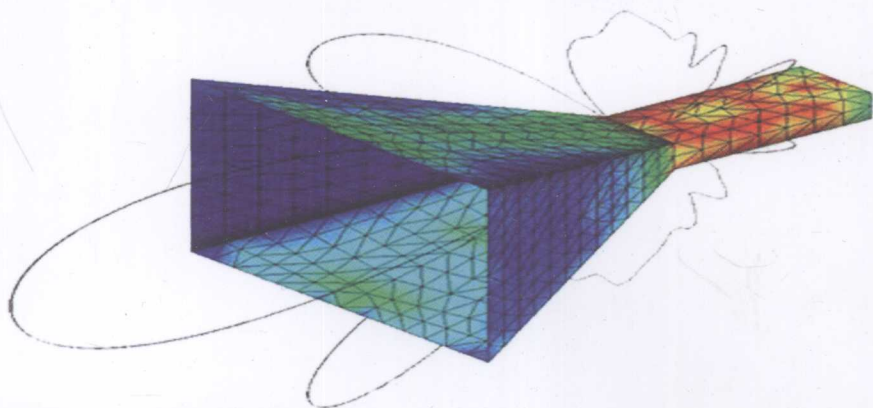


万水CAE技术丛书



ANSOFT 12

赵博 张洪亮 等编著

Ansoft 12

在工程电磁场中的应用

电磁理论到应用的完美解读

浓缩多年Ansoft实战分析经验

从实例学Ansoft更轻松

赠1CD



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

0441.4-39

3

万水 CAE 技术丛书

Ansoft 12 在工程电磁场中的应用

赵博 张洪亮 等编著

附光盘一张另存



重庆科技学院图书馆



1318827



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面系统地介绍 Ansoft Maxwell 的使用。本书分为三篇：第 1 篇为 Ansoft 的二维求解过程，介绍 Ansoft 12 的二维各求解器模块的基本知识和建模流程，在每个求解器模块的介绍中都按照功能和计算对象不同分成章节，并给出贴近工程实际的案例。第 2 篇介绍 Ansoft Maxwell 12 三维求解器的使用，同样在该部分中结合实际工程，给出各个三维求解器下的学习例程。上述两部分涉及到静磁场、静电场、交直流传导电场、瞬态电场、涡流场、瞬态磁场等基本电磁求解模块。第 3 篇针对 RMXprt 旋转电机分析专家系统，给出三相感应电机例程，从磁路的角度介绍电机专家系统的应用。本书一改软件参考书的编写方式，所有模型均来自于实际工程，从模型建立、激励源施加、边界条件给定到后期的场图提取均围绕着实际工程模型。读者不但能够迅速掌握 Ansoft Maxwell 操作方法，而且能对具体的工程问题进行独立的分析。此外，本书赠送模型和结果文件光盘，以最大限度地提高读者的学习效率。

本书可作为理工科院校相关专业的高年级本科生、研究生学习 Ansoft Maxwell 的教材，也可作为广大工程技术人员和科研工作者使用 Ansoft 的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

Ansoft 12 在工程电磁场中的应用 / 赵博等编著. —
北京：中国水利水电出版社，2013.4
(万水CAE技术丛书)
ISBN 978-7-5170-0572-8

I. ①A… II. ①赵… III. ①电磁场—有限元分析—
应用软件 IV. ①O441.4-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第011832号

策划编辑：杨元泓 责任编辑：宋俊娥 封面设计：李 佳

书 名	万水 CAE 技术丛书 Ansoft 12 在工程电磁场中的应用
作 者	赵 博 张洪亮 等编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话：(010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话：(010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	永清县晔盛亚胶印有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 23 印张 566 千字
版 次	2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	79.80 元 (赠 1CD)

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

Ansoft Maxwell 作为世界著名的商用低频电磁场有限元软件之一,在各个工程电磁领域都得到了广泛的应用。它基于麦克斯韦微分方程,采用有限元离散形式,将工程中的电磁场计算转变为庞大的矩阵求解,在保证其计算的准确性和快捷性的前提下,新版软件在操作界面上做了极大的调整,更加符合 Windows 操作习惯,其中工程树和右键菜单都给使用者耳目一新的感觉。除了界面上的创新,新版 Ansoft 还具有分布式计算和并行计算的优点,以从容面对日益增大的仿真模型,此外还添加了瞬态电磁计算等新功能。Ansoft 不仅可以对单个电磁机构进行数值计算,还可以对整个系统进行联合仿真。作为我国引入较早的一款电磁场有限元软件,其使用领域遍及电器、机械、石油化工、汽车、冶金、水利水电、航空航天、船舶、电子、核工业、兵器等众多行业,为各领域的科学研究和工程应用做出了巨大的贡献。

本书全面系统地介绍 Ansoft Maxwell 12 的基本使用方法。本书共分为三篇:第 1 篇介绍二维有限元基本原理,接着按照功能模块分类的形式以及各个模块的应用范围配备实际的工程模型,尽量做到将复杂的软件应用与工程实例相结合。其中包括二维模型建立、静磁场、涡流场、瞬态磁场、静电场和交直流传到电场等内容。第 2 篇介绍三维电磁场的应用,同样结合三维实际工程模型,将难以理解的三维电磁理论通过 Step by Step 的方式进行描述,本书的例程都来自工程和科研的实践,一改实例简单且与实际工程脱节的现状。第 3 篇介绍 RMXprt 旋转电机分析专家模块,该模块能分析较多的电机种类,通过对实际应用中的一台三相异步电机的分析,介绍 RMXprt 模块的应用。希望通过本书的学习,读者不仅可以初步掌握 Ansoft Maxwell 12,而且可以针对不同的实际问题迅速准确地建立其数值计算模型。

读者对象

本书可作为理工院校相关专业的高年级本科生、研究生学习 Ansoft Maxwell 12 版软件的教材,也可作为广大工程技术人员和科研工作者掌握 Ansoft Maxwell 的参考书。

本书特色

- 本书的基础和实例详解并重,既是 Ansoft Maxwell 12 初学者的学习教材,也可作为对 Ansoft Maxwell 12 有一定了解的用户制定工程问题分析方案、精通高级前后处理与求解技术的参考书。
- 注重理论和实际相结合,书中的例子均是来自实际应用。有限元软件的应用难点是如何将实际工程分解成各个对应的 Ansoft 分析模块,通过分析各个功能模块中的模型,将复杂的实际工程模型转变为简单的问题。
- 有限元软件的使用有一定的技巧,而使用技巧的积累需要经验积累,笔者将许多应用技巧融汇于工程实例中,通过潜移默化的方式使读者在学习过程中更规范、更准确地应用 Ansoft 来实现分析。
- 在本书例子的选取方面,尽量采用实际生产领域中的模型,以往的软件学习书籍多

采用自带模型，这类模型虽能描述主要功能，但多与实际工程脱节。本书一改这种写作风格，将高深的学术理论弱化，突出 Ansoft 在实际中的应用过程，侧重于利用 Ansoft 协助分析和解决问题。

- 本书中所有的例子都可以按照书中给出的步骤实现，本书的模型和结果文件也随书光盘一起赠送，以最大限度地提高读者的学习效率。

分工与致谢

本书由哈尔滨工业大学的赵博和张洪亮共同编写，具体分工如下：赵博负责本书的框架构思及第 1、3、6~8 和 10~12 章的编写和统稿工作，张洪亮编写本书的第 2、4、5、9 章，最后还需要感谢 <http://www.simol.cn> 西莫论坛中的各位朋友，书中的一部分例子出自西莫论坛。在本书的编写过程中，参与具体工作的还有：陈洪军、余伟炜、王呼佳、许志清、刘军华、夏惠军、张赛桥、张代全、万雷、王斌、江广顺、李强、吴志俊、余松、郭敏、董茜、陈鲲、王晓。最后还要感谢中国水利水电出版社老师的辛苦付出，正是他们辛苦的付出，才使本书能在第一时间和读者见面。

由于时间仓促，作者水平有限，书中错误、纰漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2009 年 10 月

目 录

前言

第 1 篇 Ansoft 二维分析技术

第 1 章 Maxwell 2D 快速上手	2
1.1 初识 Maxwell 2D 的界面环境	2
1.2 Maxwell 2D 的模型绘制	4
1.2.1 曲线模型的绘制	5
1.2.2 曲面模型的绘制	9
1.3 Maxwell 2D 的材料管理	11
1.3.1 常用硅钢片材料的添加	12
1.3.2 永磁材料的添加	16
1.4 Maxwell 2D 的边界条件和激励源	18
1.4.1 Maxwell 2D 的边界条件	18
1.4.2 Maxwell 2D 的激励源设置	24
1.5 Maxwell 2D 的网格剖分和求解设置	31
1.5.1 Maxwell 2D 的网格剖分设置	31
1.5.2 Maxwell 2D 的求解设置	35
1.6 Maxwell 2D 的后处理操作流程	40
1.6.1 求解场图的查看	40
1.6.2 路径上场量的查看	43
1.6.3 场计算器的应用	44
1.7 本章小结	46
第 2 章 二维电磁场理论和有限元基础	47
2.1 二维电磁场基本理论	47
2.1.1 麦克斯韦方程	47
2.1.2 位函数及其微分方程	48
2.1.3 电磁场中的边界条件	50
2.2 二维有限元计算方法	51
2.2.1 二维有限元法	51
2.2.2 电磁场求解后处理	55
2.3 Maxwell 2D 静磁场分析	56
2.3.1 静磁分析理论	56
2.3.2 磁链与电感矩阵的计算	57
2.3.3 静磁力和力矩的计算	59
2.4 Maxwell 2D 涡流场分析	59

2.4.1 涡流分析理论	59
2.4.2 涡流与集肤效应	60
2.4.3 涡流分析中的阻抗矩阵	61
2.4.4 涡流分析中的力和力矩	63
2.5 Maxwell 2D 瞬态磁分析	64
2.5.1 瞬态磁分析理论	64
2.5.2 铰链导体	64
2.5.3 实体导体	65
2.6 认识 Ansoft 电磁场求解器	65
2.7 本章小结	67
第 3 章 Ansoft 二维电场分析	68
3.1 二维静电场 (Electrostatic) 应用	68
3.1.1 工程模型描述	68
3.1.2 电缆接口模型的前处理	69
3.1.3 电缆接头模型的计算和后处理	76
3.2 交流传导电场 (AC Conduction) 应用	79
3.2.1 电缆接头模型前处理	79
3.2.2 电缆接头模型后处理	81
3.3 直流传导电场 (DC Conduction) 应用	83
3.3.1 电缆接头模型前处理	84
3.3.2 电缆接头模型后处理	87
3.4 本章小结	90
第 4 章 二维稳态磁场的求解	91
4.1 永磁同步电机静磁场分析实例	91
4.1.1 问题描述	91
4.1.2 创建项目	91
4.1.3 构建几何模型	95
4.1.4 材料定义及分配	104
4.1.5 激励源与边界条件定义及加载	109
4.1.6 求解选项参数设定	111
4.1.7 后处理	113
4.1.8 保存结果退出	118

4.2 感应电机涡流场分析实例.....119	5.2 无刷直流电机负载瞬态磁场分析实例.....153
4.2.1 问题描述.....119	5.2.1 问题描述.....153
4.2.2 创建项目.....119	5.2.2 控制电压电路设置.....154
4.2.3 构建模型.....119	5.2.3 电机驱动主回路电路设置.....159
4.2.4 材料属性分配.....123	5.2.4 电机电路设置.....163
4.2.5 激励与边界条件.....124	5.2.5 电路与有限元连接.....166
4.2.6 求解设定.....126	5.2.6 机械运动设置.....168
4.2.7 求解观察.....127	5.2.7 机械稳态后处理.....169
4.2.8 结果保存.....129	5.2.8 机械瞬态后处理.....171
4.3 本章小结.....129	5.2.9 保存结果退出.....174
第5章 二维瞬态磁场的分析.....130	5.3 圆筒直线永磁电机瞬态磁场分析实例.....174
5.1 无刷直流电机空载瞬态磁场分析实例.....130	5.3.1 问题描述.....175
5.1.1 问题描述.....130	5.3.2 创建项目.....175
5.1.2 创建项目.....131	5.3.3 创建电机几何模型.....176
5.1.3 创建电机几何模型.....131	5.3.4 材料定义及分配.....179
5.1.4 材料定义及分配.....135	5.3.5 激励源与边界条件定义及加载.....180
5.1.5 激励源与边界条件定义及加载.....137	5.3.6 运动选项设置.....183
5.1.6 运动选项设置.....141	5.3.7 求解选项参数设定.....184
5.1.7 求解选项参数设定.....142	5.3.8 求解及后处理.....186
5.1.8 求解及后处理.....144	5.3.9 保存结果退出.....189
5.1.9 保存结果退出.....153	5.4 本章小结.....189

第2篇 Ansoft 三维电磁场的应用

第6章 Maxwell 3D 使用基础.....192	7.2 三维电磁场计算原理.....221
6.1 Maxwell 3D 的模型绘制.....192	7.2.1 三维电场计算原理.....221
6.1.1 实体模型的绘制.....192	7.2.2 三维静磁场计算原理.....221
6.1.2 实体模型的绘制.....195	7.2.3 三维涡流场计算原理.....222
6.2 Maxwell 3D 的求解器和材料库.....201	7.2.4 三维瞬态场计算原理.....223
6.3 Maxwell 3D 的激励源和边界条件.....201	7.3 本章小结.....224
6.4 Maxwell 3D 的网格剖分和求解设置.....207	第8章 Ansoft 三维电场应用.....225
6.5 Maxwell 3D 的后处理操作.....211	8.1 三维静电场的使用.....225
6.5.1 三维物体内的场图绘制.....211	8.1.1 三维模型的绘制.....225
6.5.2 已知路径上的场图绘制.....214	8.1.2 激励源和边界条件设定.....228
6.6 本章小结.....215	8.1.3 剖分和求解设定.....229
第7章 三维电磁场有限元基础.....216	8.1.4 静电场后处理场图查看.....230
7.1 三维网格剖分单元和系数矩阵建立.....216	8.2 三维直流传导电场使用.....231
7.1.1 三维网格剖分单元类型.....216	8.3 三维瞬态电场的使用.....236
7.1.2 四面体单元类型的基函数.....217	8.3.1 三维实体模型绘制.....236
7.1.3 基于四面体单元的系数矩阵.....220	8.3.2 激励源设定和网格设定.....237

8.3.3 求解设定和后处理	240	10.1.1 问题描述	267
8.4 本章小结	243	10.1.2 三维鼠笼电机模型建立	267
第9章 三维静磁场应用	244	10.1.3 在 Maxwell 3D 界面内建模	268
9.1 平板型直线永磁电机 3D 静磁场分析	244	10.1.4 使用自带快速建模工具建模	277
9.1.1 问题描述	244	10.1.5 利用三维机械 CAD 软件建模	283
9.1.2 创建项目	245	10.2 鼠笼型感应电动机材料和激励添加	285
9.1.3 创建电机几何模型	245	10.2.1 三维鼠笼电机材料的添加	285
9.1.4 材料定义及分配	249	10.2.2 三维鼠笼电机激励源和边界条件	290
9.1.5 激励源与边界条件定义及加载	251	10.3 鼠笼型感应电动机参数和求解设置	296
9.1.6 求解选项参数设定	252	10.4 鼠笼型感应电动机计算结果及后处理	297
9.1.7 后处理	254	10.5 本章小结	302
9.2 三维静磁场中的参数化求解	259	第11章 Ansoft 三维瞬态磁场应用	303
9.2.1 三维线圈参数建模	260	11.1 电磁失电制动器三维实体建模	303
9.2.2 三维线圈参数化激励源施加	262	11.1.1 电磁失电制动器工作背景	303
9.2.3 三维线圈材料给定	263	11.1.2 电磁失电制动器三维模型建立	304
9.2.4 三维线圈参数化求解	264	11.2 电磁失电制动器材料和激励给定	311
9.2.5 三维线圈电感参数计算结果	266	11.3 电磁失电制动器剖分和求解设定	320
9.3 本章小结	266	11.4 电磁失电制动器瞬态计算结果	325
第10章 Ansoft 三维涡流场应用	267	11.5 本章小结	328
10.1 鼠笼型感应电动机三维模型建立	267		

第3篇 Ansoft 旋转电机分析

第12章 RMXprt 电机性能分析	330	12.2 RMXprt 与 Maxwell 2D/3D 的耦合	348
12.1 RMXprt 在三相异步电动机中的应用	330	12.2.1 RMXprt 导入至 Maxwell 2D	
12.1.1 工程模型描述	331	有限元模块	349
12.1.2 RMXprt 使用前的准备工作	332	12.2.2 RMXprt 导入至 Maxwell 3D	
12.1.3 Y160M-4 电机的参数设定	333	有限元模块	351
12.1.4 Y160M-4 电机的仿真设定	344	12.3 RMXprt 模块下的参数分析	352
12.1.5 Y160M-4 电机的计算及结果察看	345	12.4 本章小结	359

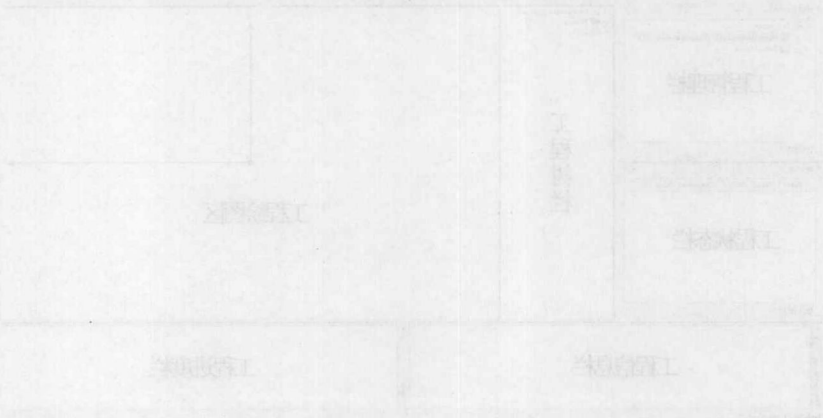
本章要点

本章主要介绍 Maxwell 2D 的基本原理和应用范围。通过工程实例讲解二维模型建立、静磁场、涡流场、瞬态磁场、静电场和交直流传导电场等方面的分析技术。

第 1 篇 Ansoft 二维分析技术

本章要点

本篇从二维有限元基本原理开始讲起，按照功能模块分类的形式以及各个模块的应用范围配备实际的工程模型，尽量做到将复杂的软件应用与工程实例相结合。本篇通过工程实例讲解二维模型建立、静磁场、涡流场、瞬态磁场、静电场和交直流传导电场等方面的分析技术。



第 1 章 Maxwell 2D 快速上手

本章导读:

Ansoft 12 有限元计算软件,在不同的计算模块中有不同的计算侧重点,但作为有限元软件,其计算流程和绘制模型、材料添加、后处理等操作又具有很大程度的相似性。本章将相似性较高的部分取出,单独成章,方便阅读和查阅,而不具备通用性的内容则尽量在各相关章节给予说明。

本章要点:

- 认识 Maxwell 2D 的界面环境
- Maxwell 2D 的模型绘制
- Maxwell 2D 的材料管理
- Maxwell 2D 的边界条件和激励源
- Maxwell 2D 的网格剖分和求解设置
- Maxwell 2D 的后处理操作流程

1.1 初识 Maxwell 2D 的界面环境

Maxwell 2D 界面与上一版本相比较改动较大,基本上已经颠覆了老版本的界面和操作方式。对于部分 Ansoft 老用户来讲,需要重新熟悉新版本的操作。本章首先介绍操作界面,如图 1-1 所示是 Maxwell 2D 的操作界面。在菜单工具栏下,主要有 6 个工作区域。

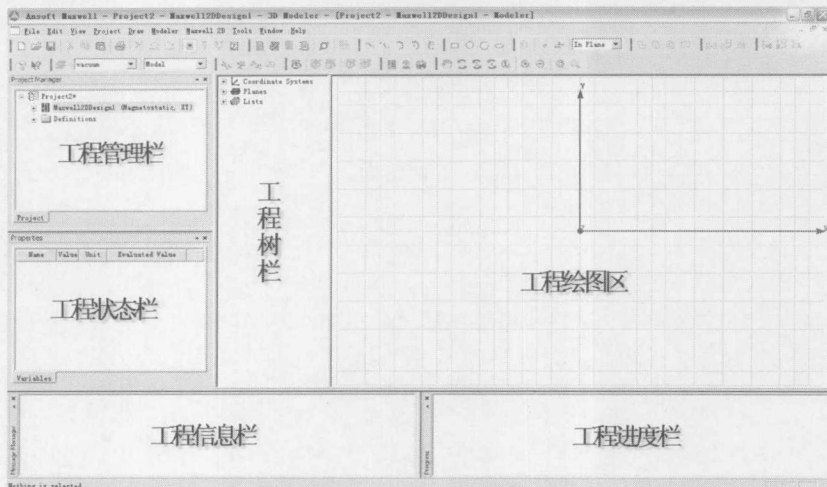


图 1-1 Maxwell 12 2D 操作界面

左侧为工程管理栏，可以管理一个工程文件中的不同部分或管理几个工程文件。下方为工程状态栏，在对某一物体或属性操作时，可在此看到操作的信息。最下方并排的是工程信息栏，该栏显示工程文件在操作时的一些详细信息，例如警告提示、错误提示、求解完成等信息。在旁边的工程进度栏内主要显示的是求解进度、参数化计算进度等，该进度信息通常会用红色进度条表示完成的百分比。在屏幕中部是工程树栏，在此可以看到模型中的各个部件及材料属性、坐标系统等关键信息，也方便用户对其进行分别管理。在操作界面最右侧较大区域为工程绘图区，用户可以在此绘制要计算的模型，也可以在此显示计算后的场图结果和数据曲线等信息。绘图时带有笛卡尔坐标系和绘图网格，方便用户绘制模型。

如果读者不小心在操作中将这几个区域给关闭了，还可以在 View 菜单栏中将其对应项前的对号勾上，则对应的区域会重新显示出来，如图 1-2 所示。

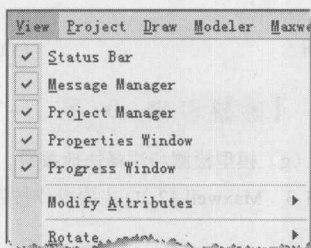


图 1-2 View 菜单下恢复操作区域

在界面的主菜单下，有两至三排的快捷按钮，如图 1-3 所示。下面介绍主要操作按钮。

当然，还有其他一些未说明的操作按钮，在不同操作状态下软件会自动显示可以使用的操作按钮，不可使用的功能操作按钮则会显示为灰色。这些快捷按钮在下拉菜单栏中都有相应的位置，也可以通过下拉菜单进行操作。

在图 1-3 (a) 中的三个图标，从左至右分别为新建 Maxwell 2D 工程、新建 RMxprt 工程和新建 Maxwell 3D 工程。

图 1-3 (b) 中的是常用快捷按钮，有新建、打开、保存和打印等常用功能按钮。

图 1-3 (c) 中是常用视图操作按钮，有视图移动、旋转、缩放和全局视图等按钮。

图 1-3 (d) 中的是常用绘图按钮，分为常用绘制线段、曲线、圆、圆弧和函数曲线按钮，以及常用绘制面的按钮，分为矩形面、圆面、正多边形面和椭圆面几个快捷按钮。

图 1-3 (e) 是材料快捷按钮，在绘制模型前，可以单击下拉菜单事先选择好所绘模型的材料，方便按照材料进行模型绘制分组，软件默认的是真空材料。

图 1-3 (f) 是相对坐标系快捷按钮，对于永磁体充磁和特殊几何模型绘制时需要采用局部坐标系，通过使用快捷按钮可以将坐标系移动和旋转，从而生成新的局部坐标系。

图 1-3 (g) 是模型检测、求解和书写注释等按钮。在求解模型前，建议用户要先检测一下模型，看是否有错误和警告，以便在求解前排除问题，此外，还可以对所计算的模型书写备忘录，在大批量计算近似模型时，书写备忘录是个很不错的选择，方便用户查找和记录工程之间的差别。

好的软件都具备一套完善的帮助文档，Maxwell 12 也是这样，单击在主界面的 Help 菜单下的 Contents 项或直接在键盘上按下 F1 键，软件会自动弹出如图 1-4 所示的实时帮助文档，

该文档不仅包括 2D 内容，还有 RMxprt 和 Maxwell 3D 两部分的帮助文档。对于新用户来讲，这个帮助文档是最好的培训教材，建议用户熟悉该文档的结构和相关内容。同时该帮助文档还支持关键词查询和索引等检索方式，也大大减少了用户花费在查询上的时间。

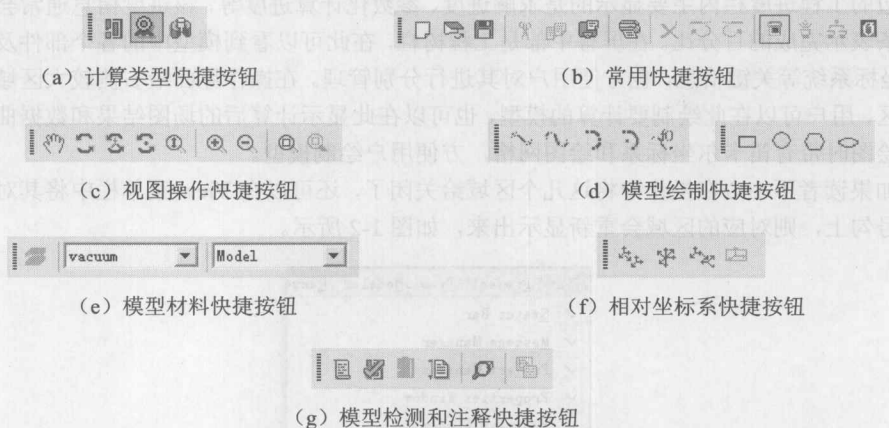


图 1-3 Maxwell 12 2D 主要操作按钮

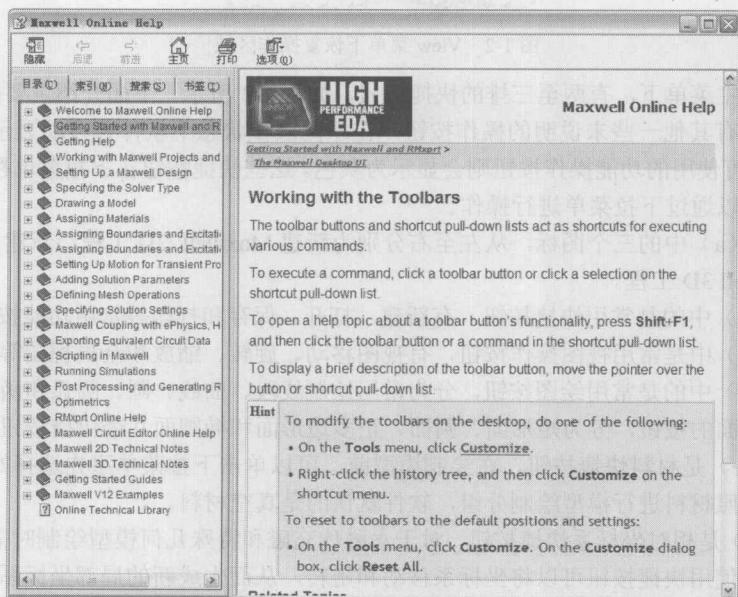


图 1-4 Maxwell 12 帮助菜单

1.2 Maxwell 2D 的模型绘制

在 2D 的新版本的绘图部分已经更改了许多地方，这也需要用户花费更多的时间来熟悉和

适应新版本的模型绘制体系。绘制二维模型时，可以采用快捷按钮绘图，也可以采用下拉菜单绘制，两者的效果是相同的，如图 1-5 所示。

在图 1-5 所示的绘图菜单栏中，自上而下分别为绘制线段、绘制曲线、绘制圆弧和绘制函数曲线；绘制矩形面、绘制椭圆面、绘制圆面和绘制正多边形面域；沿路径扫描，插入已有模型；绘制面、绘制点；插入多段线等操作选项，最后灰色的按钮是创建域，多用来绘制求解域等。

在讲解模型绘制前，需要事先介绍软件的默认坐标系和模型绘制方式。图 1-6 所示是在屏幕右下角的模型绘制坐标系，无论绘制线段还是圆弧，都可以在此对话框中输入给定的坐标，因为软件采用的是 2D 和 3D 在同一个绘图区，所以在绘制 2D 模型时 Z 方向上的量可以恒定为 0，仅输入 X 和 Y 方向上的坐标数据即可。在三个方向上数据栏后有两个下拉菜单，第一个为绘制模型时的坐标，默认是采用 Absolute 绝对坐标，也可以通过下拉菜单将其更换为相对坐标，后一个操作会认为前一个绘图操作的结束点为新相对坐标点起点。后一个下拉菜单是坐标系统的选择，共有三种常用坐标系统，分别是 Cartesian 直角坐标系、Cylindrical 柱坐标系和 Spherical 球坐标系。当绘制的模型形状不一时，可以根据需要更换不同的坐标系。软件默认的是直角坐标系。

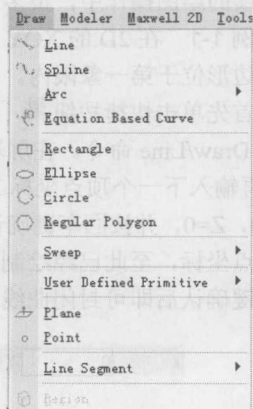


图 1-5 Maxwell 12 绘图菜单

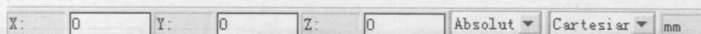


图 1-6 Maxwell 12 模型绘制坐标系

1.2.1 曲线模型的绘制

在绘制曲线模型时，系统默认的是将封闭后的曲线自动生成面，如果用户不想让其自动生成面，可以在绘制曲线模型前，执行 Tools/Options/Modeler Options 命令，更改绘图设置，如图 1-7 所示。单击 Modeler Options 后，会自动弹出如图 1-8 所示的界面。

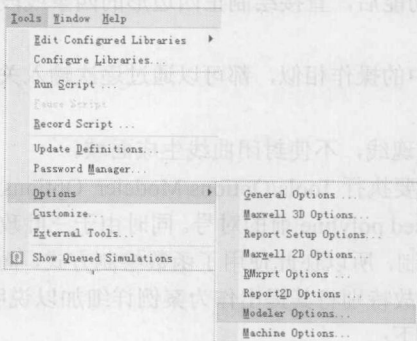


图 1-7 模型绘制选项

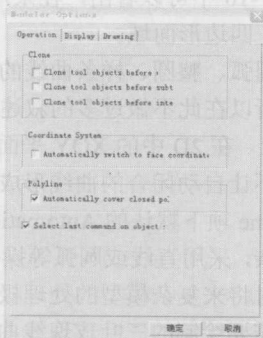




图 1-8 模型绘制选项卡

选择 Operation 选项卡，并将 Polyline 项下默认的 Automatically cover closed polyline 项前

的对号去掉, 去掉对号后, 单击“确定”按钮退出, 系统将不再对封闭的曲线强制生成面了。在后续的绘图操作中, 很多地方都需要事先将该选项屏蔽掉, 还请读者对此多多留意。

例 1-1 在 2D 的 XOY 平面内绘制正四边形, 边长等于 10 mm, 起点坐标为原点(0,0,0), 正四边形位于第一象限内。

首先单击快捷按钮, 新建一个 Maxwell 2D 工程文件, 再单击绘制线段快捷按钮, 或执行 Draw/Line 命令。在屏幕右下角的坐标栏内输入起点坐标 X=0, Y=0, Z=0 并按回车键确认, 再输入下一个顶点坐标 X=10, Y=0, Z=0, 按回车键确认, 继续输入第三个顶点坐标 X=10, Y=10, Z=0, 并按回车键确认; 再次输入第四个顶点坐标 X=0, Y=10, Z=0, 同时按回车键确认该点坐标, 至此已经绘制完毕正四边形的三条边, 最后再次输入坐标 X=0, Y=0, Z=0, 按回车键确认后即可封闭曲线。整个流程如图 1-9 所示。

X: 0 Y: 0 Z: 0 Absolut Cartesian mm

(a) 正四边形起点输入坐标

X: 10 Y: 0 Z: 0 Absolut Cartesian mm

(b) 正四边形第二顶点输入坐标

X: 10 Y: 10 Z: 0 Absolut Cartesian mm

(c) 正四边形第三顶点输入坐标

X: 0 Y: 10 Z: 0 Absolut Cartesian mm

(d) 正四边形第四顶点输入坐标

X: 0 Y: 0 Z: 0 Absolut Cartesian mm

(e) 正四边形封闭时输入坐标

图 1-9 正四边形绘制流程中各点坐标值

从图 1-10 中可以看出, 在采用自动生成面功能后, 直接绘制正四边形的四条线段就可以自动形成正四边形面域。

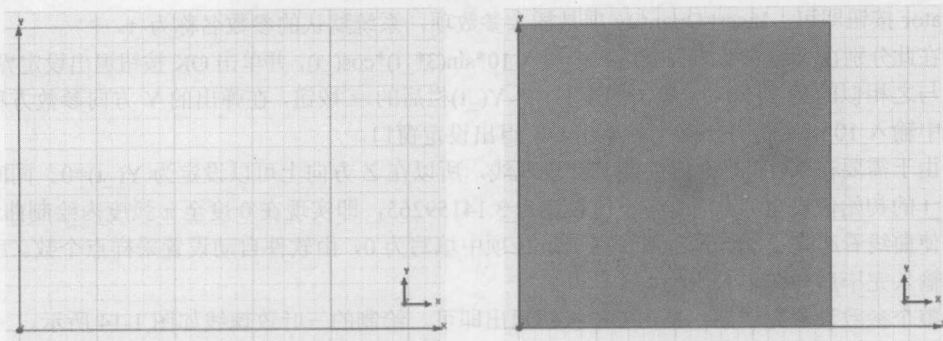
生成圆弧、整圆、样条曲线的方式与例 1 中的操作相似, 都可以通过逐次输入关键点坐标实现, 所以在此不做过多的叙述。

例 1-2 在 2D 中的 XOY 平面内绘制三叶玫瑰线, 不使封闭曲线生成面域。

既然不让自动闭合的曲线形成面, 那么仍需要执行 Tools/Options/Modeler Options 命令, 去掉 Polyline 项下默认的 Automatically cover closed polyline 前的对号。同时由于三叶玫瑰线形状较为复杂, 采用直线或圆弧等操作无法准确绘制, 所以在此使用了函数绘制方式, 而该绘制曲线方式对将来复杂模型的处理极为方便快捷, 故特别将其提出作为案例详细加以说明。

假设需要绘制的三叶玫瑰线曲线参数方程如下:

$$\begin{cases} x(t) = 10 \cdot \sin 3t \cdot \cos t \\ y(t) = 10 \cdot \sin 3t \cdot \sin t \end{cases} \quad 0 \leq t \leq \pi$$




(a) 不选择自动生成面时的效果


(b) 选择自动生成面时的效果

图 1-10 正四边形绘制完毕后的图形

很明显，如此复杂的形状不可能使用简单的曲线绘制方法实现，在其他商业有限元软件中多数都是通过转换其他 CAD 软件曲线图实现。在 Maxwell 中可以通过采用参数绘制方式实现，非常方便。

首先，在快捷按钮中单击  按钮，或者执行 Draw/Equation Based Curve 命令，系统会自动弹出参数曲线绘制窗口，如图 1-11 所示。

从图 1-11 可以看出，软件默认的参数变量为 t ，在 X、Y、Z 三个方向上都可以设置为 t 的函数，而在 Start t 和 End t 中设置参数 t 的起始和终止范围，通过 Points 项可以设置由多少个点组成该参数曲线，若设置为 0 则表示由软件默认的点数组成，此时的曲线较为光滑，若该项设置过少则曲线将由多段直线组成。

单击图 1-11 中 X(t)项后的  按钮，弹出如图 1-12 所示界面。

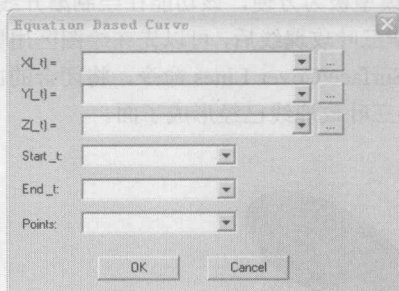


图 1-11 参数曲线绘制窗口

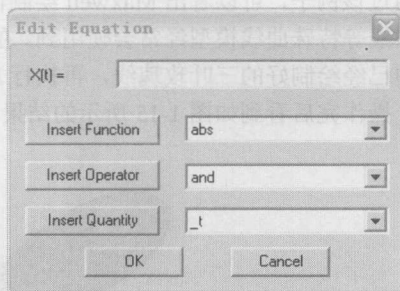


图 1-12 参数曲线绘制窗口

在图 1-12 中 X(t)=项后一栏为 X 方向参数方程输入栏，可以在此直接输入关于 t 的参数方程。Insert Function 项是输入系统自带的内置函数，单击右侧的下拉箭头就可以看到非常丰富的内置函数，包括三角函数、反三角函数、取绝对值、求余、指数和对数函数等，基本满足常用计算需求。在下拉菜单中选择相应的函数，然后单击 Insert Function 按钮就可以直接将内置函数填入参数方程栏内。当然，如果用户对软件非常熟悉的话，也可以自行在参数方程栏中写入所需函数。Insert Operator 项是插入数学运算和逻辑操作，在该下拉菜单中包括常用的与、或、非、点乘、叉乘等操作，同样先单击右侧的箭头，从中选择相应的数学操作，单击 Insert

Operator 按钮即可。Insert Quantity 项是插入参数项，系统默认的参数名称为 t 。

在此分别在 X 向参数方程表达式中写入 $10*\sin(3*t)*\cos(t)$ ，并单击 OK 按钮退出设定界面。

与之相似的是 Y(t)项，单击图 1-11 中 Y(t)栏后的 \dots 按钮，在弹出的 Y 方向参数方程对话框中输入 $10*\sin(3*t)*\sin(t)$ 并单击 OK 退出设定窗口。

由于需要在 XOY 平面内绘制三叶玫瑰线，所以在 Z 方向上可以设定为 Y(t)=0。同时，参数 t 的初始值设定为 0，而终止值设定为 3.14159265，即实现在 0 度至 π 弧度内绘制曲线。为了使曲线看起来更加光滑逼真，在 Points 项中填写为 0，由软件自动设置采样点个数。所有参数输入完毕后如图 1-13 所示。

整个参数设置完毕后，单击 OK 按钮退出即可。绘制的三叶玫瑰线如图 1-14 所示。

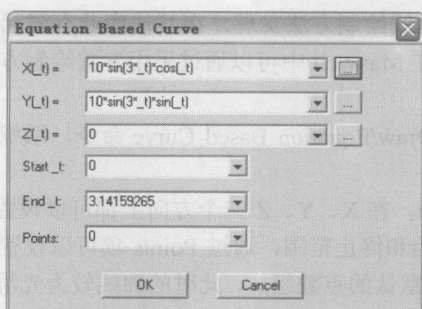


图 1-13 参数曲线设定的数据

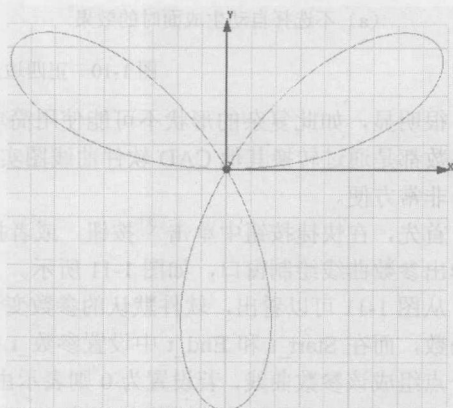


图 1-14 封闭的三叶玫瑰线

通过该例子，可以看出 Maxwell 绘制特殊曲线模型极为方便，该功能在绘制渐开线齿轮、行星摆线等特殊曲线模型经常会使用到。在绘制完毕三叶玫瑰线后，可以先在绘图区用鼠标左键选中已经绘制好的三叶玫瑰线，再执行 Modeler/Surface/Cover Lines 命令，将闭合的曲线生成面，操作完后看到如图 1-15 所示的结果，封闭的三叶玫瑰线已经形成了面。

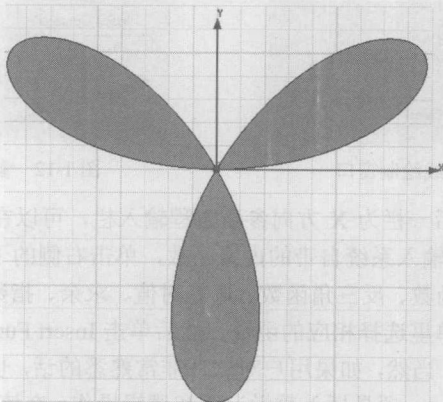



图 1-15 由封闭曲线形成的三叶玫瑰面域

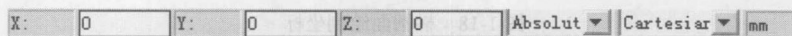
1.2.2 曲面模型的绘制

通过绘制封闭曲线模型，再通过菜单中的 Surface/Cover Lines 操作，可以将其转化为曲面，除此之外还可以通过直接绘制曲面的方式得到所要的二维曲面模型。

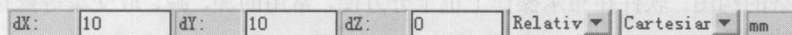
例 1-3 在 2D 中的 XOY 平面内绘制正四边形，边长等于 10 mm，起点坐标为原点(0,0,0)，正四边形位于第一象限内。

在快捷按钮中找到绘制矩形面的按钮，单击该按钮，或者执行 Draw/Rectangle 命令也可以直接绘制矩形面。

在屏幕右下角的坐标栏中输入矩形的起始点坐标(0,0,0)，回车，确定该输入坐标，在确定起始点后，软件的坐标输入栏会自动改变为 dX、dY、dZ 选项，这与例 1 中的绘制封闭矩形曲线所不同，在此需要输入的是在 X、Y 方向上的变长，所以在 dX 和 dY 项中输入 10，表示在 X 和 Y 方向上的矩形边长为 10mm，输入完毕后按回车确定，输入过程如图 1-16 所示。



(a) 正四边形面域的起始点坐标



(b) 正四边形面域的边长输入

图 1-16 正四边形面绘制流程中各点坐标值

通过顶点坐标输入和边长输入，所形成的正四边形面域如图 1-17 所示。

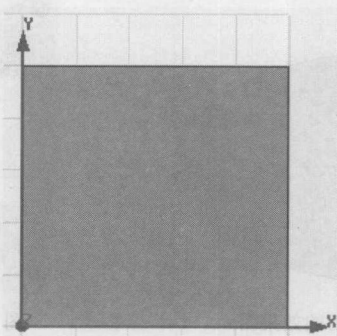



图 1-17 正四边形面绘制后的效果图

当然也可以通过将例 1-1 中的封闭的正四边形曲线通过 Modeler/Surface/Cover Lines 操作形成正四边形面域，其效果都是一样的。

例 1-4 在 2D 中的 XOY 平面内绘制椭圆，要求长轴距离等于 10 mm，短轴距离等于 5 mm，圆心点坐标为原点(0,0,0)。

在其他商业有限元软件中绘制椭圆形也是一个较为复杂的过程，而在 Maxwell 中可以很简单地利用椭圆面绘制工具轻松得到。单击快捷按钮上的按钮，或执行 Draw/Ellipse 命令，