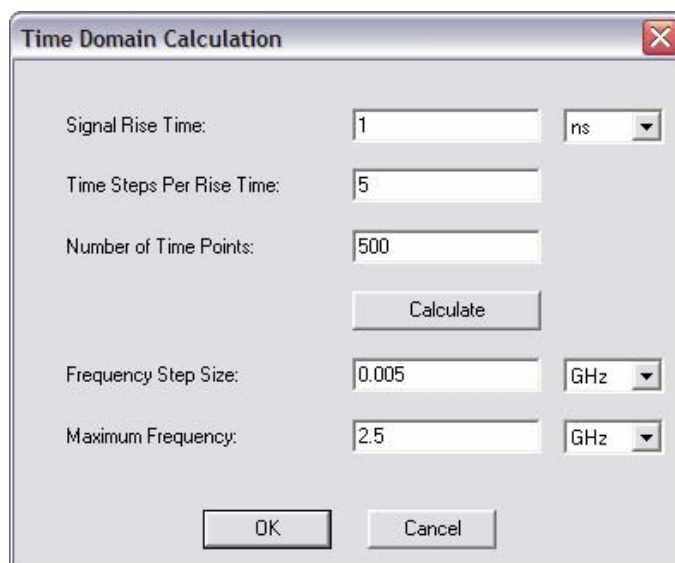
线性点数——指定扫描范围线性变化的点数

单一频点——指定单一频点进行扫描

## 六. 保存场

Ansoft HFSS 能计算所需的最大频率以获得精确的时域结果。HFSS 使用以下公式计算：

$$\text{Max. Freq.} = (0.5/\text{Signal Rise Time}) * \text{Time Steps Per Rise Time} \quad (\text{操作如图: F2.3.5})$$



F2.3.5

## 七. 在快速或插值扫描中添加频率点

在快速或插值扫描计算完成后，可以在 Edit Sweep 添加新的频率点。点击 Analyze 并不会重新计算整个频率范围，仅会计算新增频率点。

## 八. 增加插值扫描求解

如果插值扫描在设定的迭代次数下不收敛，或是希望改变目标收敛，可以改变设定值并重新求解。插值扫描求解将会重新计算最后两个末端频率，并使用以前计算的结果来接近目标收敛。

## 九. 端口扫描和频率扫描

端口扫描中可以使用离散或插值扫描。

## 十. 快速频率扫描端口求解

快速频率扫描并不能用于端口穿越截止的情况。如果扫描频率接近截止频率，你可能同样经历过这样的问题。

## 十一. 联合多频率扫描

对于频带非常宽的情况,可以把通带打断成几个小的频率范围扫描,这样可以增加结果的正确性。因为快速频率扫描是从中心频率推算出的,末端错误曲线将会阻止扫描的校准。而插值扫描就不会出现这样的问题,因为迭代包括末端频率(假设使用同样的网格)。

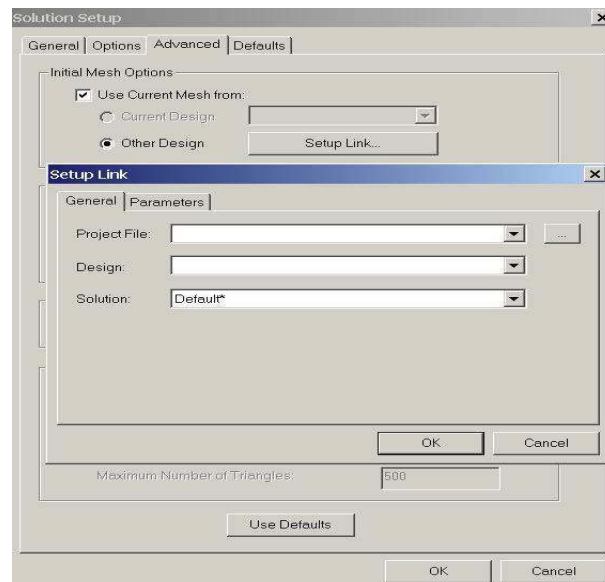
## 十二. 改进和新增特性

### 一) 网格复用

复制几何图形网格——在优化分析设置中你可以要求 HFSS 复制曾计算过的一个扫描变量的网格,重复使用在一个集合相等价的扫描变量上。

初始化网格操作:(如图:F2.3.6)

- 1.在当前设计中使用网格——激活 use of a mesh from a previous setup 选项。
- 2.使用其他工程中的网格——激活 use of a mesh from another model that has the same geometry 选项。

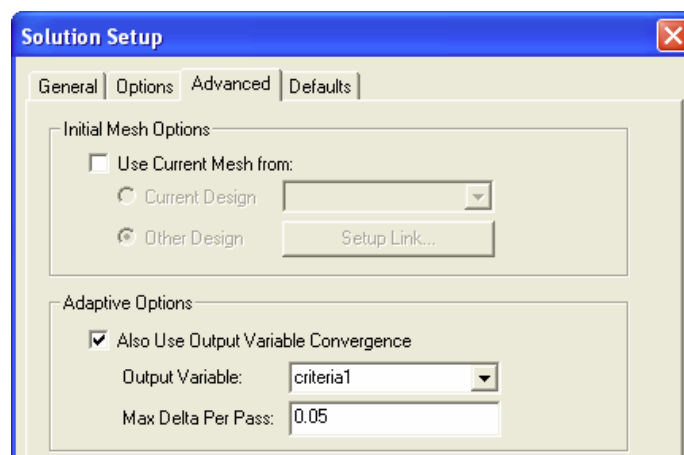


F2.3.6

### 二) 矩阵收敛选项

允许定义其他收敛标准。

输出变量收敛——允许创建一个输出变量,用于收敛标准中。要使用此功能,需要创建输出变量表达式,之后这个区域便可以操作了。(如图:F2.3.7)



F2.3.7

# 完整版 目录

版权申明: 此翻译稿版权为微波仿真论坛([bbs.rfeda.cn](http://bbs.rfeda.cn))所有. 分节版可以转载. [严禁转载 568 页完整版](#)  
如需纸质完整版(586 页), 请联系 [rfeda@126.com](mailto:rfeda@126.com) 邮购

封面.pdf	
hfss_full_book中文版.pdf	
002-009 内容简介	
绪论	
010-021 HFSS 用户界面	
022-051 创建参数模型	
第一章 Ansoft HFSS参数化建模	
052-061 边界条件	
062-077 激励	
第二章 Ansoft HFSS求解设置	
078-099 求解设置	
第三章 Ansoft HFSS数据处理	
100-125 数据处理	
第四章 Ansoft HFSS求解及网格设定	
126-137 求解循环	
137-155 网格	
第五章 天线实例	
160-181 超高频探针天线	
182-199 圆波导管喇叭天线	
200-219 同轴探针微带贴片天线	
220-237 缝隙耦合贴片天线	
238-259 吸收率	
260-281 共面波导(CPW)馈电蝶形天线	
282-303 端射波导天线阵	
第六章 微波实例	
306-319 魔T	
320-347 同轴连接器	
348-365 环形电桥	
366-389 同轴短线谐振器	
390-413 微波端口	
414-435 介质谐振器	
第七章 滤波器实例	
438-457 带通滤波器	
458-483 微带带阻滤波器	
第八章 信号完整性分析实例	
486-525 低压差分信号(LVDS)差分线	
526-567 分段回路	
568-593 非理想接地面	
594-623 回路	
第九章 电磁兼容/电磁干扰实例	
624-643 散热片	
644-665 屏蔽体	
第十章 On-chip无源实例	
668-697 螺旋形传感器	
第十一章 相关知识补充	
698-757 综述	
760-801 边界与激励	
致谢.pdf	