

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

RFEDA.cn

rf---射频(Radio Frequency)

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

第二节 激励

一、激励技术综述

端口是唯一的一种允许能量流入和流出结构的边界条件。你可以把任意的二维面或三维物体的表面定义为端口。在结构中的三维电磁场被计算之前，有必要决定每个端口的激励场类型。HFSS 采用任意的端口解算器计算与端口截面相同的传输结构中存在的自然的场模式。

HFSS 默认的设定，所有的结构都完全的装入一个导体屏蔽层，没有能量能够穿过屏蔽层。你可以在结构上设定波端口使得能量进入和离开导体屏蔽层。

在结构中除了采用波端口 (Wave port) 外，你还可以应用集总端口 (Lumped port)。集总端口对于模拟结构内部端口是很有用处的。

波端口 (Wave port)

端口解算器假定你定义的波端口连接到一个具有和端口相同截面和材料的半无限远波导上。每个波端口都是单独激励的，并且其中的每个模式的平均功率都是一瓦。波端口计算端口阻抗，复传播常数，以及 S 参数。

波动方程

在波导中行波的场模式可以通过求解 Maxwell 方程获得。下面的由 Maxwell 方程推出的方程使用二维解算器求解。

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla \times \vec{E}(x, y) \right) - \kappa_0^2 \epsilon_r \vec{E}(x, y) = 0$$

其中：

$\vec{E}(x, y)$ 是谐振电场的矢量表达式；

κ_0 是自由空间的波数；

μ_r 是复数相对导磁率；

ϵ_r 是复数相对介电常数。

求解这个方程，二维解算器得到一个矢量解 $\vec{E}(x, y)$ 形式的激励场模式。这些矢量解与 z 和 t 无关，

只要在矢量解后面乘上 $e^{-\gamma z}$ 它们就变成了行波。

另外，我们注意到激励场模式的计算只能在一个频率。在每一个感兴趣的频率，计算出的激励场模式可能会不一样。

二、模式 (Modes)

对于给定横截面的波导或传输线，特定频率下有一系列的场模式满足麦克斯维方程组。这些模式的线性叠加都可以在波导中存在。

模式转化

在某些情况下，由于几何结构充当了模式变换器，有必要考虑高次模的影响。例如，当模式 1 (主

模)从某一结构的一个端口(经过该结构)转换到另外一个端口的模式 2 时,我们有必要得到模式 2 下的 S 参数。

模式,反射和传播

在单一模式的激励下,由于高频结构的不连续性,三维场解算器的结果中仍然有可能包含高次模反射。如果这些高次模反射回激励端口或者传输到另外的端口上,与这些模式相关的 S 参数就要被考虑进去。如果这些高次模在传输到任意端口前已经衰减了——由于传输损耗或者因为是非传输模式(凋落波),那就不用考虑这些高次模的 S 参数。

模式和频率

和每种模式相关的场模式一般会随频率的改变而变化。但是,传播常数和特性阻抗总是随着频率变化的。因此,当进行频率扫描时,在每个频率点都会进行结算。我们应当意识到,随着扫描频率的提高,出现高次模的可能性也在增加。

模式和S参数

波端口被正确定义时,对于仿真中要考虑的每个模式,在波端口上都完全匹配的。因此,每个模式的 S 参数和波端口,将会根据不同频率下的特性阻抗进行归一化。这种类型的 S 参数叫做广义的 S 参数。

实验测量,例如矢量网络分析仪,以及电路仿真器中使用的特性阻抗是常数(这使得端口在各个频率下不是完全匹配)。

为了使计算结果,和实验及电路仿真得到的测量结果保持一致,由 HFSS 得到的广义 S 参数必须用常数特性阻抗进行归一化。如何归一化,参看波端口校准。

注解:对广义 S 参数归一化的失败,会导致结果的不一致。例如,既然波端口在每一个频点都完全匹配,那么 S 参数将不会表现出各个端口间的相互作用,而实际上,在为常数的特性阻抗端口中,这种相互作用是存在的。

三、波端口的边界条件:

波端口边缘有以下所述的边界条件:

理想导体或有限电导率边界——在默认条件下,波端口边缘的外部定义为理想导体。在这种假设条件下,端口定义在波导之内。对于被金属包裹传输线结构,这是没问题的。而对于非平衡或者没被金属包围的传输线,在周围介质中的场必须被计算,不正确的端口尺寸将会产生错误的结果。

对称面——端口解算器可以理解理想电对称面(Perfect E symmetry)和理想磁对称面(Perfect H symmetry)面。使用对称面时,需要填入正确的阻抗倍增数。

阻抗边界——端口解算将识别出端口边缘处的阻抗边界。

辐射边界——在波端口和辐射边界之间默认的设置是理想导体边界。

四、波端口校准:

一个添加到几何结构的波端口必须被校准以确保一致的结果。为了确定场的方向和极性以及计算电压,校准是必要的。

求解类型:模式驱动

对于模式驱动的仿真,波端口使用积分线校准。每一条用于校准的积分线都具有以下的特性:

阻抗:作为一个阻抗线,这条线作为 HFSS 在端口对电场进行积分计算电压的积分路径。HFSS 利用这个电压计算波端口的特性阻抗。这个阻抗对广义 S 参数的归一化是有用的。通常,这个阻抗指定为特定的值,例如,50 欧姆。

注意:如果你想有能力归一化特性阻抗或者想观察 Z_{pv} 或 Z_{vi} 的值就必须在端口设定积分线。

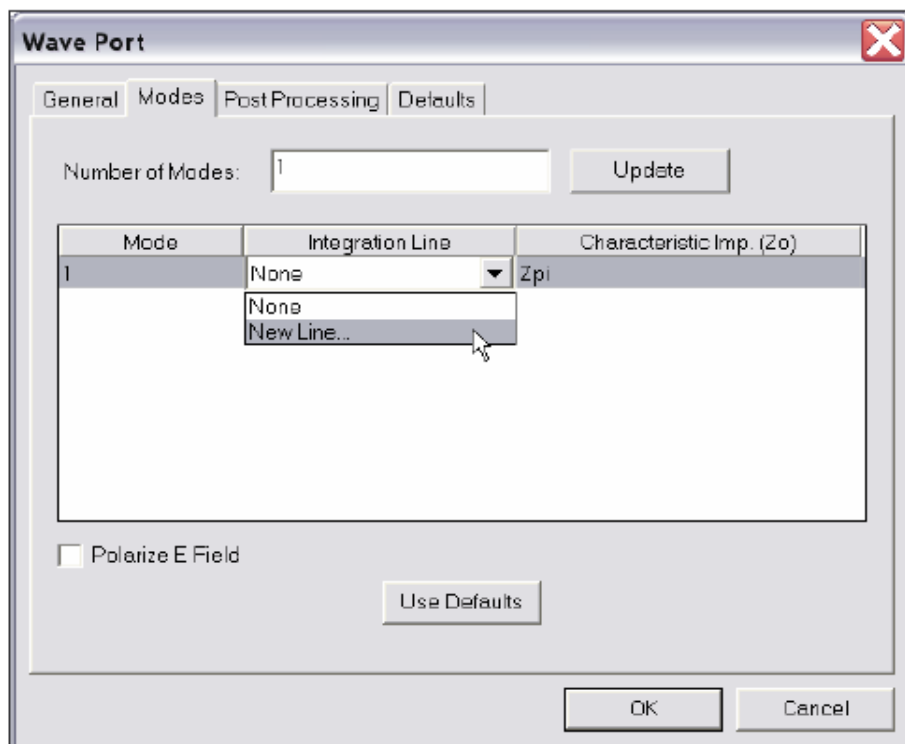
校准:作为一条校准线,这条线明确地确定每一个波端口向上或正方向。在任何一个波端口, $\omega t = 0$

时的场的方向至少是两个方向中的一个。在同一端口，例如圆端口，有两个以上的可能的方向，这样你将希望使用极化 (Polarize) 电场的选项。如果你不定义积分线，S参数的计算结果也许与你的期望值不一致。

提示：也许你需要首先运行端口解 (ports-only solution)，帮助你确定如何设置积分线和它的方向。

为了用积分线校准一个已经定义的波端口，要做一下操作：

1. 在项目树 (Project Tree) 中打开激励 (Excitations)，并双击被校准的波端口。
2. 选择模型 (Modes) 列表。
3. 从列表中为第一个模型选择积分线 (Integration Line) 一列。然后，选择新线 (New Line)。
4. 使用下列方法中的一种进行位置和长度的设置：
直接输入线段起点和终点相对工作坐标系的 x, y 和 z 坐标。关于坐标系更多的信息，请参阅 XX 章。
在绘图窗口的点击。这条线显示为矢量，指明了方向。如需要改变线段的方向，在积分线 (Integration Line) 一列，选择切换终点 (Swap Endpoints)。
5. 重复 3、4 步，设置该端口其它模式的积分线。
6. 完成积分线定义后点击 OK。
7. 重复1—6步，设置其它波端口的积分线。



第三步：创建一根新线

F.1.2.1

五、关于阻抗线

HFSS 开始计算的 S 矩阵值是对每个端口的阻抗进行归一化的结果。然而，我们经常希望计算对某一

个特定阻抗如 50 欧姆归一化的 S 矩阵。为了将广义 S 矩阵转化成归一化 S 矩阵, HFSS 需要计算各端口的特征阻抗。计算特征阻抗的方法有很多种 (Z_{pi} , Z_{pv} , Z_{vi})。

HFSS 始终会计算 Z_{pi} 。这个阻抗的计算使用波端口处的功率和电流。另外两种方法 Z_{pv} 和 Z_{vi} 需要计算电压的积分线。利用每一个模式的积分线, 可以计算出电压值。

一般来说, 阻抗线应该定义在电压差值最大方向上的两点之间。如果你要分析多个模式, 由于电场方向的变化, 需对每个模式分别定义不同的阻抗线。

六、关于校准线

在计算波端口激励的场模式时, 场在 $\omega t=0$ 时的方向是任意的且指向至少两个方向中的一个。利用参考方向或参考起点, 积分线能够校准端口。需确认每一个端口定义的积分线参考方向都与类似或相同截面端口的参考方向相同。用这种方法, 试验室的测量 (通过移去几何结构, 两个端口连接在一起的方法校正设置) 得以重现。

由于校准线仅仅确定激励信号的相位和行波, 系统在只对端口解算 (ports-only solution) 时可以将其忽略不计。

七、求解类型:终端驱动

HFSS 计算的以模式为基础的 S 矩阵表示了波导模式入射和反射功率的比值。上面的方法, 不能准确地描述那些有多个准横电磁波 (TEM) 模式同时传播的问题。这种支持多个准横电磁波 (TEM) 模式的结构有耦合传输线或接头等。它们通常使用端口 S 参数。

需要用终端线校准已定义的波端口:

1. 在项目树 (Project Tree) 中打开激励 (Excitations), 并双击被校准的波端口。
2. 选择终端 (Terminals) 列表。
3. 从列表中为第一个模型选择终端线 (Terminal Line) 一列。然后, 选择新线 (New Line)。
4. 使用下列方法中的一种进行位置和长度的设置:
直接输入线段起点和终点相对工作坐标系的 x, y 和 z 坐标。关于坐标系更多的信息, 请参阅 XX 章。
在绘图窗口的点击。这条线显示为矢量, 指明了方向。如需要改变线段的方向, 在终端线 (Terminal Line) 一列, 选择切换终点 (Swap Endpoints)。
5. 重复 3、4 步, 设置该端口其它终端线。
6. 完成终端线定义后点击 OK。
7. 重复 1—6 步, 设置其它波端口的终端线。

八、关于终端线

终端的 S 参数反映的是波端口节点电压和电流的线性叠加。通过节点电压和电流端口的导纳、阻抗和电压 S 参数矩阵就能被确定。

对每个与导体相交的端口, HFSS 自动将模式解转变成终端解。

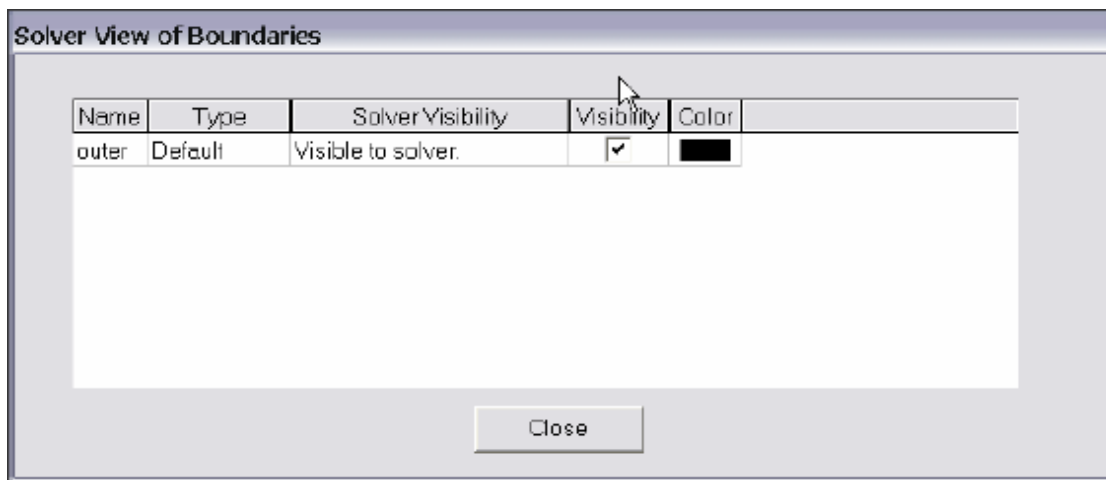
一般来说, 一个单终端线都是建立在参考面或“地”导体与每一个端口的导体之间。

电压的参考极性用终端线的箭头确定, 头部 (+) 为正, 尾部 (—) 为负。来的。如果你决定建立了终端线, 你就必须在每一个端口和每端口都建立终端线。

九、定义波断口的几点考虑

波端口的定位:

露于背景的面设定为波端口。背景已经被命名为 **Outer**。因此，一个面如果表露于背景则它与 **outer** 相连。用户可以通过主菜单 **HFSS**→**Boundary Display (Solver View)** 选择所有的区域定位。从 **Solver View of Boundaries**，点击 **Visibility** 查看 **outer**。



F.1.2.2

内部波端口：

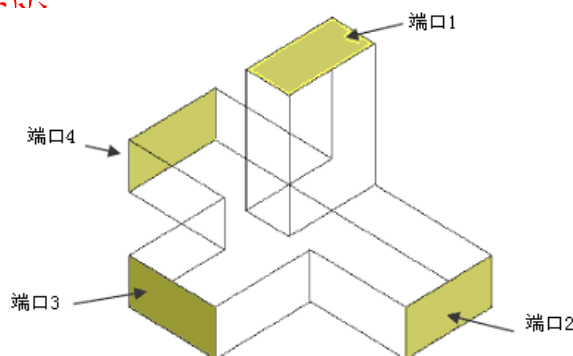
结构内部定义波端口，你必须在内部建立一个不存在的空间或者在已存在物体内侧选择一个面并将它的材料定义成为理想导体。内部不存在的空间自动将边界赋值为 **outer**。你可以创建一个整个由其它物体包围的内部空间，然后，从这个物体中剪掉这个空间。

端口平面：

端口设在单一平面。不允许端口平面弯曲。例如：一个几何体有一个弯曲的表面，该表面暴露于背景，则这个弯曲的表面不能被定义成波端口。

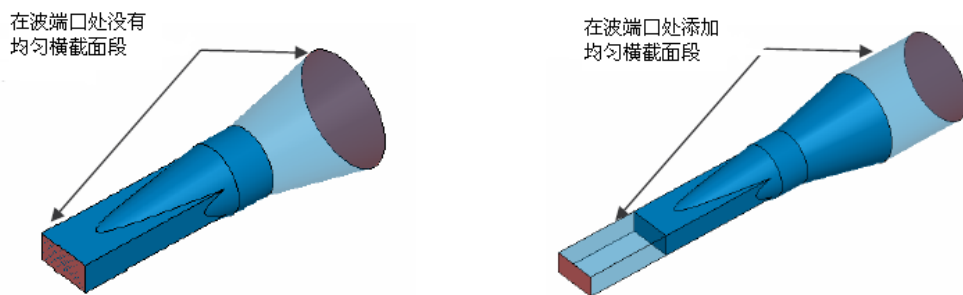
十、端口要求一定长度的均匀横截面

HFSS 假定你所定义的每个端口都与连接到一个于端口具有相同横截面的半无限长波导。但求解 **S** 参数时，仿真器假定其几何结构被具有这些截面的自然模式激励。下面的图将说明这些横截面。第一个图显示直接在结构外面的导体表面定义了波端口。



F.1.2.3

第二张图显示，模型结构必须添加均匀横截面部分。左边模型结构有误，原因是在模型两个端口都没有均匀横截面的部分。为了正确建模，需在每个波端口处添加一段均匀横截面的传输线，如右图所示。



F.1.2.4

均匀横截面部分的长度必须足够的长，这样才能保证截止模式逐渐消失。以保证仿真结果的精确。例如：如果一个截止模式由于损耗和模式截止大约经过 $1/8$ 波长逐渐消逝了，这就需要构造一个长度为 $1/8$ 波长的均匀波导段。否则，仿真结果中一定会包含高次谐波的影响。

在端口处附近的不连续性同样可以使截止模式传播到端口。如果端口放置在很靠近不连续性处，由于端口处的边界条件导致仿真结果与对应的真实值不同（即：系统迫使每一个端口都是你要求求解模式的线性叠加）。截止模式中的能量传播到端口将会影响主模的能量并产生错误的结果。

如果波在 Z 方向上传播，模式的衰减可以用函数 $e^{-\alpha z}$ 。因此，所需的距离（均匀端口长度）由模式的传播常数值决定。

当端口长度设置正确时，在端口处仿真的模为理想匹配，如同波导延伸至无穷远处一般。对仿真中没有包含的模，波端口可被看成理想导体。

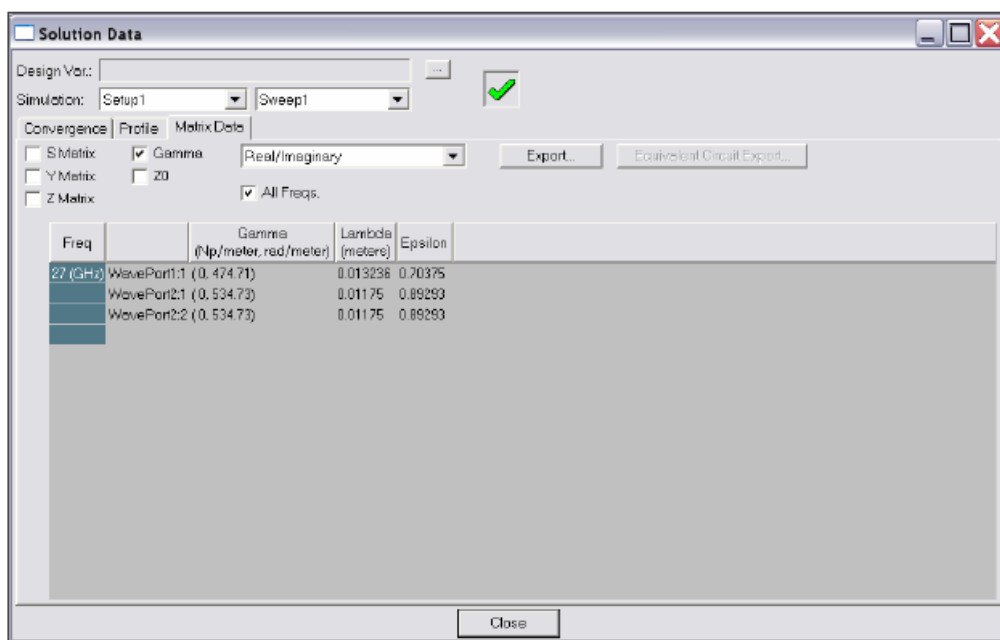
十一、端口和多重传播模式

每个高次模都表现为沿着波导传播的不同的场模式。通常，仿真中应包括所有的传播模式。在大多数情况下，你可以接受默认的单模模式，但是对那些传播高次模的问题，我们需要改变默认设置，将其改变成多模模式。如果实际传播模式数比你指定指定的模式数多，就会产生错误的结果。模式的数量随端口不同而不同。

传播模式

传播模式是指那些具有传播常数 β (rad/m) 并且 β 远大于衰减常数 α (Np/meter) 的模式。用下面的方法可确定那些仿真问题中应包括的模式，首先设置成不包括自适应解的多模模式问题，然后求解。在完成分析之后检验每个模的复传播常数 (Gamma) $\gamma = \alpha + j\beta$ ：为了能够在完成分析之后检验每个模的复传播常数：

1. 在 HFSS 的 Analysis Setup 菜单中，选择 Matrix Data。
2. 此时会弹出一个对话框如下图所示。选择 Gamma 并改变显示类型为 Real/Imaginary。



F.1.2.5

在端口每一个附加的模式将产生一组附加的S参数。假如，在一个3端口器件中每个端口设置2个模进行分析，其最终结果是一个 6×6 的S参量矩阵。一般来说，n端口的解是由所有端口的激励数、模式数加上源的数量。

如果在仿真中不包含高次模，则需确认波端口有足够的长的均匀段，使截止模凋落且不会产生反射。

十二、波端口和对称面——阻抗倍乘

当由于使用对称面使端口的尺寸减少时，为计算电压损耗和功率流需要调整端口阻抗。

理想电对称面 (Perfect E Symmetry plane)，阻抗倍乘因子为2。该模型的电压差和功率流只有整个结构的1/2，导致计算出的阻抗也只有整个结构的1/2。只有模型算出的阻抗乘2以后，其阻抗值才与实际结构相同。

理想磁对称面 (Perfect H Symmetry plane)，阻抗倍乘因子为0.5。该模型计算的电压差与整个结构相同，但功率流只有整个结构的1/2，所以，算出的阻抗为整体结构的2倍。所以，阻抗倍乘因子为0.5。

如果整体结构同时包含理想电对称面和理想磁对称面，则无需调整。也就是说，无需调整同时含有理想电边界和理想磁边界的结构输入阻抗倍乘数，因为理想磁对称面的阻抗倍乘因子为0.5，理想电对称面的阻抗倍乘因子为2。两个阻抗倍乘因子相乘等于1。

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)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 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