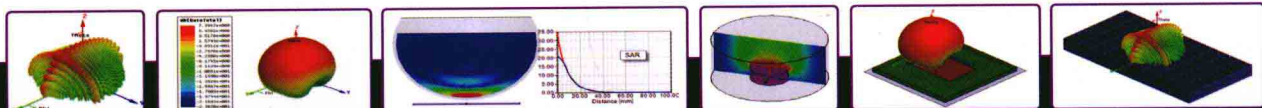


HFSS 应用详解

电磁仿真设计

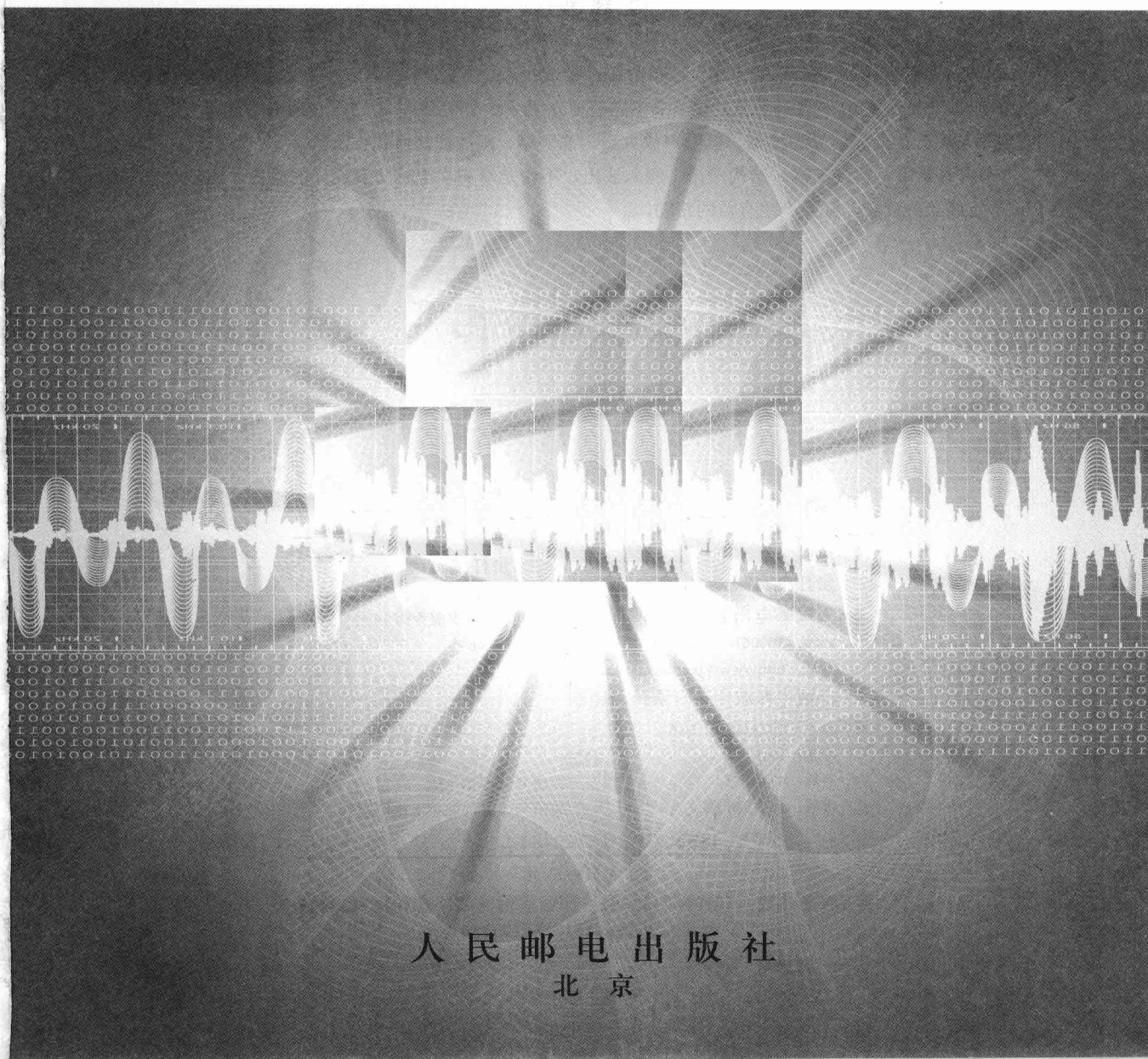
■ 李明洋 编著



HFSS 应用 详解

电磁仿真设计

李明洋 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

HFSS电磁仿真设计应用详解 / 李明洋编著. — 北京:
人民邮电出版社, 2010.5
ISBN 978-7-115-22184-1

I. ①H… II. ①李… III. ①电磁场—计算机仿真—
应用软件, HFSS IV. ①0441.4-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第006306号

内 容 提 要

本书介绍使用 ADS 进行射频电路设计和仿真的基础知识和方法。本书内容涉及射频电路的基础理论、ADS 的基本概况以及 ADS 各种仿真功能, 书中完整地介绍了 6 个利用 ADS 进行射频电路设计与仿真的实例, 包括功率分配器、射频滤波器、低噪声放大器、混频器、压控振荡器和收发机。

本书内容紧凑、实例丰富、结构严谨、深入浅出, 不论是对初学电磁仿真设计的读者, 还是对电磁仿真有过一定经验的读者, 都会产生有益的帮助。

HFSS 电磁仿真设计应用详解

-
- ◆ 编 著 李明洋
责任编辑 刘 浩
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19.5
字数: 474 千字 2010 年 5 月第 1 版
印数: 1-3 500 册 2010 年 5 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-22184-1

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

HFSS 是美国 Ansoft 公司开发的, 基于电磁场有限元法分析微波工程问题的全波三维电磁仿真软件。经过 70 多年的发展, 现今 HFSS 以其无与伦比的仿真精度和可靠性、快捷的仿真速度、方便易用的操作界面、稳定成熟的自适应网格剖分技术, 成为三维电磁仿真设计的首选工具和行业标准, 被广泛地应用于航空、航天、电子、半导体、计算机、通信等多个领域, 帮助工程师高效地设计各种微波/高频无源器件。

HFSS 的书籍很少, 而且和实践结合得松散。而本书作者是 HFSS 资深工程师, 并且具有多年的企业培训经验。因此, 本书在讲解时尽量摒弃烦琐的理论推导、抽象的概念, 多从工程实践的角度出发, 采用通俗易懂的语言和直观的工程实例, 让读者不仅学习到怎么操作, 还要明白为什么这么操作。知其然并知其所以然, 才能熟练掌握, 举一反三, 活学活用。

本书紧密结合 HFSS 的设计流程来安排章节结构。

- 第 1 章是 HFSS 概述部分, 主要讲述 HFSS 是什么, HFSS 能做什么的问题; 同时也简单介绍了 HFSS 的简要设计流程。
- 第 2 章通过一个简单的 HFSS 工程设计实例来讲解 HFSS 的分析设计流程和具体操作步骤; 让读者对于 HFSS 实际工程应用有一个整体的、直观的认识, 便于后面深入细致地学习 HFSS。
- 第 3 章介绍了 HFSS 的工作环境, 包括 HFSS 的工作界面组成、各个工作窗口的主要功能以及 HFSS 主菜单中各项操作命令的具体功能。
- 第 4 章主要讲解物体建模的相关操作, 包括创建基本模型的操作步骤、创建复杂模型的几何变换操作和布尔运算操作以及与建模相关的各种功能设置。
- 第 5 章着重讲解 HFSS 中各种边界条件、端口激励的定义和应用, 这一章是本书的重点和难点; 理解和掌握了 HFSS 中边界条件、端口激励的定义和应用也就理解和掌握了 HFSS 电磁仿真设计的精髓。
- 第 6 章主要讲述在 HFSS 仿真设计中, 如何选择求解类型、如何添加求解分析设置以及如何运行仿真分析。HFSS 作为一款功能强大的电磁仿真软件, 除了能够提供常规的电磁特性分析之外, 还能够提供优化设计、参数分析、灵敏度分析和统计分析等功能, 这些功能都集成在 HFSS 的 Optimetrics 模块中。
- 第 7 章就向读者详细介绍了 HFSS Optimetrics 模块的这些设计功能, 并通过一个微带线特征阻抗的分析实例讲解了其具体的工程应用。
- 第 8 章主要讲解 HFSS 强大而又灵活的数据后处理功能, 利用 HFSS 的数据后处理功能能够直观地给出问题的各种求解信息和求解结果。
- 第 9~第 14 章是 HFSS 工程实例讲解部分, 通过 6 个工程设计实例, 讲解了 HFSS 在微波器件设计、天线设计、天线阵列设计、高速数字信号完整性分析、谐振腔分析和 SAR 计算等方面的实际工程应用。

“纸上得来终觉浅, 绝知此事要躬行”, 再好的教材, 也需要读者多读、多看、勤思考、多操作才能真正理解掌握。

为了尽可能地节约学习时间，让您在最短的时间内迅速地掌握 HFSS 的设计应用，作者录制了《两周学会 HFSS》视频录像，具体可参考 <http://www.edatop.com/hfss> 或联系 010-67156680 进行咨询。

由于时间仓促，书中难免存在不足，请广大读者批评指正（电子函件：book_better@sina.com）。

编者

2010 年 4 月

目 录

第 1 章 HFSS 概述	1	3.1.8 状态栏	43
1.1 HFSS 简介	1	3.2 栅格显示和栅格平面	43
1.2 启动 HFSS	3	3.3 显示坐标系	44
1.3 设置 HFSS 工程文件的默认路径	4	第 4 章 HFSS 中的建模操作	45
1.4 HFSS 设计流程	4	4.1 创建长方体模型	45
第 2 章 入门实例——T 形波导的内场 分析和优化设计	6	4.1.1 创建长方体模型的操作 步骤	46
2.1 设计概述	6	4.1.2 物体“属性”对话框的详细 解释	48
2.2 T 形波导内场分析	7	4.2 HFSS 中的基本模型及其创建	49
2.2.1 新建工程设置	7	4.2.1 鼠标光标的移动模式	49
2.2.2 创建 T 形波导模型	8	4.2.2 捕捉模式 (Snap Mode)	50
2.2.3 分析求解设置	15	4.2.3 物体的基本模型	51
2.2.4 查看分析计算结果	17	4.3 物体的材料属性	54
2.2.5 保存设计并退出 HFSS	21	4.3.1 编辑物体材料库	55
2.3 T 形波导的优化分析	21	4.3.2 设置物体模型的材料	56
2.3.1 新建一个优化设计工程	21	4.4 改变视图	57
2.3.2 参数扫描分析设置和仿真 分析	21	4.4.1 改变视图的操作命令	57
2.3.3 查看参数扫描分析结果	25	4.4.2 显示和隐藏物体模型	58
2.3.4 优化设计	27	4.5 选择操作	59
2.3.5 查看优化结果	29	4.5.1 选择模式	59
2.3.6 保存并退出 HFSS	30	4.5.2 选择操作	60
第 3 章 HFSS 工作界面	31	4.5.3 多重选择	61
3.1 HFSS 工作界面	31	4.6 物体模型的几何变换	61
3.1.1 主菜单栏	32	4.7 物体模型的布尔运算操作	64
3.1.2 工具栏	40	4.8 HFSS 中的坐标系	66
3.1.3 工程管理窗口	41	4.8.1 相对坐标系	67
3.1.4 属性窗口	42	4.8.2 面坐标系	68
3.1.5 三维模型窗口	42	4.9 建模相关选项的设置	69
3.1.6 信息管理窗口	42	第 5 章 边界条件和激励	72
3.1.7 进程窗口	43	5.1 概述	72
		5.2 边界条件的类型和设置	73

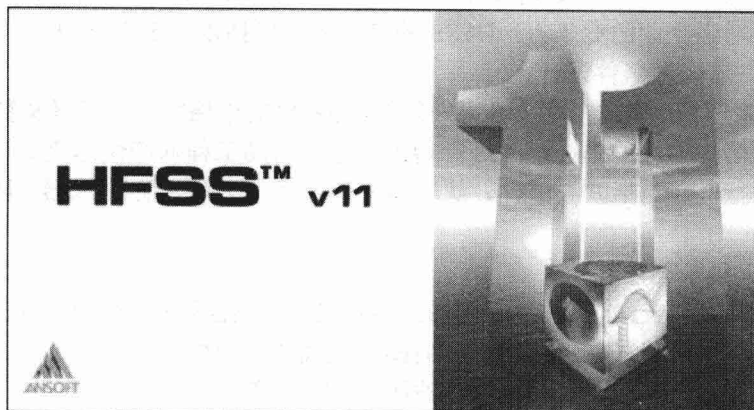
5.2.1 理想导体边界条件	73	6.5.2 运行仿真分析	115
5.2.2 理想磁边界条件	74	第 7 章 HFSS 中的变量和	
5.2.3 有限导体边界条件	76	Optimetrics	117
5.2.4 辐射边界条件	77	7.1 变量	117
5.2.5 对称边界条件	78	7.1.1 变量类型	117
5.2.6 阻抗边界条件	80	7.1.2 变量定义	118
5.2.7 集总 RLC 边界条件	82	7.1.3 添加、删除和使用变量	120
5.2.8 分层阻抗边界条件	83	7.2 Optimetrics 模块功能简介	123
5.2.9 无限地平面边界条件	84	7.3 参数扫描分析	123
5.2.10 主从边界条件	84	7.4 优化设计	124
5.2.11 理想匹配层	87	7.4.1 初始设计	125
5.3 激励的类型和设置	87	7.4.2 添加优化变量	125
5.3.1 波端口激励	88	7.4.3 构造目标函数	125
5.3.2 波端口激励的设置步骤	90	7.4.4 优化算法	127
5.3.3 集总端口激励	95	7.5 调谐分析	130
5.3.4 Floquet 端口激励	98	7.6 灵敏度分析	130
5.3.5 入射波激励	98	7.7 统计分析	131
5.3.6 电压源激励	99	7.8 Optimetrics 应用实例	131
5.3.7 电流源激励	100	7.8.1 定义变量	132
5.3.8 磁偏置激励	100	7.8.2 参数扫描分析举例	134
第 6 章 HFSS 网格剖分和分析设置	101	7.8.3 优化设计举例	137
6.1 求解类型	101	7.8.4 调谐分析举例	142
6.2 自适应网格剖分	102	7.8.5 灵敏度分析举例	144
6.2.1 收敛标准	102	7.8.6 统计分析举例	146
6.2.2 收敛精度	104	第 8 章 HFSS 的数据后处理	149
6.2.3 自适应网格剖分频率的 选择	104	8.1 求解信息数据	149
6.3 求解设置	105	8.2 数值结果	151
6.3.1 添加和定义求解设置	105	8.2.1 数值结果的显示方式	151
6.3.2 修改和删除已添加的求解 设置	109	8.2.2 数值结果的类型	152
6.4 扫频分析	110	8.2.3 输出变量	153
6.4.1 扫频类型	110	8.2.4 查看数值结果的操作 步骤	154
6.4.2 添加和定义扫频设置	111	8.2.5 编辑图形显示结果报告	156
6.4.3 修改和删除已添加的扫 频项	114	8.3 场分布图	157
6.5 设计检查和运行仿真分析	114	8.3.1 绘制场分布图的操作 步骤	159
6.5.1 设计检查	115	8.3.2 场分布图的动态演示	159

8.4 天线辐射问题的后处理	161	10.2 设计指标和天线几何结构 参数计算	198
8.4.1 定义远区场辐射表面	162	10.3 HFSS 设计和建模概述	199
8.4.2 天线方向图	163	10.3.1 微带天线建模概述	199
8.4.3 天线参数	166	10.3.2 HFSS 设计环境概述	200
8.4.4 HFSS 中天线的处理	169	10.4 新建 HFSS 工程	200
第 9 章 HFSS 环形定向耦合器设计		10.5 创建微带天线模型	201
实例	173	10.5.1 设置默认的长度单位	201
9.1 环形定向耦合器简介	174	10.5.2 建模相关选项设置	201
9.2 使用 HFSS 设计环形定向 耦合器概述	174	10.5.3 创建参考地	201
9.2.1 耦合器的理论计算	174	10.5.4 创建介质板层	203
9.2.2 HFSS 设计简介	175	10.5.5 创建微带贴片	204
9.2.3 HFSS 设计环境概述	175	10.5.6 创建同轴馈线的内芯	205
9.3 新建 HFSS 工程	176	10.5.7 创建信号传输端口面	206
9.4 创建环形定向耦合器模型	176	10.5.8 创建辐射边界表面	207
9.4.1 设置默认的长度单位	176	10.6 设置激励端口	208
9.4.2 建模相关选项设置	177	10.7 添加和使用变量	210
9.4.3 定义变量 length	177	10.7.1 添加设计变量	210
9.4.4 添加新材料	178	10.7.2 在模型中使用变量	210
9.4.5 创建带状线介质层模型	180	10.8 求解设置	211
9.4.6 创建带状线金属层模型	181	10.8.1 求解设置	212
9.5 分配边界条件和激励	184	10.8.2 扫频设置	212
9.6 求解设置	187	10.9 设计检查和运行仿真 分析	213
9.6.1 求解设置	187	10.10 查看天线谐振点	213
9.6.2 扫频设置	187	10.11 优化设计	214
9.7 设计检查和运行仿真分析	189	10.11.1 参数扫描分析	215
9.8 查看仿真分析结果	189	10.11.2 优化设计	216
9.8.1 查看 S 参数扫频结果	189	10.12 查看优化后的天线性能	219
9.8.2 查看 4GHz 频点的 S 矩阵	190	10.12.1 查看 S_{11} 参数	219
9.9 结果讨论	191	10.12.2 查看 S_{11} 参数的 Smith 圆图 结果	220
9.9.1 重新仿真验证 S 矩阵结果	192	10.12.3 查看电压驻波比	221
9.9.2 使用端口平移功能验证 S 矩阵结果	193	10.12.4 查看天线的三维增益 方向图	221
9.10 保存并退出 HFSS	194	10.12.5 查看平面方向图	223
第 10 章 HFSS 微带天线设计实例	195	10.12.6 其他天线参数	223
10.1 微带天线简介	195	10.13 讨论	225

第 11 章 HFSS 阵列天线分析	226	12.3.1 设置默认的长度单位	247
11.1 HFSS 设计概述	226	12.3.2 建模相关选项设置	247
11.1.1 阵元模型	227	12.3.3 创建差分信号线模型	248
11.1.2 HFSS 设计环境概述	228	12.3.4 创建 FR4 介质层	250
11.2 新建工程	228	12.3.5 添加和使用变量	251
11.3 创建阵元模型	229	12.4 分配端口激励	252
11.3.1 设置默认的长度单位	229	12.4.1 创建波端口激励表面	253
11.3.2 建模相关选项设置	229	12.4.2 分配波端口激励	254
11.3.3 创建波导阵元	230	12.4.3 设置差分信号线	255
11.3.4 创建阵元外的自由空间 模型	231	12.4.4 端口平移	256
11.4 分配边界条件和激励	232	12.5 求解设置	256
11.4.1 设置 AirBox 左右两侧表面 为主从边界条件	232	12.5.1 求解频率设置	256
11.4.2 设置 AirBox 前后表面为主 从边界条件	235	12.5.2 扫频设置	257
11.4.3 为阵元波导底面分配波 端口激励	235	12.6 设计检查和运行仿真分析	259
11.4.4 为 AirBox 上表面分配 Floquet 端口激励	235	12.7 数据后处理	259
11.5 求解设置	237	12.7.1 差模信号和共模信号的 S 参数扫频分析结果	259
11.6 设计检查和运行仿真分析	238	12.7.2 端口的差模阻抗和共模 阻抗	260
11.7 查看仿真分析结果	239	12.7.3 端口处差模信号和共模信号 的电场分布	261
11.7.1 定义辐射表面	239	12.8 参数扫描分析	263
11.7.2 查看天线阵元场强 方向图	240	12.8.1 添加扫描参数设置	264
11.7.3 查看天线阵列场强 方向图	241	12.8.2 运行仿真计算	264
11.8 保存并退出 HFSS	243	12.8.3 结果分析	265
第 12 章 HFSS 差分信号分析实例	244	12.9 保存并退出 HFSS	266
12.1 HFSS 设计概述	244	第 13 章 HFSS 谐振腔体分析实例	267
12.1.1 HFSS 求解类型和建模 简述	245	13.1 圆柱形腔体谐振器简介	267
12.1.2 求解频率和扫频设置	246	13.2 HFSS 设计概述	269
12.1.3 HFSS 设计环境概述	246	13.2.1 HFSS 建模和求解简介	269
12.2 新建工程	246	13.2.2 HFSS 设计环境概述	270
12.3 创建带状线差分对模型	247	13.3 新建工程	270
		13.4 创建圆形谐振腔模型	271
		13.4.1 设置默认的长度单位	271
		13.4.2 建模相关选项设置	271
		13.4.3 定义设计变量	272
		13.4.4 创建圆形谐振腔体 模型	272

13.5 边界条件和激励	273	14.3.4 建模相关选项设置	287
13.6 求解设置	274	14.4 创建偶极子天线模型	288
13.7 设计检查和运行仿真分析	275	14.4.1 创建相对坐标系	288
13.8 结果分析	275	14.4.2 创建偶极子天线模型	289
13.8.1 谐振频率和品质因数 Q	275	14.4.3 给偶极子天线分配集总 端口激励	291
13.8.2 腔体内部电磁场的分布	276	14.5 创建外壳和脑组织液模型	293
13.9 参数扫描分析	280	14.5.1 创建第一个球体	293
13.9.1 创建介质圆柱体	280	14.5.2 创建第二个球体	295
13.9.2 添加参数扫描分析设置	281	14.5.3 生成外壳和脑组织液模型	296
13.9.3 运行参数扫描分析	282	14.6 创建 SAR 的计算线	297
13.9.4 参数扫描分析结果	282	14.7 分配辐射边界条件	298
13.10 保存并退出 HFSS	283	14.8 求解设置	299
第 14 章 HFSS 计算 SAR 工程实例	284	14.9 设计检查和运行仿真分析	300
14.1 设计背景	284	14.10 查看分析结果	300
14.2 HFSS 设计概述	285	14.10.1 SAR 计算结果	300
14.2.1 建模概述	286	14.10.2 BrainFluid 模型内部的电场 分布	301
14.2.2 HFSS 设计环境概述	286	14.11 保存并退出 HFSS	301
14.3 新建工程	286		
14.3.1 运行 HFSS 并新建工程	286		
14.3.2 设置求解类型	286		
14.3.3 设置默认的长度单位	287		
		附录 HFSS 中的快捷键	302

第 1 章 HFSS 概述



HFSS (High Frequency Simulator Structure) 是美国 Ansoft 公司开发的全波三维电磁仿真软件, 其功能强大, 界面友好, 计算结果准确, 是业界公认的三维电磁场设计和分析的工业标准。

本章将向读者介绍 HFSS 的主要功能以及 HFSS 的设计流程和全书的结构安排。

1.1 HFSS 简介

HFSS 是美国 Ansoft 公司开发的全波三维电磁仿真软件, 该软件采用有限元法, 计算结果准确可靠, 是业界公认的三维电磁场设计和分析的工业标准。

HFSS 采用标准的 Windows 图形用户界面, 简洁直观; 自动化的设计流程, 易学易用; 稳定成熟的自适应网格剖分技术, 结果准确。使用 HFSS, 用户只需要创建或导入设计模型, 指定模型材料属性, 正确分配模型的边界条件和激励, 准确定义求解设置, 软件便可以计算输出用户需要的设计结果。

HFSS 具有精确的场仿真器, 强大的电性能分析能力和后处理功能可以用于分析、计算并显示下列参数。

- S 、 Y 、 Z 等参数矩阵。
- 电压驻波比 (VSWR)。
- 端口阻抗和传播常数。
- 电磁场分布和电流分布。
- 谐振频率、品质因数 Q 。
- 天线辐射方向图和各种天线参数, 如增益、方向性、波束宽度等。

- 比吸收率 (SAR)。
- 雷达反射截面 (RCS)。

经过二十多年的发展, 现今 HFSS 以其无与伦比的仿真精度和可靠性、快捷的仿真速度、方便易用的操作界面、稳定成熟的自适应网格剖分技术, 已经成为三维电磁仿真设计的首选工具和行业标准, 被广泛地应用于航空、航天、电子、半导体、计算机、通信等多个领域, 帮助工程师高效地设计各种微波/高频无源器件。借助于 HFSS, 能够有效地降低设计成本, 缩短设计周期, 增强企业的竞争力。HFSS 的具体应用包括以下 8 个方面。

1. 射频和微波无源器件设计

HFSS 能够快速精确地计算各种射频/微波无源器件的电磁特性, 得到 S 参数、传播常数、电磁特性, 优化器件的性能指标, 并进行容差分析, 帮助工程师们快速完成设计并得到各类器件的准确电磁特性, 包括波导器件、滤波器、耦合器、功率分配/合成器、隔离器、腔体和铁氧体器件等。

2. 天线、天线阵列设计

HFSS 可为天线和天线阵列提供全面的仿真分析和优化设计, 精确仿真计算天线的各种性能, 包括二维、三维远场和近场辐射方向图、天线的方向性、增益、轴比、半功率波瓣宽度、内部电磁场分布、天线阻抗、电压驻波比、 S 参数等。

3. 高速数字信号完整性分析

随着信号工作频率和信息传输速度的不断提高, 互联结构的寄生效应对整个系统的性能影响已经成为制约设计成功的关键因素。MMIC、RFIC 或高速数字系统需要精确的互联结构特性分析参数抽取, HFSS 能够自动和精确地提取高速互联结构和版图寄生效应, 导出 SPICE 参数模型和 Touchstone 文件 (即 .snp 格式文件), 结合 Ansoft Designer 或其他电路仿真分析工具去仿真瞬态现象。

4. EMC/EMI 问题分析

电磁兼容和电磁干扰 (EMC/EMI) 问题具有随机性和多变性的特点, 因此, 完整的“复现”一个实际工程中的 EMC/EMI 问题是很难做到的。Ansoft 提供的“自顶向下”的 EMC 解决方案可以轻松地解决这个问题。HFSS 强大的场后处理功能为设计人员提供丰富的场结果。整个空间的场分布情况可以以色标图的方式直观地显示出来, 让设计人员对系统的场分布全貌有所认识; 进一步通过场计算器 (Field Calculator), 可以给出电场/磁场强度的最强点, 并能输出详细的场强值和坐标值。

5. 电真空器件设计

在电真空器件如行波管、速调管、回旋管设计中, HFSS 本征模求解器结合周期性边界条件, 能够准确地仿真分析器件的色散特性, 得到归一化相速与频率的关系以及结构中的电磁场分布, 为这类器件的分析和设计提供了强有力的手段。

6. 目标特性研究和 RCS 仿真

雷达散射截面 (RCS) 的分析预估一直是电磁理论研究的重要课题, 当前人们对电大尺寸复杂目标的 RCS 分析尤为关注。HFSS 中定义了平面波入射激励, 结合辐射边界条件或 PML 边界条件, 可以准确地分析器件的 RCS。

7. 计算 SAR

比吸收率 (SAR) 是单位质量的人体组织所吸收的电磁辐射能量, SAR 的大小表明了电

磁辐射对人体健康的影响程度。随着信息技术的发展，大众在享受无线通信设备带来的各种便利之时，也日益关注无线通信终端对人体健康的影响。使用 HFSS 可以准确地计算出指定位置的局部 SAR 和平均 SAR。

8. 光电器件仿真设计

HFSS 的应用频率能够达到光波波段，精确仿真光电器件的特性。

1.2 启动 HFSS

HFSS 软件安装完成后，在桌面和程序菜单中都会建有快捷方式。可以通过两种方法来启动 HFSS 软件：一是双击桌面快捷方式，启动 HFSS；二是在 Windows 程序菜单中，单击【Ansoft】→【HFSS 11】→【HFSS 11】，启动 HFSS，如图 1.1 所示。HFSS 启动后的用户界面如图 1.2 所示。

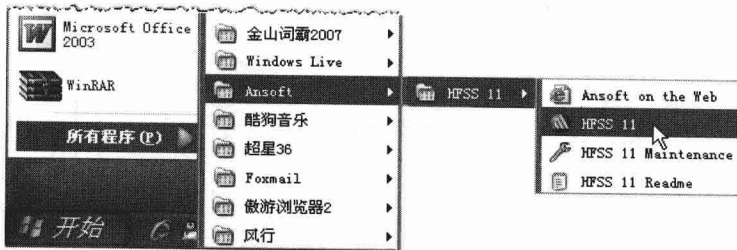


图 1.1 启动 HFSS 操作

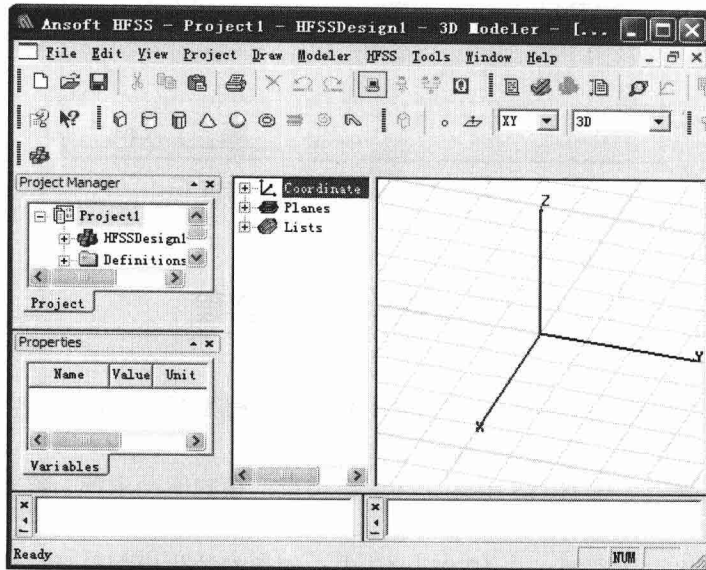


图 1.2 HFSS 用户界面

1.3 设置 HFSS 工程文件的默认路径

HFSS 启动后,在图 1.2 所示的用户界面主菜单栏单击【Tools】→【Options】→【General Options】命令,可以打开如图 1.3 所示的 General Options 对话框。在对话框的 Project Options 界面,可以设置 HFSS 工程文件、临时工程文件和材料库文件的存放路径。一般材料库文件保留默认路径不变;HFSS 工程文件、临时工程文件路径用户可以根据需要更改。需要说明的是, HFSS 工程文件、临时工程文件和材料库文件的存放路径不能包含有中文字符,否则在软件的使用过程中有可能会出现问题。

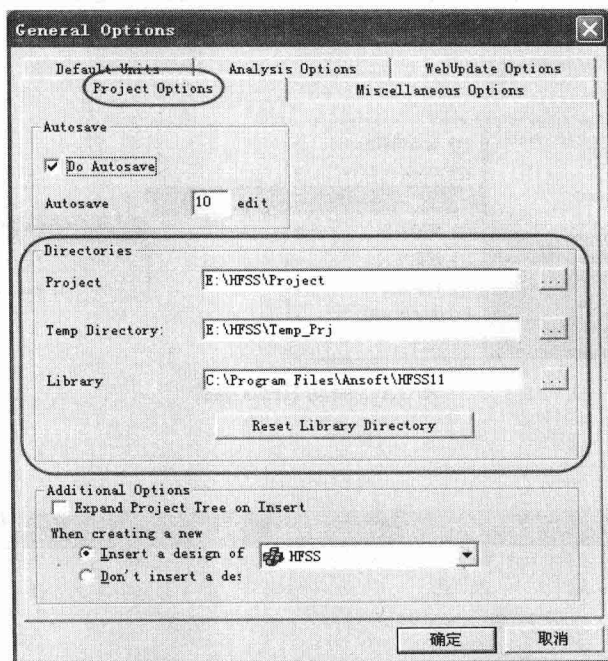


图 1.3 General Options 对话框

1.4 HFSS 设计流程

使用 HFSS 进行电磁分析和高频器件设计的简要流程如图 1.4 所示。各个步骤简述如下。

- (1) 启动 HFSS 软件,新建一个设计工程。
- (2) 选择求解类型。在 HFSS 中有 3 种求解类型:模式驱动求解、终端驱动求解和本征模式求解。
- (3) 创建参数化设计模型。在 HFSS 设计中,创建参数化模型包括:构造出准确的几何模型、指定模型的材料属性以及准确地分配边界条件和端口激励。

(4) 求解设置。求解设置包括指定求解频率（软件在该频率下进行自适应网格剖分计算）、收敛误差和网格剖分最大迭代次数等信息；如果需要进行扫频分析，还需要选择扫频类型并指定扫频范围。

(5) 运行仿真计算。在 HFSS 中，仿真计算的过程是全自动的。软件根据用户指定的求解设置信息，自动完成仿真计算，无须用户干预。

(6) 数据后处理，查看计算结果，包括 S 参数、场分布、电流分布、谐振频率、品质因数 Q 、天线辐射方向图等。

另外，HFSS 还集成了 Ansoft 公司的 Optimetrics 设计优化模块，可以对设计模型进行参数扫描分析、优化设计、调谐分析、灵敏度分析和统计分析。

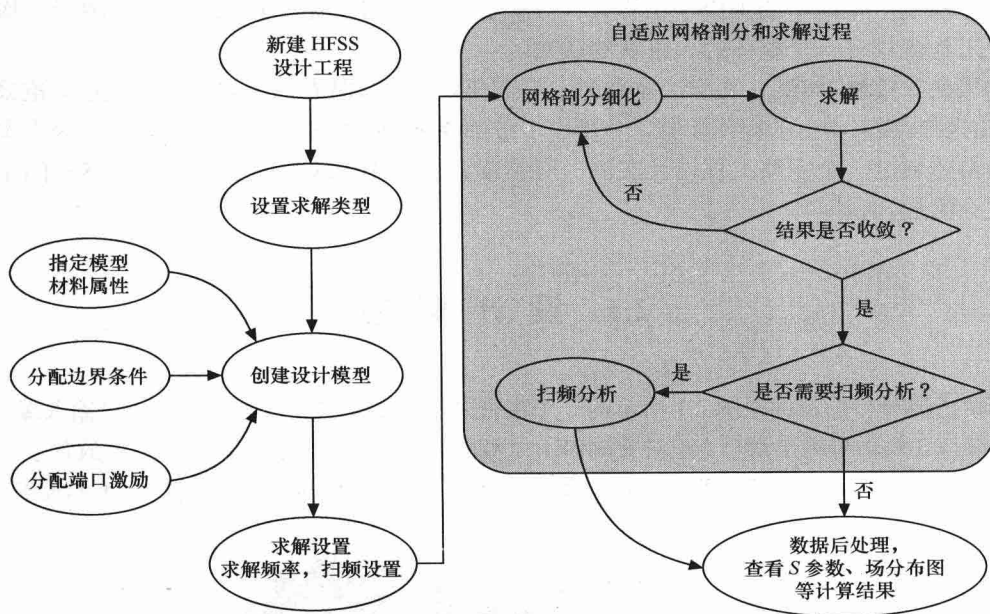


图 1.4 HFSS 设计流程

第2章 入门实例

——T形波导的内场分析和优化设计

本章通过一个简单的 HFSS 工程设计分析实例，让初学者对 HFSS 的工作界面、操作步骤以及工作流程有一个整体的、直观的认知。

如果初次接触 HFSS，在学习本章时，不需要对每一步骤背后所表示的含义都有准确的理解，只需要按照书本上的操作步骤，一步一步按部就班地完成整个工程设计即可。因为本章的目的是希望通过一个完整工程设计实例，引领读者走进 HFSS，向读者展示 HFSS 的工作环境和设计流程。

2.1 设计概述

本章所要分析的器件是图 2.1 所示的一个带有隔片的 T 形波导。端口 1 是信号输入端口，端口 2 和端口 3 是信号输出端口。正对着端口 1 一侧的波导壁上凹进去一块，相当于放置了一个隔片，通过改变隔片的位置可以改变端口 1 到端口 2 和端口 3 的传输功率以及端口 1 的反射功率。

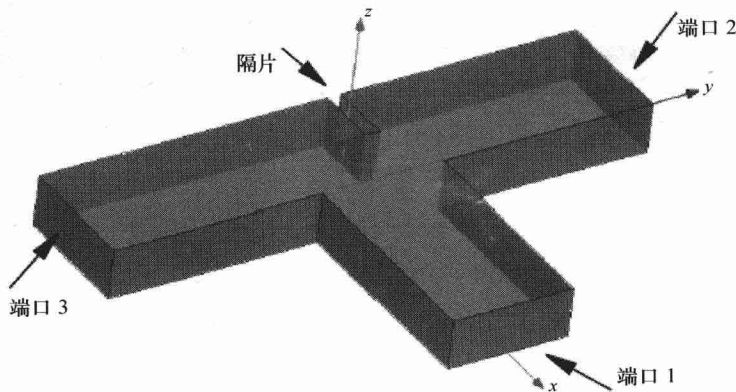


图 2.1 T 形波导模型

本章分 3 个小节。第 1 节简要描述设计实例。第 2 节主要分析当隔片位于波导的正中央时，在 8~10GHz 的工作频段内，波导 3 个端口的 S 参数随着频率变化的关系曲线，同时分析查看在 10GHz 时波导表面的电场分布。第 3 节主要介绍 HFSS 的参数扫描分析功能和优化设计功能的具体应用。首先，我们利用 HFSS 的参数扫描分析功能分析在 10GHz 处，波导 3 个端口的 S 参数随着隔片位置变量 Offset 变化的关系曲线；然后，使用 HFSS 的优化设计功

能, 求解出当端口3的输出功率是端口2的输出功率的两倍时隔片所在的位置。

2.2 T形波导内场分析

2.2.1 新建工程设置

1. 运行 HFSS 并新建工程

双击桌面上的 HFSS 快捷方式, 启动 HFSS 软件。HFSS 启动后, 会自动创建一个默认名称为 **Project1** 的新工程和名称为 **HFSSDesign1** 的新设计, 如图 2.2 所示。

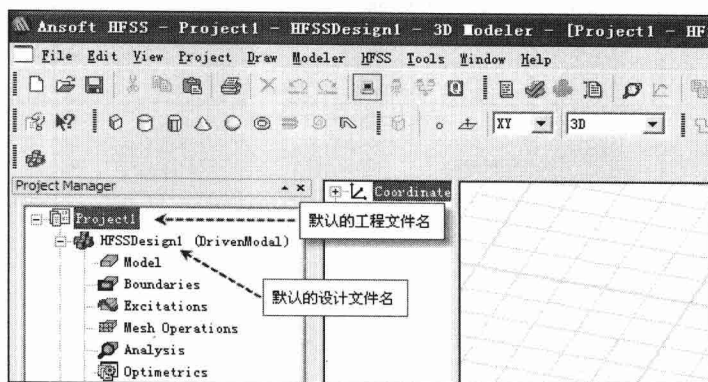


图 2.2 HFSS 默认启动界面

从主菜单栏选择命令 **【File】** → **【Save As】**, 把工程文件另存为 Tee.hfss。然后右键单击 **HFSSDesign1**, 从弹出菜单中选择 **【Rename】** 命令项, 把设计文件 **HFSSDesign1** 重新命名为 **TeeModal**。

2. 选择求解类型

从主菜单栏选择 **【HFSS】** → **【Solution Type】**, 打开如图 2.3 所示的 Solution Type 对话框, 选中 Driven Modal 单选按钮, 单击 **OK** 按钮。

3. 设置长度单位

从主菜单栏选择 **【Modeler】** → **【Units】**, 打开如图 2.4 所示的 Set Model Units 对话框, 选择英寸 (in) 单位, 单击 **OK** 按钮。此时, 设置了建模时的默认长度单位, 即英寸。

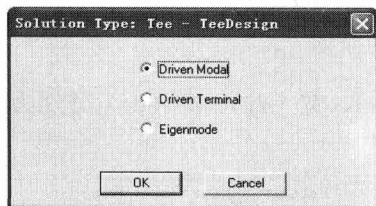


图 2.3 Solution Type 对话框

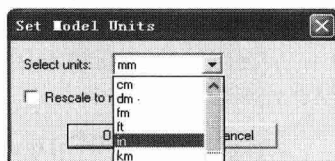


图 2.4 模型长度单位设置对话框