

本书获深圳大学教材出版基金资助

CST 仿真设计 理论与实践

张 晓 主 编

李 银 吴琼森 李瑞鹏 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

CST 是目前应用最广泛的电磁场仿真软件之一, 熟练掌握该软件的建模和仿真技巧, 是进入微波电路和天线相关领域的重要前提。本书将经典理论与仿真软件相结合, 从 IEEE 高引论文中选取结构简单且机理清晰的仿真实例, 在仿真中融入微波电路理论和天线理论。本书内容可分为两部分: 第一部分(第 1~6 章)主要介绍软件的基本功能, 包括初识 CST, 建模操作, 激励端口、材料库与边界条件, 求解器与求解设置, 结果查看与数据后处理, 优化器与高性能计算等; 第二部分(第 7~13 章)主要介绍具体的仿真实例及相应的理论基础, 包括微波滤波器, 微带贴片天线设计, 特征模仿真, 终端天线设计, 周期结构仿真, 散射场仿真, 基于编程调用 CST 的自动化建模与仿真等。

本书的仿真实例将理论与工程应用紧密结合, 针对不同研究方向全面讲解了 CST 的仿真技巧。本书可作为高校电子通信类专业本科生和研究生的教学用书, 也可作为无线通信、微波射频和天线设计等领域技术人员的参考书籍。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。举报: 010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

CST 仿真设计理论与实践 / 张晓主编. —北京: 清华大学出版社, 2023.4

ISBN 978-7-302-61741-9

I. ①C… II. ①张… III. ①电磁场—计算机仿真—研究 IV. ①O441.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 157360 号

责任编辑: 王 定

封面设计: 周晓亮

版式设计: 孔祥峰

责任校对: 马遥遥

责任印制:

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 24.25

字 数: 590 千字

版 次: 2023 年 4 月第 1 版

印 次: 2023 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 98.00 元

产品编号: 095451-01



FOREWORD

虚拟世界延展现实世界，让现实世界更美好。为了让消费者获得电磁性能和使用体验最好的产品，在产品研发和创新的过程中，电磁场仿真有着非常重要的作用。

CST 微波工作室(CSTMicrowave Studio)是世界领先的电磁场仿真软件，隶属于全球工业软件巨擘达索系统旗下多学科仿真品牌 SIMULIA，CST MWS 具有完备的时域、频域全波算法和高频算法，它适用于几乎所有的电磁仿真问题，是微波无源器件和天线设计工程师的必备技能之一。

CST 在各个典型应用领域均有专用求解器，利用各种算法在各自使用领域内的优点，可得到最好的求解效果。CST 的应用覆盖汽车、通信、国防、电子、电气、医疗和基础科学等诸多行业，受到工程师、设计、研发人员的广泛使用。

虽然 CST 提供了图形化的用户界面、基于专家系统的全自动网格剖分等简化操作，但对于初学者来说，还是有一定的学习难度，需要比较长的学习周期。一本具有全面易懂知识的 CST 教程仍然非常必要。

张晓老师主编的这本《CST 仿真设计理论与实践》，是一本适合 CST 入门学习者的教程书籍，可以帮助初学者快速熟悉 CST 的用户界面及仿真环境，免去多余查找资料的时间，从而专注于所需解决的电磁场问题。一方面，为了应对各种不同的应用场景，CST 包含了多种不同的求解器、不同的工作模式及多种外部接口，通过对教程的学习，可以较快掌握其基本运用方法和进阶技术；另一方面，随着天线理论及工程应用的发展，CST 教程的内容也需要与时俱进，将重心转移到前沿需求的聚光灯下。目前业界正需要具有完备知识覆盖、内容切合时代主题、教学深入浅出的 CST 教材。

这本教材的编写团队在天线、滤波器和数值算法等领域从事理论研究多年，发表了众多代表性成果；同时结合产业需求，致力于技术的转化与应用，有着丰富的实践经验。难能可贵的是，来自深圳大学、鹏城实验室和广东工业大学的编者对教学充满了激情和热忱，以教书育人为己任，教学经验丰富，在高校所承担的课程受到了广大学生的喜爱。该编写团队一直在探索天线教学的新模式，前期积累了大量的教学素材和教学经验，为这本教材的编写奠定了扎实的基础。

千里之行，始于足下。这本教材内容与时俱进，知识点全面，仿真实例深入浅出，是一本适合高校学生及相关从业人员学习和掌握 CST 微波工作室的绝佳教材。

冯升华
达索系统中国大学校长
2022 年 4 月 13 日



P R E F A C E

近年来,电磁场数值算法和仿真软件飞速发展,仿真软件已经成为微波电路和天线设计的重要工具。仿真软件友好的用户界面和日益完备的数值算法,使得器件的设计过程更加简单高效,结果更加准确,降低了该领域入门的难度,极大地提高了产品设计的效率和精度。目前主流的三维电磁场仿真软件有 IE3D、HFSS、CST、FEKO、AWR、SONET 等,它们各有所长,在不同的场合各自具有其独特的应用优势。其中,CST 是目前被高校和行业使用最广泛的仿真软件之一,它具有用户界面友好、功能强大、仿真速度快、后处理能力强等优点,用户群体也越来越庞大。然而,长期以来,该领域一直缺乏面向不同层次使用者且简单易懂的 CST 相关教程,不利于广大高校学生及行业技术人员全面了解和深入掌握软件的使用技巧。随着无线通信行业的飞速发展,射频电路、电磁场电磁波和天线技术等领域涌现了很多新的概念和设计方法,而仿真软件自身也不断增加和完善了新的功能。在此背景下,笔者一直希望能编写一本与时俱进的教程,能够涵括不同的研究方向,能同时为高校学生及行业的技术人员提供参考。幸运的是,我们几个志同道合的编者走到了一起,在达索析统(上海)信息技术有限公司和广州浦信系统技术有限公司的支持下,我们经过不懈的努力,终于在 2022 年初完成了初稿。

本书内容可分为两部分。第一部包括第 1~6 章,主要介绍软件的基本功能。其中,第 1 章介绍软件的界面,第 2 章介绍建模的常用操作,第 3 章介绍激励类型与设置、材料库和边界条件,第 4 章介绍不同的求解器与求解设置,第 5 章介绍结果查看和数据后处理的方法,第 6 章介绍优化器和高性能计算。第二部包括第 7~13 章,结合仿真实例介绍 CST 的使用技巧,并融入相应的理论知识。其中,第 7 章介绍了两种滤波器的仿真设计方法,包括基于耦合谐振器的腔体带通滤波器和基于微带阶跃阻抗谐振器的超宽带滤波器;第 8 章通过仿真验证了贴片天线的基本理论,结合短路加载介绍高增益贴片天线的设计方法,结合滤波天线技术实现贴片天线带宽的增加;第 9 章介绍了特征模理论,对偶极子和贴片天线进行模式分析,并进一步应用于两个不同的圆极化天线的设计;第 10 章介绍了终端天线相关技术及其仿真实现,包括倒 F 天线的单元设计、MIMO 天线去耦、手机边框天线设计和 SAR 仿真等;第 11 章介绍了周期结构的仿真设计,包括 1D 漏波天线、频率选择表面单元和高增益 Fabry-Perot 天线等;第 12 章介绍了散射场的仿真方法,包括等离子体的散射场提取和物体散射 RCS 仿真计算;第 13 章主要介绍基于编程调用 CST 的自动化建模与仿真,分别介绍了基于 MATLAB 和 Python 的调用方法,可用于复杂模型的快速建模。

本书在编写时充分考虑了用户群体的特点,所有内容都经过精心的编排,每个仿真实例的选择都经过深思熟虑,具有以下特点。

(1) 内容丰富全面,与时俱进。本书共有 7 章介绍仿真实例,其中每章又设置了多个关联

性较强的仿真设计，涵括了微波电路和天线领域多个不同的主题。内容与当前研究热点紧密结合，引入了特征模、周期结构、自动化建模等较前沿的内容，弥补了当前同类教材的不足，迎合了相当一部分从业人员的需求。

(2) 实例结构经典，机理深刻。本书的大部分仿真实例源自 IEEE 权威期刊中的高引论文，每个仿真实例对应一个经典的电路/天线理论知识点。所选的仿真实例结构简单，易于建模实现，同时机理非常清晰和深刻。读者在仿真过程中，不仅能学会基本的软件使用技巧，还能在仿真中深入理解并掌握相应的理论知识，一举两得。

(3) 理论结合实践，实用性强。本书的实例章节，既有具体的仿真操作步骤，也加入了具体的理论分析内容，有助于读者在实践过程中加深对理论知识的理解。在章节内容安排上，既包含较为前沿的课题，也有与实际产品密切相关的内容，如终端天线设计。

本书由深圳大学张晓担任主编，鹏城实验室李银、广东工业大学吴琼森和广州浦信系统技术有限公司李瑞鹏担任副主编。其中，李瑞鹏编写第 1~6 章，吴琼森编写第 7 章，张晓编写第 8~11 章，李银编写第 12、13 章，此外，达索系统中国大学校长冯升华和广州浦信系统技术有限公司总经理席宏宇参与了编写初期的策划和后期的校稿，并提出了宝贵的修改意见。曾麒渝、李国雄、许志泳、杨玉凡、陈贯雄和杨天龙为本书的编写做了大量的辅助性工作，参与了实例建模仿真、数据整理和校稿检查等环节。

本书的顺利出版，得到了达索析统(上海)信息技术有限公司和广州浦信系统技术有限公司的大力支持，他们为第 1~6 章内容的编写提供了大量的参考资料，并为编写小组提供了相应的技术支持。此外，本书的出版获得了深圳大学及其电子与信息工程学院的大力支持，本书同时获得了深圳大学教材出版资助。

由于作者水平有限，以及无线通信技术发展快速，书中不足之处在所难免，欢迎专家、读者批评指正。

本书提供教学课件，读者可扫下列二维码下载。



教学课件

编者
2022 年 8 月



C O N T E N T S

第 1 章 初识 CST	1
1.1 CST 界面与设计流程.....	1
1.1.1 CST 导航界面.....	1
1.1.2 CST 设计流程.....	3
1.1.3 CST 工作界面概览.....	4
1.2 主菜单及工具栏.....	4
1.2.1 File 选项卡.....	4
1.2.2 Home 选项卡.....	5
1.2.3 Modeling 选项卡.....	5
1.2.4 Simulation 选项卡.....	6
1.2.5 Post-Processing 选项卡.....	7
1.2.6 View 选项卡.....	7
1.3 子窗口.....	8
1.3.1 Parameter List.....	8
1.3.2 Progress.....	8
1.3.3 Messages.....	8
1.3.4 Result Navigator.....	9
1.3.5 Navigation Tree.....	9
1.4 思考题.....	9
第 2 章 建模操作	10
2.1 基本形状创建.....	10
2.1.1 创建一个“方体”.....	10
2.1.2 创建其他基本形状.....	12
2.2 选取工具.....	12
2.2.1 选取工具介绍.....	13
2.2.2 利用选取工具创建曲面.....	14
2.3 视图工具.....	15
2.3.1 视图选项.....	15
2.3.2 显示/隐藏形状.....	16

2.3.3 矩形选取.....	17
2.3.4 标注尺寸规格.....	18
2.4 工作坐标系.....	19
2.5 布尔操作.....	22
2.6 曲线工具.....	23
2.6.1 创建 2D/3D 曲线.....	23
2.6.2 曲线工具(I).....	24
2.6.3 曲线工具(II).....	28
2.7 变换工具.....	30
2.7.1 变换操作.....	30
2.7.2 空壳操作.....	31
2.7.3 对齐操作.....	33
2.8 高级创建操作.....	33
2.8.1 倒直角与倒圆角.....	33
2.8.2 旋转操作.....	34
2.8.3 拉伸操作.....	36
2.8.4 生成渐变图形.....	38
2.8.5 弯曲工具.....	39
2.8.6 解析式建模.....	42
2.9 思考题.....	43
第 3 章 激励端口、材料库与边界条件	44
3.1 激励类型与设置.....	44
3.1.1 波导端口.....	45
3.1.2 波导端口的应用.....	46
3.1.3 波导端口的常规信息.....	53
3.1.4 离散端口.....	55
3.1.5 平面波激励源.....	57
3.1.6 场源.....	61
3.2 材料.....	61

3.2.1	材料库	62	5.2.4	图像标记	92
3.2.2	添加新材料	62	5.3	2D/3D 结果视图选项	93
3.2.3	编辑材料属性	63	5.3.1	绘图属性	94
3.3	边界条件	63	5.3.2	显示格式	97
3.4	对称平面	64	5.3.3	剖视图设置	98
3.5	思考题	65	5.3.4	渐变图例设置	98
第 4 章	求解器与求解设置	66	5.4	宏与 VBA 引擎	99
4.1	计算电磁学的基本概念	66	5.4.1	通过历史列表生成宏	99
4.1.1	电尺寸	66	5.4.2	预加载宏	101
4.1.2	电磁数值计算方法	67	5.5	思考题	101
4.2	求解器的类型与特点	67	第 6 章	优化器与高性能计算	103
4.2.1	时域求解器	68	6.1	参数扫描	103
4.2.2	频域求解器	68	6.2	优化设计	104
4.2.3	本征模求解器	69	6.2.1	初始化参数建模	104
4.2.4	积分方程求解器	70	6.2.2	设置优化器	105
4.2.5	高频渐进求解器	70	6.3	优化设计应用实例	110
4.2.6	多层平面矩量法求解器	71	6.3.1	参数扫描实例	110
4.3	网格生成	71	6.3.2	优化设计实例	112
4.3.1	网格概述	71	6.4	高性能计算	114
4.3.2	网格优化	72	6.4.1	硬件加速技术	115
4.4	求解器参数设置	76	6.4.2	软件加速技术	117
4.4.1	时域求解器参数设置	76	6.5	思考题	118
4.4.2	频域求解器参数设置	78	第 7 章	微波滤波器	119
4.4.3	本征模求解器参数设置	80	7.1	腔体滤波器	119
4.5	思考题	81	7.1.1	耦合谐振器滤波器概述	119
第 5 章	结果查看与数据后处理	82	7.1.2	腔体滤波器仿真设计	122
5.1	结果查看及相关设置	82	7.2	超宽带多模滤波器	131
5.1.1	结果类型	82	7.2.1	超宽带多模滤波器概述	131
5.1.2	标准结果查看	83	7.2.2	超宽带多模滤波器的 仿真设计	132
5.1.3	监视器相关设置及结果 查看	83	7.3	思考题	140
5.1.4	后处理模板相关设置及结果 查看	89	7.4	参考文献	141
5.2	1D 结果视图选项	91	第 8 章	微带贴片天线设计	142
5.2.1	绘图属性	91	8.1	基本微带贴片天线单元 仿真设计	142
5.2.2	显示格式	92	8.1.1	空腔模型	142
5.2.3	坐标轴属性	92			

8.1.2 设计要求	146	9.5 耦合圆极化单极子	
8.1.3 CST 设计概述	146	天线的模式分析	219
8.1.4 CST 仿真设计	147	9.5.1 耦合理论概述	219
8.2 短路加载高增益微带贴片		9.5.2 耦合圆极化单极子天线	
天线的仿真设计	162	仿真设计	223
8.2.1 等效模型	162	9.6 思考题	229
8.2.2 方向性系数	163	9.7 参考文献	230
8.2.3 设计要求	164		
8.2.4 CST 设计概述	164	第 10 章 终端天线设计	232
8.2.5 CST 仿真设计	165	10.1 终端天线介绍	232
8.3 滤波贴片天线的仿真设计	171	10.1.1 外置天线	232
8.3.1 基本原理与设计步骤	171	10.1.2 内置天线	233
8.3.2 设计要求	174	10.1.3 边框天线	234
8.3.3 CST 设计概述	174	10.1.4 手机天线的发展趋势	235
8.3.4 CST 仿真设计	175	10.2 倒 F 天线(IFA)	236
8.4 思考题	184	10.2.1 IFA 的衍变过程	236
8.5 参考文献	184	10.2.2 IFA 的设计	236
		10.2.3 IFA 的结构参数分析	246
第 9 章 特征模仿真	186	10.3 MIMO 天线与去耦	251
9.1 特征模理论概述	186	10.3.1 MIMO 天线概述	251
9.1.1 坡印廷定理与广义特征值		10.3.2 天线的去耦技术	252
方程	186	10.3.3 MIMO 天线的仿真	
9.1.2 特征模理论的重要参数	188	设计	257
9.1.3 特征模与本征模的区别	189	10.3.4 MIMO 天线的去耦	
9.1.4 CST 中的特征模仿真	191	设计	262
9.2 偶极子天线的模式分析	192	10.4 slot 与手机边框天线	263
9.2.1 偶极子天线设计概述	193	10.4.1 本节概述	263
9.2.2 偶极子天线的特征模		10.4.2 手机边框天线的建模	
仿真设计	195	仿真	265
9.3 微带贴片天线的模式分析	205	10.5 手机天线的 SAR 仿真	282
9.3.1 微带贴片天线设计概述	206	10.5.1 SAR 计算方法	282
9.3.2 微带贴片天线的特征模		10.5.2 SAR 仿真模型的设置	282
仿真设计	207	10.5.3 查看 SAR 结果	285
9.4 圆极化贴片天线的模式分析	212	10.6 思考题	289
9.4.1 圆极化贴片天线设计		10.7 参考文献	290
概述	212		
9.4.2 圆极化贴片天线仿真		第 11 章 周期结构仿真	292
设计	213	11.1 1D 漏波天线	292
		11.1.1 微带漏波天线理论分析	294

11.1.2	漏波天线设计概述	296	12.1.4	CST 仿真设计	329
11.1.3	漏波天线设计	297	12.2	雷达散射截面(RCS)仿真	338
11.2	频率选择表面仿真	311	12.2.1	RCS 概述	338
11.2.1	FSS 单元简介	311	12.2.2	设计实例概述	340
11.2.2	FSS 单元仿真设计	312	12.2.3	CST 仿真设计	341
11.3	基于周期反射表面的高增益天线	316	12.3	思考题	345
11.3.1	Fabry-Perot 谐振腔天线的理论分析	317	12.4	参考文献	346
11.3.2	设计概述	319	第 13 章	基于编程调用 CST 的自动化建模与仿真	347
11.3.3	基于周期反射表面的 Fabry-Perot 高增益天线仿真设计	320	13.1	基于 MATLAB 的调用	347
11.4	总结	325	13.1.1	CST 与 MATLAB 的交互	347
11.5	思考题	325	13.1.2	应用实例——贴片天线建模和仿真	352
11.6	参考文献	326	13.2	基于 Python 的调用	363
第 12 章	散射场仿真	327	13.2.1	Python 环境配置	363
12.1	散射近场的提取	327	13.2.2	CST 与 Python 的交互	364
12.1.1	表面等离子体概述	327	13.2.3	应用实例——贴片天线建模和仿真	366
12.1.2	设计要求	328	13.3	思考题	376
12.1.3	设计实例概述	328			

第 1 章

初识CST

CST 全称为 Computer Simulation Technology，是德国的一家软件开发公司，具备完备的 3D 全波电磁场仿真技术。

CST Studio Suite[®](CST 工作室套装)是 CST 的核心产品，是目前市场上准确、高效的 3D EM 仿真工具之一，包括 CST Microwave Studio[®](CST 微波工作室)、CST Design Studio[®](CST 设计工作室)、CST EM Studio[®](CST 电磁工作室)、CST Particle Studio[®](CST 粒子工作室)、CST PCB Studio[®](CST 印制电路板工作室)、CST Cable Studio[®](CST 电缆工作室)及 CST Mphysics[®] Studio(CST 多物理场工作室)共 7 个子软件，能满足用户从芯片级到系统级的设计需求。其中，CST 微波工作室作为 CST 工作室的旗舰产品，能快速精确地完成高频范围内的电磁仿真任务，极大地提高微波无源器件及天线的设计与分析效率。

1.1

CST 界面与设计流程

CST 的工作界面是所有工作室共同使用的用户界面，是 CST 软件使用者的工作环境。因此，了解 CST 的导航界面、设计流程、工作界面，是掌握 CST 软件的第一步。

1.1.1 CST 导航界面

双击 CST Studio Suite[®]软件图标打开软件，进入 CST 导航界面，如图 1.1 所示。

在图 1.1 中箭头 1 所指区域内，单击图标可以执行以下操作。

- Save: 保存当前文件。
- Save As: 将文件另存为其他文件名。
- Save All: 保存所有文件预览。

➤ Open/Close: 打开/关闭文件。

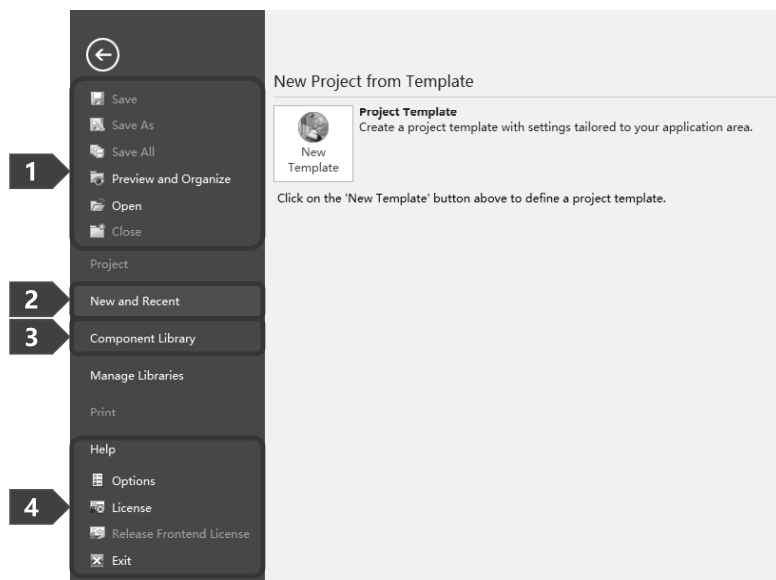


图 1.1 CST 导航界面

在图 1.1 中箭头 2 所指区域内,单击 New and Recent→Recent File,可以快速打开历史工程。单击 New and Recent→Project Template,可以利用工程模板快速创建新工程,如图 1.2 所示。

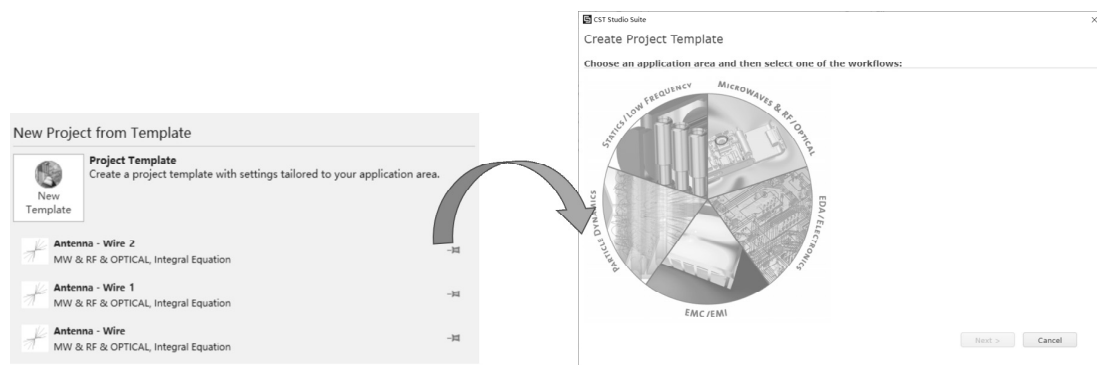


图 1.2 利用工程模板快速创建新工程

在图 1.1 中箭头 3 所指区域内,单击 Component Library,可以打开 CST Studio Suite®的组件库。组件库内包含许多经典模型的教程与示例,如图 1.3 所示。在图 1.3 右上角的搜索栏与左侧标签栏内,可以快速查找所需示例或教程。

在图 1.1 中箭头 4 所指区域内,单击图标可以执行以下操作。

- Help→Help Contents: 打开 CST Studio Suite®帮助文档。
- Options: 打开设置选项卡。
- License: 查阅许可证文件。
- Exit: 退出程序。

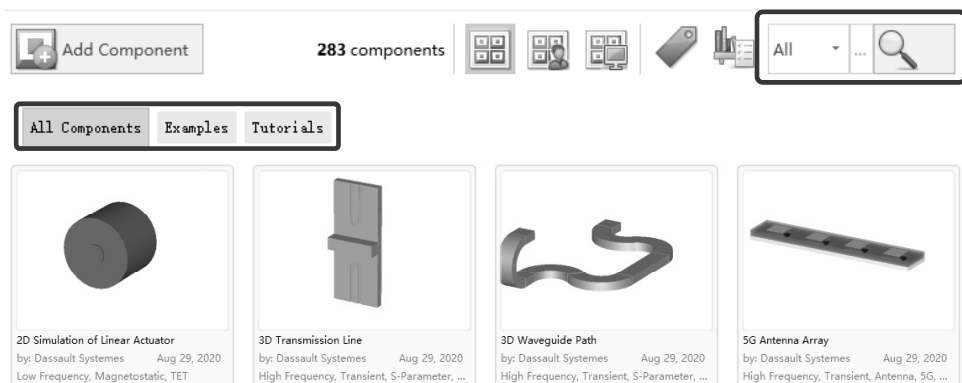


图 1.3 组件库界面

1.1.2 CST 设计流程

利用 CST 微波工作室进行仿真设计的流程如图 1.4 所示。

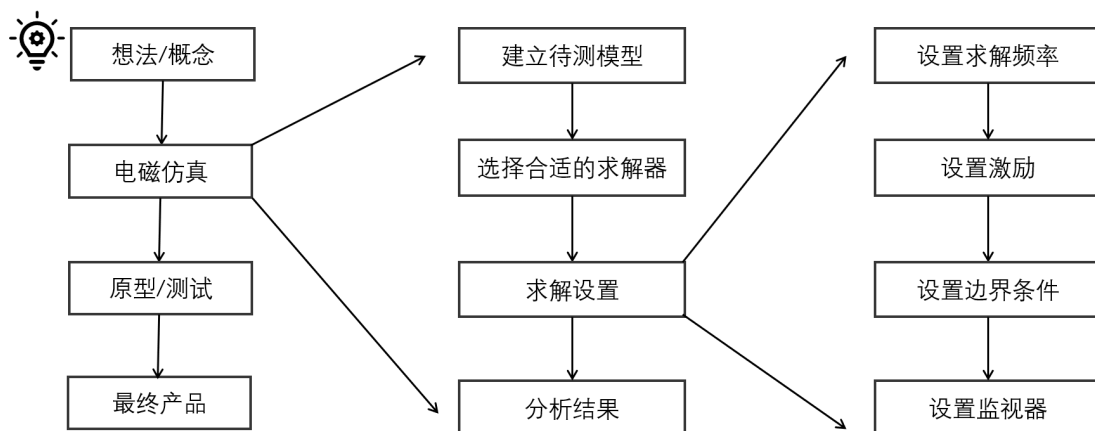


图 1.4 仿真设计流程示意图

CST 微波工作室在设计流程中主要针对生产原型之前的电磁仿真环节。通过仿真计算模型参数，可初步验证该设计是否符合需求，提高原型测试的通过率，进而提高整个设计环节的效率。在电磁仿真环节，最为关键的是求解设置环节，包括以下 4 个步骤：

(1) 设置求解频率。每次仿真都需要在综合效率与准确性两方面设置合理的求解频率范围，通常情况下，求解频段中心点应设置为天线的中心工作频率。

(2) 设置激励。在进行仿真分析之前至少要设置一个激励源作为输入信号激励，CST 微波工作室提供 Discrete Ports(离散端口)、Waveguide Ports(波导端口)、Plane Wave(平面波)和 Field Source(场源)4 种激励源，用于不同类型问题的求解分析。

(3) 设置边界条件。计算机只能对有限空间内的电磁问题进行求解，故使用 CST 微波工作室进行仿真时，需要设置合适的边界条件将求解范围限定在有限空间内。

(4) 设置监视器。在仿真过程中，由于场结果较为复杂，记录所有频点上的场结果是不现实的，因而需要在仿真开始前提前选取一个或多个有代表性的频点，以使监视器可实现这些频

点上仿真结果的保存、查看及分析。

1.1.3 CST 工作界面概览

CST 工作界面如图 1.5 所示，整个界面包含主菜单、工具栏、导航树、3D 模型窗口、参数列表、结果导航窗口、消息窗口和进度窗口。

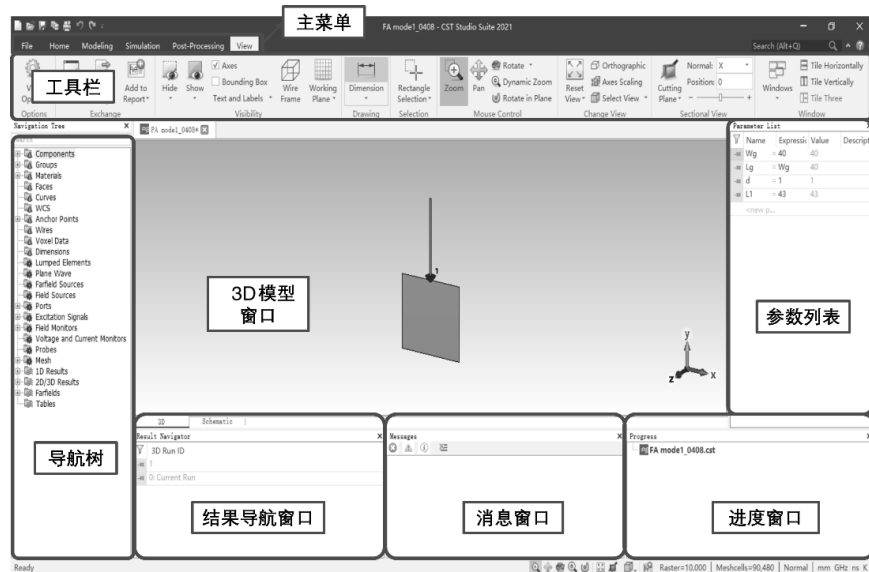


图 1.5 CST 工作界面

1.2 主菜单及工具栏

主菜单位于 CST 工作界面的最上方，包括 File(后台视图)、Home(主菜单)、Modeling(建模)、Simulation(仿真)、Post-Processing(后处理)和 View(视图)共 6 个选项卡，每个选项卡各自对应一个工具栏，这些工具栏中包含了 CST 所有的操作命令。下面介绍不同工具栏的主要功能。

1.2.1 File 选项卡

File 选项卡(后台视图)是一种特殊的视图，它提供了许多传统的文件菜单命令用于管理 CST 工程设计文件，包括项目文件的保存、打开、关闭、新建、项目管理、组件库、打印和帮助等。File 选项卡包含的操作命令及简要描述如图 1.6 所示。

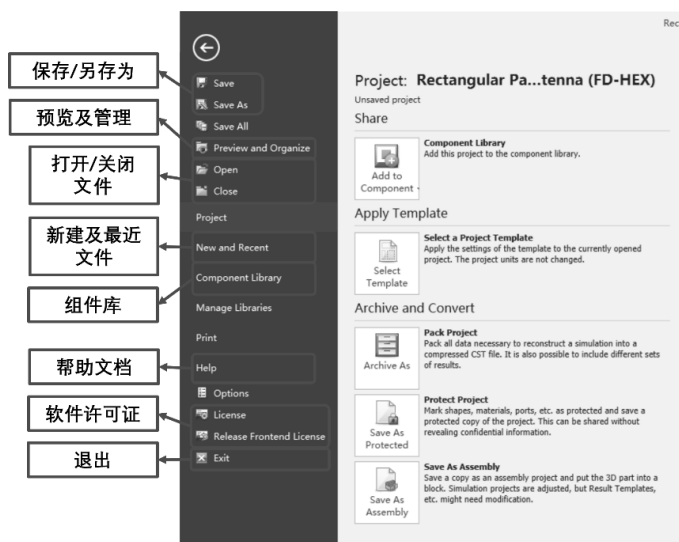


图 1.6 File 选项卡界面

1.2.2 Home 选项卡

Home 选项卡(主工具栏)包含一系列全局的和常用的命令，简要描述如图 1.7 所示。

Home 选项卡中部分操作命令的说明如下。

- **Clipboard:** 进行复制、粘贴和删除操作。
- **Units Settings:** 进行 3D 建模的单位设置。
- **Simulation:** 进行包括仿真工程、求解器设置、开始仿真、优化器和参数化扫频等仿真操作。
- **Mesh:** 进行选择网格视图以及编辑网格属性操作。
- **Edit:** 进行编辑模型属性、历史操作列表、计算器、参数更新、参数设置和求解类型等操作。
- **Report:** 收集和管理 CST 日常的结果图并生成报告文档。
- **Macros:** 使用宏进行一般任务的自动化。



图 1.7 Home 选项卡界面

1.2.3 Modeling 选项卡

Modeling 选项卡(建模工具栏)包含 CAD 导入/导出、材料定义及建模操作等多种操作命令，

简要描述如图 1.8 所示。

Modeling 选项卡(建模工具栏)中部分操作命令的说明如下。

- **Exchange:** 使用 CAD 导入/导出模型。
- **Materials:** 进行环境材料属性设置、加载材料库、定义新材料等操作。
- **Shapes:** 进行创建基本几何体模型操作, 包括圆柱、球体、方体、椭圆、拉伸几何体、锥形、环面、旋转体等基本几何体。
- **Tools:** 进行包括 Transform、Align、Blend、Boolean、Bend Tools、Modify Locally 和 Shapes Tools 等建模形状操作。
- **Curves:** 进行创建 2D 曲线、创建 3D 曲线、倒角和裁剪、弯曲曲线以及扫描曲线等曲线操作。
- **Picks:** 进行点、边、面的选取, 查看选取列表, 清空选取等操作。
- **Edit:** 进行编辑模型属性、历史操作列表、计算器、参数更新、参数设置等操作。
- **WCS:** 对 Local WCS(工作坐标系)进行 Transform、Align、Fix 的操作。



图 1.8 Modeling 选项卡界面

1.2.4 Simulation 选项卡

Simulation 选项卡(仿真工具栏)包含仿真前频率、背景、边界的设置, 激励源和负载的设置, 监视器的设置, 求解器的选择及网格的设置等多种操作命令, 简要描述如图 1.9 所示。

Simulation 选项卡中部分操作命令的说明如下。

- **Settings:** 进行仿真前的上下截止频率设置、背景属性设置、边界条件设置等操作。
- **Sources and Loads:** 进行激励端口和负载设置。
- **Monitors:** 定义时间或频率监视器, 以查看模型结构的电磁场分布情况。
- **Solver:** 进行包括求解器设置、优化器和参数化扫频等仿真操作。
- **Mesh:** 进行网格视图的选择、网格属性的编辑操作。
- **Check:** 进行检查模型横断、电连接等操作。



图 1.9 Simulation 选项卡界面

1.2.5 Post-Processing 选项卡

利用 Post-Processing 选项卡(后处理工具栏)可以可视化各种仿真计算的结果, 这些结果汇总在 Navigation Tree(导航树)的结果文件夹下。Post-Processing 选项卡包含的操作命令及简要描述如图 1.10 所示。

Post-Processing 选项卡中部分操作命令的说明如下。

- **Exchange:** 仿真结果数据的导入和导出。
- **Signal Post-Processing:** 进行 1D 仿真结果的后处理操作。
- **2D/3D Field Post-Processing:** 进行 2D/3D 仿真结果的后处理操作。
- **Tools:** 选择仿真结果的后处理模板。
- **Manage Results:** 进行管理仿真的结果操作。



图 1.10 Post-Processing 选项卡界面

1.2.6 View 选项卡

利用 View 选项卡(视图工具栏)可以对项目相关的数据进行可视化操作。3D 视图显示 3D 模型, 同时可以展示与仿真设置相关的其他信息, 如边界条件、网格属性和结果数据。原理图视图通过子模型的逻辑连接来显示 2D 模型。绘图视图显示 1D 仿真结果数据。宏视图是一个编辑器窗口, 可以处理用于自动化任务的宏。View 选项卡包含的操作命令及简要描述如图 1.11 所示。

View 选项卡中部分操作命令的说明如下。

- **Options:** 对绘图平面进行包括常规设置、颜色设置、线条设置、箭头设置等命令操作。
- **Exchange:** 对绘图平面视图进行复制、导出等操作。
- **Visibility:** 对模型物体及其相关仿真信息(如边界条件、平面网格)进行可视化操作。
- **Drawing:** Dimension 标注显示 3D 模型的角度和距离。
- **Selection:** Rectangle Selection 根据对象位置选择对象。
- **Mouse Control:** 使用鼠标与快捷键进行视图选项操作。
- **Change View:** 进行更改绘图平面的视图操作。
- **Sectional View:** 进行查看 3D 模型剖视图操作。
- **Window:** 进行选择工作界面窗口排版操作。

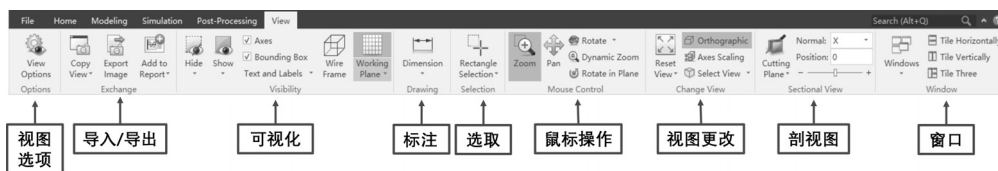


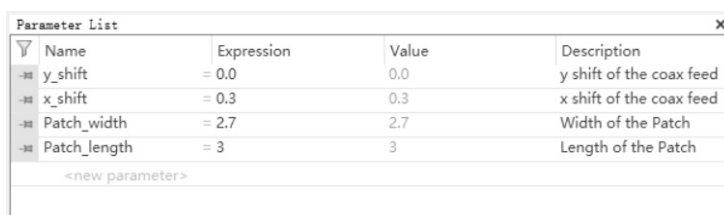
图 1.11 View 选项卡界面

1.3 子窗口

CST 的子窗口有 Parameter List(参数列表)、Progress(进度)、Messages(消息)、Result Navigator(结果导航器)、Navigation Tree(导航树)等。通过这些子窗口,用户可以方便地更改变量值、监控仿真进程及快速查看仿真结果。

1.3.1 Parameter List

Parameter List(参数列表)如图 1.12 所示,其直观显示了变量名、变量值及变量的描述。用户可以在此窗口直接定义、修改和删除变量,在此窗口修改变量值后将会更新模型结构。



Name	Expression	Value	Description
y_shift	= 0.0	0.0	y shift of the coax feed
x_shift	= 0.3	0.3	x shift of the coax feed
Patch_width	= 2.7	2.7	Width of the Patch
Patch_length	= 3	3	Length of the Patch
<new parameter>			

图 1.12 参数列表

1.3.2 Progress

Progress(进度窗口)如图 1.13 所示。用户可以通过它直观地查看项目仿真的进度,同时可以选择暂停或者终止该项目仿真进程。

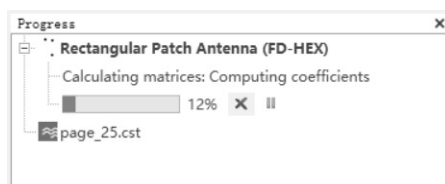


图 1.13 进度窗口

1.3.3 Messages

Messages(消息窗口)如图 1.14 所示,其提供了项目仿真的进程消息、警告消息及报错消息。用户在该窗口可以切换显示进程消息、警告消息、报错消息,也可以清除所有消息。

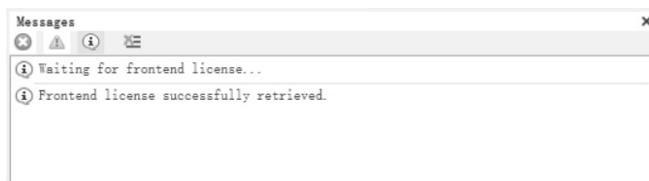


图 1.14 消息窗口

1.3.4 Result Navigator

Result Navigator(结果导航器窗口)如图 1.15 所示, 其能显示所有参数和对应结果的组合, 在求解器运行、参数扫描或优化器计算期间, 栅格数据会自动更新。每一组参数组合都与计算结果期间生成的唯一运行 ID 相关, 如果选择一个或多个 ID, 将在 1D Plot 视图中显示相应的曲线。

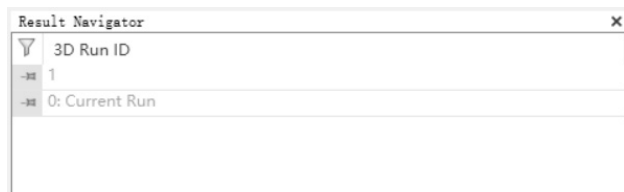


图 1.15 结果导航器窗口

1.3.5 Navigation Tree

Navigation Tree(导航树窗口)如图 1.16 所示, 其允许用户在程序的不同视图之间切换, 视图控制显示主窗口的内容。它按照文件夹和项目排序, 类似于硬盘上的文件。

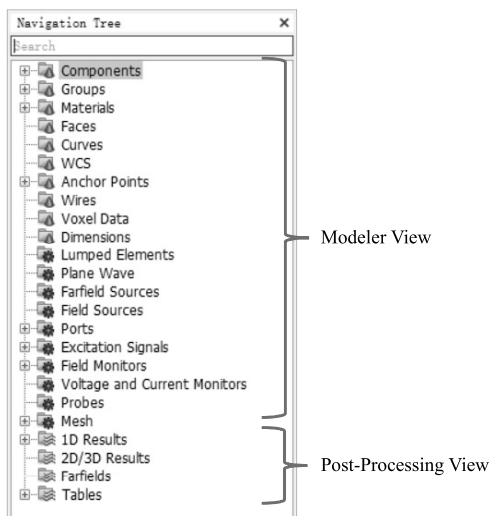


图 1.16 导航树窗口

1.4 思考题

1. 请尝试利用工程模板创建贴片天线仿真工程, 并简述其中各项设置的内容及含义。
2. 在进行参数化建模时, 用户常需要更改变量数值, 请打开组件库中的任意工程, 尝试用 Parameter List 改变变量数值。