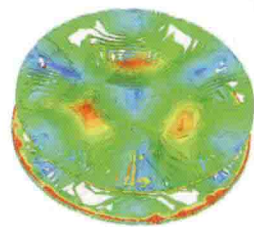




# Ansoft Maxwell 13

## 电机电磁场实例分析

刘慧娟 上官明珠 张颖超 等 编著 |



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# Ansoft Maxwell 13

## 电机电磁场实例分析

刘慧娟 上官明珠 张颖超 编著  
翟秀果 罗淑元 陈艺端

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书以各种电机为实例,全面介绍了 Ansoft Maxwell 13 软件的使用方法。主要内容包括 Ansoft Maxwell 13 电机建模流程;永磁同步电机、变压器和笼型感应电机的 2D 稳态场分析;感应电机、同步电机和无刷双馈电机的 2D 瞬态场分析;盘式电机 3D 电磁场分析;永磁无刷直流电机和开关磁阻电机与外电路的耦合仿真;电机的参数化建模与求解,以及 RMxpri 在电机分析中的应用等。

本书适合电机应用领域的工程技术人员,电机与电器专业的教师及电机相关专业的本科生、研究生使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

Ansoft Maxwell 13 电机电磁场实例分析 / 刘慧娟等  
编著. — 北京:国防工业出版社, 2014. 5  
ISBN 978-7-118-09423-8  
\* ①藏 II. ④刘... III. ①电磁场-有限元分析-  
应用软件 IV. ①O441.4-39  
www.lib.ahj.edu.cn  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 080901 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 12½ 字数 285 千字

2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

随着我国电工电子产品市场竞争的日益激烈,产品性能成为其在国际市场拥有竞争力的关键。绝大多数的电工设备和电气装置的工作性能均由电磁场和其他物理场决定,如电机、变压器、电力传输系统、磁悬浮列车、核磁共振成像系统等。由于电磁场数值分析和计算机仿真模拟可为产品的设计与优化提供最可靠的依据,许多花费巨大的模型试验可以由数值模拟取代。它在国内外企业、研究单位和高校已受到非常普遍的重视并得到广泛应用,成为提高产品国际竞争力的重要手段。

Ansoft Maxwell 正是这样一款用计算机数值模拟替代模型试验的仿真软件,它主要用来分析二维和三维的电磁部件,例如电机、变压器、激励器以及其他电气和机电设备。Ansoft Maxwell 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矩阵求解。这款电磁场有限元分析软件已成为工程设计人员和研究工作者在电子产品设计流程中不可或缺的工具。Ansoft Maxwell 13 沿用了 Ansoft Maxwell 12 相同的界面,更直观易用。同时还扩展了其他一些功能,包括:更高级且易于使用的二维建模功能;强大的全程脚本功能以及加强的后处理功能等。Ansoft Maxwell RMxpert 模块的电机类型中增加了三相隐极同步电机,增加了自动创建 Ansoft Maxwell 有限元分析模型的功能,包括自动创建最小对称性几何模型,自动设置材料、边界条件、外电路激励、网格剖分、运动状态和求解条件等,以及一个新的导线库,使工程师的设计更加方便。

本书以各种电机为实例,系统介绍 Ansoft Maxwell 13 的使用方法。第 1、2 章通过实际电机模型的建立和分析,让读者快速熟悉软件的使用方法。第 3、4 章以异步机、同步机、直流机、变压器、双馈电机等类型电机为实例建立 Ansoft Maxwell 2D 模型,并进行电磁场的性能计算(包括静态场、涡流场、瞬态场)。第 5 章通过建立电机的 Ansoft Maxwell 3D 模型,介绍三维电磁场(静态场和瞬态场)的应用。第 6 章以无刷直流电机和开关磁阻电机建模为例介绍电机外电路的设计。第 7 章主要介绍参数化建模与求解方法。第 8 章介绍利用 RMxpert 模块进行电机分析的方法。

## 本书特色

- 直观性和操作性强

本书的所有实例均给出了详细步骤,初学者可以直接通过实例快速入门。

- 融入经验性

Ansoft Maxwell 有限元软件的使用需要有一定的技巧,技巧来自于实际经验的积累。编者将该软件的一些使用技巧融入电机实例中,使读者在实例学习中逐渐掌握各种技巧,从而更加准确、规范地应用该软件进行电磁场分析。

- 专题性

本书着重对电机电磁场实例进行分析,具有很强的专业性和针对性,对于研究电机的读者来说,本书适合其进行电机专题的学习和研究。

本书由北京交通大学电气工程学院电机与电器研究所刘慧娟课题组编写:刘慧娟负责本书的框架构思及统筹;上官明珠编写第1、2章;张颖超编写第3、8章;罗淑元编写第4章;翟秀果编写第5、7章;陈艺端编写第6章。另外,张千为本书的一些实例提供了材料与数据,陈艺端对全书进行了整理和校订。

由于时间仓促,作者水平有限,不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2014年4月

# 目 录

|  |    |
|--|----|
| <b>第 1 章 Ansoft Maxwell 13 概述</b> .....      | 1  |
| 1.1 Ansoft Maxwell 电磁场分析软件简介 .....           | 1  |
| 1.1.1 Ansoft Maxwell 2D 电磁分析模块 .....         | 1  |
| 1.1.2 Ansoft Maxwell 3D 电磁分析模块 .....         | 2  |
| 1.2 Ansoft Maxwell 13 软件快速入门 .....           | 3  |
| 1.2.1 Maxwell 2D 的界面环境 .....                 | 3  |
| 1.2.2 Maxwell 2D 的模型绘制 .....                 | 5  |
| 1.2.3 Maxwell 2D 的材料管理 .....                 | 11 |
| 1.2.4 Maxwell 2D 的边界条件和激励源 .....             | 17 |
| 1.2.5 Maxwell 2D 的网格剖分和求解设置 .....            | 27 |
| 1.2.6 Maxwell 2D 的结果查看 .....                 | 34 |
| <b>第 2 章 Ansoft Maxwell 13 电机建模流程</b> .....  | 41 |
| 2.1 创建项目 .....                               | 41 |
| 2.2 绘制几何模型 .....                             | 43 |
| 2.3 设置各部件材料属性 .....                          | 48 |
| 2.4 设置运动部件和边界条件 .....                        | 49 |
| 2.5 设置绕组和激励条件 .....                          | 50 |
| 2.6 设置剖分参数与剖分操作 .....                        | 52 |
| 2.7 求解设置 .....                               | 53 |
| 2.8 查看求解结果 .....                             | 54 |
| <b>第 3 章 Ansoft Maxwell 13 二维稳态场分析</b> ..... | 58 |
| 3.1 永磁同步电机静态场分析 .....                        | 58 |
| 3.1.1 创建项目 .....                             | 58 |
| 3.1.2 绘制几何模型 .....                           | 59 |
| 3.1.3 设置各部件材料属性 .....                        | 64 |
| 3.1.4 设置绕组激励与边界条件 .....                      | 66 |
| 3.1.5 设置剖分参数与剖分操作 .....                      | 67 |
| 3.1.6 求解设置 .....                             | 68 |
| 3.1.7 查看求解结果 .....                           | 69 |
| 3.2 变压器静态场分析 .....                           | 70 |



|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 3.2.1      | 创建项目 .....                             | 71        |
| 3.2.2      | 绘制几何模型 .....                           | 71        |
| 3.2.3      | 设置各部件材料属性 .....                        | 72        |
| 3.2.4      | 设置绕组激励与边界条件 .....                      | 72        |
| 3.2.5      | 设置剖分参数与剖分操作 .....                      | 72        |
| 3.2.6      | 求解设置 .....                             | 73        |
| 3.2.7      | 查看求解结果 .....                           | 74        |
| 3.3        | 笼型感应电机涡流场分析 .....                      | 75        |
| 3.3.1      | 创建项目 .....                             | 75        |
| 3.3.2      | 绘制几何模型 .....                           | 75        |
| 3.3.3      | 设置各部件材料属性 .....                        | 79        |
| 3.3.4      | 设置绕组激励与边界条件 .....                      | 80        |
| 3.3.5      | 设置剖分参数与剖分操作 .....                      | 82        |
| 3.3.6      | 求解设置 .....                             | 83        |
| 3.3.7      | 查看求解结果 .....                           | 83        |
| <b>第4章</b> | <b>Ansoft Maxwell 13 二维瞬态场分析 .....</b> | <b>86</b> |
| 4.1        | 三相笼型感应电机瞬态场分析 .....                    | 86        |
| 4.1.1      | 创建项目 .....                             | 86        |
| 4.1.2      | 绘制几何模型 .....                           | 86        |
| 4.1.3      | 设置各部件材料属性 .....                        | 90        |
| 4.1.4      | 设置绕组激励与边界条件 .....                      | 91        |
| 4.1.5      | 设置运动部件 .....                           | 91        |
| 4.1.6      | 设置剖分参数与剖分操作 .....                      | 91        |
| 4.1.7      | 求解设置 .....                             | 92        |
| 4.1.8      | 查看求解结果 .....                           | 93        |
| 4.2        | 永磁同步电机瞬态场分析 .....                      | 95        |
| 4.2.1      | 创建项目 .....                             | 95        |
| 4.2.2      | 绘制几何模型 .....                           | 95        |
| 4.2.3      | 设置各部件材料属性 .....                        | 98        |
| 4.2.4      | 设置绕组激励与边界条件 .....                      | 100       |
| 4.2.5      | 设置运动部件 .....                           | 102       |
| 4.2.6      | 设置剖分参数与剖分操作 .....                      | 102       |
| 4.2.7      | 求解设置 .....                             | 103       |
| 4.2.8      | 查看求解结果 .....                           | 103       |
| 4.3        | 无刷双馈电机瞬态场分析 .....                      | 105       |
| 4.3.1      | 创建项目 .....                             | 105       |
| 4.3.2      | 绘制几何模型 .....                           | 106       |
| 4.3.3      | 设置各部件材料属性 .....                        | 109       |

|            |                                    |            |
|------------|------------------------------------|------------|
| 4.3.4      | 设置绕组激励与边界条件                        | 110        |
| 4.3.5      | 设置运动部件                             | 111        |
| 4.3.6      | 设置剖分参数与剖分操作                        | 111        |
| 4.3.7      | 求解设置                               | 112        |
| 4.3.8      | 查看求解结果                             | 113        |
| <b>第5章</b> | <b>Ansoft Maxwell 13 三维电磁场分析</b>   | <b>115</b> |
| 5.1        | 从一般二维模型转换为三维模型                     | 115        |
| 5.1.1      | 创建项目                               | 115        |
| 5.1.2      | 绘制几何模型                             | 115        |
| 5.1.3      | 设置各部件材料属性                          | 119        |
| 5.1.4      | 设置绕组激励与边界条件                        | 120        |
| 5.1.5      | 设置运动部件                             | 122        |
| 5.1.6      | 几何模型剖分                             | 123        |
| 5.1.7      | 求解及查看求解结果                          | 123        |
| 5.2        | 盘式电机三维瞬态场分析                        | 124        |
| 5.2.1      | 创建项目                               | 124        |
| 5.2.2      | 绘制几何模型                             | 124        |
| 5.2.3      | 设置各部件材料属性                          | 130        |
| 5.2.4      | 设置绕组激励与边界条件                        | 130        |
| 5.2.5      | 设置运动部件                             | 131        |
| 5.2.6      | 求解及查看求解结果                          | 131        |
| <b>第6章</b> | <b>Ansoft Maxwell 13 与外电路的耦合应用</b> | <b>133</b> |
| 6.1        | 永磁无刷直流电机                           | 133        |
| 6.1.1      | 问题描述                               | 133        |
| 6.1.2      | 控制电压电路                             | 134        |
| 6.1.3      | 电机驱动主电路                            | 137        |
| 6.1.4      | 电机电路设置                             | 141        |
| 6.1.5      | 电路与有限元模型的耦合                        | 143        |
| 6.1.6      | 设置机械运动                             | 145        |
| 6.1.7      | 稳态分析及查看结果                          | 145        |
| 6.1.8      | 瞬态分析及查看结果                          | 147        |
| 6.2        | 开关磁阻电机                             | 150        |
| 6.2.1      | 问题描述                               | 150        |
| 6.2.2      | 控制电压电路                             | 151        |
| 6.2.3      | 电机驱动主电路                            | 151        |
| 6.2.4      | 电机电路设置                             | 151        |
| 6.2.5      | 外电路与有限元模型的耦合                       | 151        |



|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 6.2.6       | 设置机械运动 .....                              | 152        |
| 6.2.7       | 稳态运动分析及查看结果 .....                         | 152        |
| 6.2.8       | 瞬态分析及查看结果 .....                           | 155        |
| <b>第7章</b>  | <b>Ansoft Maxwell 13 参数化建模与求解 .....</b>   | <b>158</b> |
| 7.1         | 内嵌式永磁同步电机参数化模型 .....                      | 158        |
| 7.2         | 设置参数化求解变量 .....                           | 159        |
| 7.3         | 查看求解结果 .....                              | 161        |
| <b>第8章</b>  | <b>Ansoft Maxwell 13 RMxpvt 的应用 .....</b> | <b>164</b> |
| 8.1         | RMxpvt 在感应电机设计中的应用 .....                  | 164        |
| 8.1.1       | 工程模型 .....                                | 165        |
| 8.1.2       | 创建项目 .....                                | 165        |
| 8.1.3       | 设置电机参数 .....                              | 167        |
| 8.1.4       | 设置仿真参数 .....                              | 177        |
| 8.1.5       | 求解及查看结果 .....                             | 178        |
| 8.2         | RMxpvt 与 Maxwell 2D/3D 有限元模型的转换 .....     | 180        |
| 8.2.1       | 从 RMxpvt 模型转换为 Maxwell 2D 模型 .....        | 181        |
| 8.2.2       | 从 RMxpvt 模型转换为 Maxwell 3D 模型 .....        | 183        |
| 8.2.3       | RMxpvt 模型的参数分析 .....                      | 186        |
| <b>参考文献</b> | .....                                     | <b>192</b> |

# 第1章 Ansoft Maxwell 13 概述

## 1.1 Ansoft Maxwell 电磁场分析软件简介

Ansoft 公司的 Maxwell 是一个功能强大、结果精确、易于使用的二维/三维(2D/3D)电磁场有限元分析软件。它的求解模块包括静电场、静磁场、时变电场、时变磁场、涡流场、瞬态场和温度场计算等,可以用来分析电机、传感器、变压器、永磁设备、激励器等电磁装置的静态、瞬态、稳态、正常工况和故障工况的特性。Maxwell 3D 包括 Maxwell 2D 所有的模块并新增了 3D 应力场分析模块。

### 1.1.1 Ansoft Maxwell 2D 电磁分析模块

#### 1. 二维静磁场求解器(2D Magnetostatic Field Solver)

静磁场求解器用于分析由恒定电流、永磁体及外部激磁引起的磁场,适用于激励器、传感器、电机及永磁体等。它分析的对象包括非线性的磁性材料(如钢材、铁氧体、钕铁硼永磁体)和各向异性材料。该模块可自动计算磁场力、转矩、电感和储能。

#### 2. 二维涡流场求解器(2D Eddy Current Field Solver)

涡流场求解器用于分析受涡流、趋肤效应、邻近效应影响的系统。它求解的频率范围可以从 0 到数百兆赫,应用范围覆盖母线、电机、变压器、绕组及无损系统评价。它能够自动计算铁损,不同频率所对应的阻抗、力、转矩、电感与储能。此外,还能以云图或矢量图的形式给出整个相位的磁力线、磁通密度和磁场强度的分布、电流分布及能量密度等结果。

#### 3. 二维轴向磁场涡流求解器(2D Eddy Axial Field Solver)

轴向磁场涡流求解器用于分析电流只在模型截面内流动且磁场与该截面垂直的问题。

它通过设定适当的边界条件,求解处于外部磁场作用下的系统,如分析叠片钢中的涡流损耗问题。

#### 4. 二维静电场求解器(2D Electrostatic Field Solver)

静电场求解器用于分析由直流电压源、永久极化材料、高电压绝缘体中的电荷/电荷密度、套管、断路器及其他静态泄放装置所引起的静电场。材料类型包括各种绝缘体(备向异性及特性随位置变化的材料)及理想导体。该模块能自动计算力、转矩、电容及储能等参数。

#### 5. 二维恒定电场求解器(2D DC Conduction Field Solver)

假定电流只在模型截面中流动,它用于分析直流电压分布,计算损耗介质中流动的电流、电纳和储能。如印制电路板中电流在绝缘基板上非常薄的轨迹中流动,由于轨迹非常

细,其厚度可以忽略,因此该电流可以用一个俯视投影来建模。用户既可得到电流的分布,又可获得轨迹上电阻值。

#### **6. 二维交变电场求解器(2D AC Conduction Field Solver)**

除电介质及正弦电压源的传导损耗外,该求解器与静电场求解器类似,通过计算系统的电容与电导,计算出绝缘介质中的损耗。

#### **7. 二维瞬态求解器(2D Transient Solver)**

瞬态求解器用于求解某些涉及运动和任意波形的电压、电流源激励的设备(如电机、无摩擦轴承、涡流断路器),获得精确的预测性能特性。该模块能同时求解磁场、电路及运动等强耦合的方程,因而容易解决上述装置的性能分析问题。

#### **8. 二维温度场求解器(2D Thermal Solver)**

温度场求解器可提供稳态热分析功能,包括传导、辐射及二维交流磁场与温度场的单向耦合。交流磁场分析所得的功率损耗结果可作为热分析的输入,最终得到装置完整热行为特性。

#### **9. 二维参数分析器(2D Parametric Analysis)**

参数分析器允许用户在 Maxwell 2D 中设置多项可变设计量,如位置、形状、材料属性、源或边界设置及频率等。用户只要单击鼠标,即可自动计算数千种情况的物理问题,而且整个过程不需要用户干预。

### **1.1.2 Ansoft Maxwell 3D 电磁分析模块**

#### **1. 三维静电场(3D Electrostatic)**

三维静电场可用于计算由静态电荷分布和电压引起的静电问题。它利用直接求取的电标量位,仿真器可自动计算出静电场及电通量密度。用户可根据这些基本的场量求取力、转矩、能量及电容值。在分析高压绝缘体、套管及静电设备中的电荷密度产生的电场时,静电场功能尤为适用。

#### **2. 三维静磁场(3D DC Magnetic)**

三维静磁场可用于准确地仿真直流电压和电流源、永磁体及外加磁场激励引起的磁场,典型的应用包括激励器、传感器、永磁体。它可直接用于计算磁场强度和电流分布,再由磁场强度获得磁通密度。此外,它能计算力、转矩、电感及各种线性、非线性和各向异性材料的饱和问题。

#### **3. 三维交流磁场(3D AC Magnetic)**

三维交流磁场用于分析涡流、位移电流、趋肤效应及邻近效应具有不可忽视作用的系统。它可以分析母线、变压器、线圈中涡流的整体特性:在交流磁场模块中采用吸收边界条件来仿真装置的辐射电磁场。这种全波特性和,使它既可以分析汽车遥控开关,又能够分析油井探测天线此类低频系统。

#### **4. 三维瞬态场(3D Transient)**

三维瞬态场可方便地设计出任意波形电压、电流及包括直线或旋转运动的装置,利用电路图绘制器和嵌入式仿真器可与外部电路协同仿真,从而支持包括电力电子开关电路和绕组连接方式在内的任意拓扑结构的仿真。

## 5. 三维温度场(3D Thermal)

三维温度场提供稳态和瞬态热分析功能,包括传导、辐射及交流磁场与温度场的单向耦合。交流磁场和三维高频结构电磁场仿真(High Frequency Structure Simulator, HFSS)分析所得的功率损耗结果可作为热分析的输入,最终得到装置完整热行为特性。

## 6. 三维应力场(3D Stress)

三维应力场可进行稳态应力分析。静磁场、涡流场、瞬态场分析所得的力可作为应力分析的输入,经三维应力分析得到装置的应力分布。同样,可以利用三维温度场分析的结果得到装置的热应力及外力与热同时作用下的应力。

## 7. 优化(Optimetrics)

利用优化功能,设计者可根据设备正常运行对各灵敏参数的依赖程度,保证制造过程中参数始终处于容差范围内;利用宏功能,设计者可以在仿真中,对位置、材料属性、激励源、边界条件及运行频率进行参数分析。

# 1.2 Ansoft Maxwell 13 软件快速入门

Ansoft Maxwell 13 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。为方便阅读和查阅,本章将相似性较高的部分取出,单独说明,主要内容如下:

- (1) Maxwell 2D 的界面环境。
- (2) Maxwell 2D 的模型绘制。
- (3) Maxwell 2D 的材料管理。
- (4) Maxwell 2D 的边界条件和激励源。
- (5) Maxwell 2D 的网格剖分和求解设置。
- (6) Maxwell 2D 的结果查看。

### 1.2.1 Maxwell 2D 的界面环境

图 1-1 为 Maxwell 13 2D 的操作界面示意图。在菜单工具栏下,主要有图示的 6 个

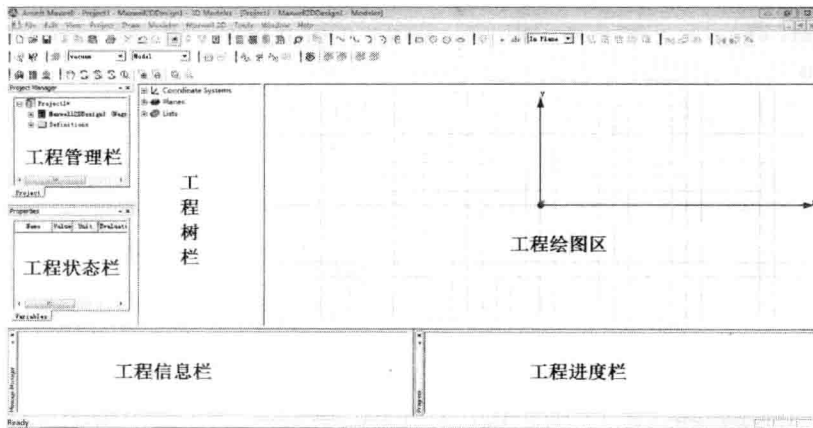


图 1-1 Maxwell 13 2D 操作界面

工作区域。

(1) 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。

(2) 工程状态栏：在对某一部件的属性操作时,可在此看到操作的信息。

(3) 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。

(4) 工程绘图区：用户可在此绘制要计算的模型,也可在此显示计算后的场图结果和数据曲线等信息,绘图时带有笛卡儿坐标系和绘图网格,方便用户绘制模型。

(5) 工程信息栏：显示工程文件在操作时的一些详细信息,如警告提示、错误提示、求解完成信息等。

(6) 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。

如果这几个区域不小心被关闭,可以通过在 View 菜单栏中在其对应项前勾选重新显示,如图 1-2 所示。

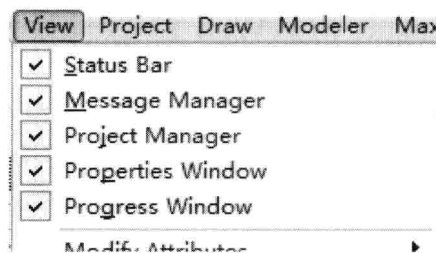


图 1-2 View 菜单下恢复操作区域

在界面的主菜单下,有 2~3 排快捷按钮,如图 1-3 所示。下面介绍主要操作按钮。

图 1-3(a)为计算类型快捷按钮,从左至右分别为新建 Maxwell 3D 工程、新建 Maxwell 2D 工程和新建 RMXprt 工程。

图 1-3(b)为快捷按钮,有新建、打开、保存和打印等常用功能按钮。

图 1-3(c)为视图操作快捷按钮,有视图移动、旋转、缩放和全局视图等按钮。

图 1-3(d)为模型绘制快捷按钮,有绘制线段、曲线、圆、圆弧和函数曲线按钮,以及

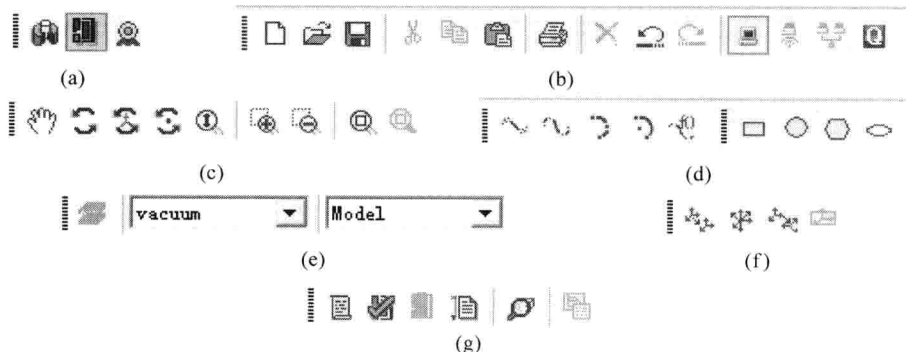


图 1-3 Maxwell 13 2D 主要操作按钮

- (a) 计算类型快捷按钮;
- (b) 快捷按钮;
- (c) 视图操作快捷按钮;
- (d) 模型绘制快捷按钮;
- (e) 模型材料快捷按钮;
- (f) 相对坐标系快捷按钮;
- (g) 模型检测求解和书写注释快捷按钮。

绘制矩形面、圆面、正多边形面和椭圆面按钮。

图 1-3(e)为模型材料快捷按钮,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)为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)为模型检测、求解和书写注释等快捷按钮。在求解模型前,用户先检测模型,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,使得在大批量计算近似模型时可以方便查找和记录工程之间的差别。

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。

单击主界面 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 RMxpt 和 Maxwell 3D 两部分的帮助文档。新用户应熟悉该文档的结构和相关内容。



图 1-4 Maxwell 13 帮助菜单

## 1.2.2 Maxwell 2D 的模型绘制

绘制二维模型时,既可采用快捷按钮绘图,也可以采用下拉菜单绘制,两者效果相同,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。

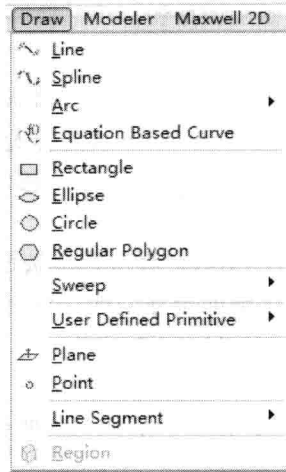


图 1-5 Maxwell 13 绘图菜单

图 1-6 为在界面右下角的模型绘制坐标系,绘制线段或者圆弧时,可通过在此对话框中输入给定的坐标值来实现。软件的 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。在三个方向的数据栏后有两个下拉菜单:第一个为绘制模型时的坐标,默认为 Absolute 绝对坐标,可以通过下拉菜单更换为相对坐标;第二个下拉菜单为坐标系,默认为 Cartesian 笛卡儿坐标系,用户可以根据需要更换为 Cylindrical 柱坐标系或 Spherical 球坐标系。

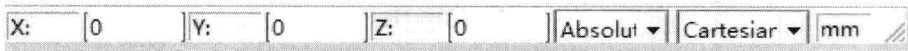


图 1-6 Maxwell 13 模型绘制坐标系

### 1. 绘制曲线模型

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,所以在绘制曲线模型前,应执行菜单命令 Tools/Options/Modeler Options,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。

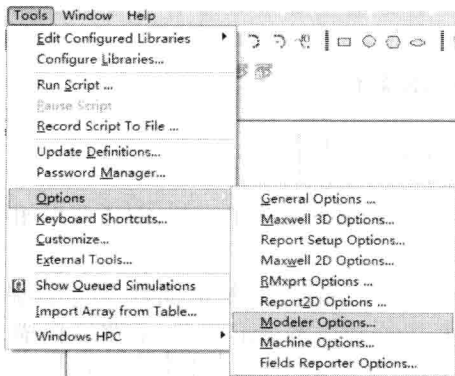


图 1-7 模型绘制选项

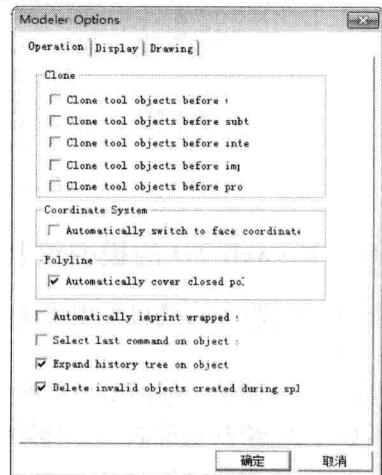




图 1-8 模型绘制选项卡



选择 Operation 选项卡,将 Polyline 项下默认的 Automatically cover closed polyline 项前的勾选去掉,确认后系统将不再对封闭的曲线强制生成面了。

**【例 1-1】** 在二维 XY 平面内绘制正四边形,边长等于 10mm,起点坐标为原点(0,0,0),正四边形位于第一象限内。

首先单击菜单 Project/Insert Maxwell 2D Design,或者单击工具栏  按钮建立一个 Maxwell 2D 工程文件,在菜单栏 Draw 下选择 Line 或工具栏选择 ,在最下方坐标状态栏依次输入起点坐标 (X, Y, Z) = (0,0,0),按回车 Enter 键确认,输入第一点坐标 (10,0,0),按回车键确认,输入第二点坐标 (10,10,0),按回车键确认,输入第三点坐标 (0,10,0),按回车键确认,输入第四点坐标 (0,0,0),按两次回车键确认,完成正四边形曲线的绘制。整个流程如图 1-9 所示。绘制得到的正四边形如图 1-10 所示。

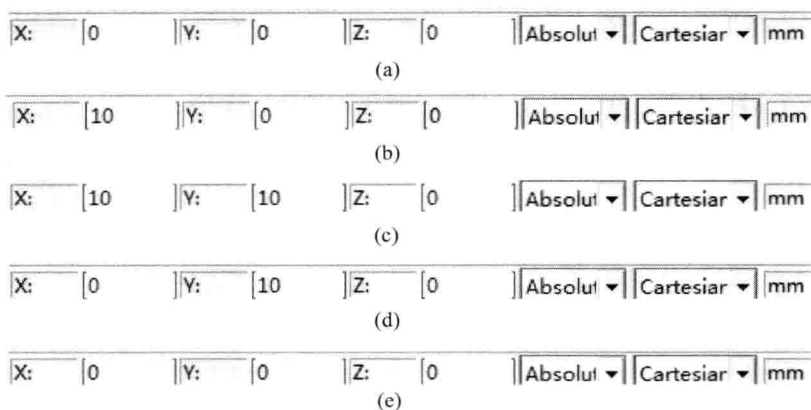


图 1-9 正四边形绘制流程中各点坐标值

- (a) 正四边形起点输入坐标; (b) 正四边形第一点输入坐标; (c) 正四边形第二点输入坐标;  
(d) 正四边形第三点输入坐标; (e) 正四边形第四点输入坐标。

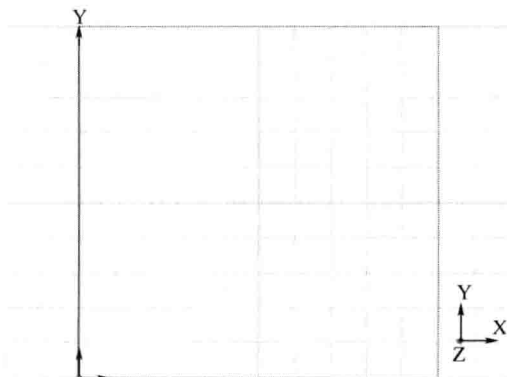


图 1-10 边长为 10mm 的正四边形


绘制圆弧、整圆、样条曲线的方法与例 1-1 中的操作相似,都可以通过逐次输入关键点坐标实现,在此不赘述。

**【例 1-2】** 在二维 XY 平面内绘制三叶玫瑰线。

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,所以在此使用函数绘制方式。

假设需要绘制的三叶玫瑰线曲线参数方程如下:

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

首先,在菜单栏 Draw 下选择 Equation Based Curve,或者在工具栏选择 ,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、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 所示窗口。

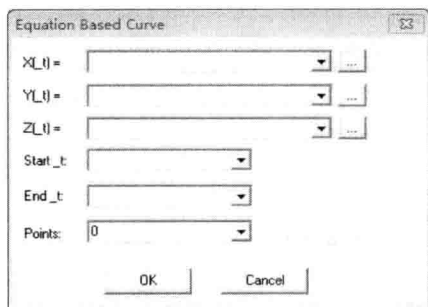


图 1-11 参数曲线绘制窗口

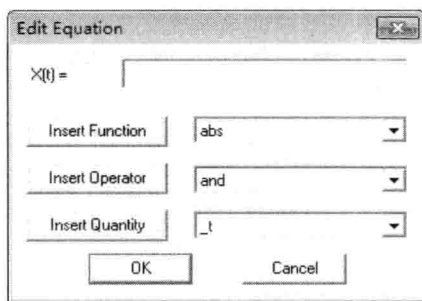


图 1-12 参数方程编辑窗口

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,从下拉菜单中可以看到有很多内置函数供选择,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。从中选择相应的函数,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。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,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 X 方向参数方程输入栏中写入  $10 * \sin(3 * \_t) * \cos(\_t)$ ,单击 OK 按钮退出界面。类似地,在 Y 方向参数方程输入栏中写入  $10 * \sin(3 * \_t) * \sin(\_t)$ ,在 Z 方向上设定为  $Y(\_t) = 0$ 。同时,参数 \_t 的初始值设定为 0,而终止值设定为 pi,即实现在  $0 \sim \pi$  范围内绘制曲线。Points 项设置为 0,由软件自动设置采样点个数,使曲线更光滑逼真。至此,整个参数设置完毕,如图 1-13 所示,单击 OK 按钮退出即可。绘制的三叶玫瑰线如图 1-14 所示。

在绘制完三叶玫瑰线后,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,再执行菜单命令 Modeler/Surface/Cover Lines,将闭合的曲线生成面,得到三叶玫瑰面,如图 1-15 所示。