

MATLAB/Simulink 机电动态系统仿真及工程应用

周高峰 赵则祥 编 著
张 洪 主 审

- 结构紧凑连贯，讲学练结合，利于模仿和研究
- 实例丰富，重点突出，步骤清晰，容易掌握
- 内容新颖，逻辑性强，具有启发性
- 始终围绕机电动态系统仿真与工程应用展开讲解

登录<http://www.iLoveMatlab.cn/>注册
用户名，验证密码后即可与作者在线交流

卡号：2014007275559

密码：



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



配有课件

MATLAB/Simulink

机电动态系统仿真及工程应用

周高峰 赵则祥 编 著
张 洪 主 审



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书着眼于机电动态系统的仿真及工程应用,对机电系统中的机械机构、液压控制系统、电机、电子电路、电力系统、测控系统、PID 控制等内容进行了建模与仿真。全书共 14 章。主要内容包括 MATLAB 工程基础回顾和总结;在 Simulink 的集成仿真环境中如何仿真机电动态系统;机械机构、液压系统工程的建模与仿真;电子电路、电机和电力系统的建模与仿真;机电测控系统的建模与仿真;PID 控制器的建模与仿真。

本书可作为高等院校机械工程、仪器仪表与科学等专业的研究生教材,也可作为机电领域高级工程师技术人员、科学研究人员和机电动态系统仿真爱好者的参考书。

本书配有教学课件,并提供仿真实例程序,请发邮件至 goodtextbook@126.com 或致电 010 - 82317036 申请索取。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB/Simulink 机电动态系统仿真及工程应用 / 周高峰, 赵则祥编著. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014.6

ISBN 978 - 7 - 5124 - 1544 - 7

I. ①M… II. ①周… ②赵… III. ①自动控制系统—系统仿真—Matlab 软件 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 108844 号

版权所有,侵权必究。

MATLAB/Simulink 机电动态系统仿真及工程应用

周高峰 赵则祥 编著

张 洪 主审

责任编辑 张冀青

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316524

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:24.25 字数:636 千字

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 1544 - 7 定价:45.00 元

前 言

随着软件仿真技术的快速发展,仿真技术早已成为科学研究、工程研发及实验的必备技术,不同的领域都在使用不同的仿真软件。MATLAB 就是一款集工程计算、图形绘制、系统设计为一体的仿真软件,不仅在科学研究和工程研发中得到了广泛应用,而且也得到了广大科研工作者和工程技术人员的青睐。MATLAB 软件中的 Simulink 仿真软件包带给使用者的不仅是灵活方便的操作,而且有人性化的操作界面。近年来,Simulink 软件包的功能日益增强和完善,基本满足了不同学科、不同工程领域研究人员和工程师对建模与仿真的迫切需求。当公司产品或课题研究处于研制或试探阶段时,欧美的一些大公司或高校主要采用的仿真实验软件就是 Simulink。作者结合机械工程专业和工程实际中可能用到的机电动态系统展开讲解。

总体上,本书按照由浅入深、由易到难的原则,将机电动态系统分为机械、液压、电子、电机、电气、测控 6 个方面,然后在回顾 MATLAB 工程计算与图形绘制的基础上,分章节讲解仿真的基本思想、基本步骤,及其在不同系统方面的应用。因为 PID 控制是当前机电系统的主要控制手段,所以将其单独作为主题进行仿真讲解,希望达到抛砖引玉的目的。

本书共分为 14 章,是在总结作者机电系统动态仿真方面的认识、体会与经验的基础上,结合作者教学实践中对相应仿真主题研究与思考的结果编写而成的。在编写过程中,尽量吸收 Simulink 软件包中所含的最新仿真技术。第 1 章简略回顾和总结 MATLAB 工程计算、图形绘制、方程求解等在工程设计中能用到的基本功能;第 2 章主要讲解 MATLAB 程序设计的基本结构与调试分析;第 3 章和第 4 章主要讲解集成仿真环境并举一些简单的例子,以帮助读者理解仿真环境;第 5 章是过渡性章节,主要讲解机械、液压、电气、电力、测控等系统中可能用到的数学模型;第 6 章和第 7 章主要讲解机械工程领域中典型的连杆机构、齿轮机构的建模与仿真;第 8 章和第 9 章主要讲解液压控制系统和液压缸的建模与仿真;第 10 章~第 12 章主要讲解模拟电路、电机、电力等系统的建模与仿真;第 13 章主要讲解测控系统的建模与仿真;第 14 章主要讲解机电动态系统中典型 PID 控制器的建模与仿真。

在本书的编写过程中,作者注意了以下几个方面:

(1) 与机电动态系统仿真紧密结合,使用新的方法对部分理论或作者的新认识进行了推导与分析,以利于读者学习和掌握;

(2) 注重对机械工程领域中的最新热点问题进行建模与仿真,例如 PID(Proportional - Integral - Defferential,比例积分微分)控制器和基于 SVC(Static Var Compensator,静止无功补偿器)的电力系统机电暂态的建模与仿真等,以利于读者解决实际的工程问题;

(3) 简单分析部分仿真结果,并给出结论,为读者增加新的认识;

(4) 始终通过实例展开讲解,帮助读者将所学方法应用于工程研发或科学研究中。

本书的显著特色如下:

(1) 由浅入深,结构紧凑,注重应用,利于学习和研究;

(2) 实例丰富,重点突出,针对性强,注重前后章节的连贯、一致和呼应;

(3) 主题明确,步骤清晰,内容新颖,容易掌握,具有启发性;

(4) 注重理论联系实际,始终围绕机电动态系统进行分析和仿真;

(5) 层次清晰,逻辑性强,讲练结合,具有可操作性。

在教学上,教师对于本书内容的取舍以及讲授的先后次序,可以根据专业需要、学时多少、学生基础状况而定,其中的一些内容也可以让学生自学。

本书适用于大专院校机械工程相关专业的研究生、从事机电系统产品开发的工程师、科研工作者以及 MATLAB 仿真爱好者。

全书由周高峰和赵则祥编著。其中,赵则祥教授编写了第 1、3、4、7 章,周高峰博士编写了第 2、9~14 章,崔陆军博士编写了第 3、5、8 章,尚会超副教授编写了第 4、6、8 章,于贺春博士编写了第 6、7 章。张洪教授主审全稿。

北京航空航天大学出版社联合 MATLAB 中文论坛(<http://www.iLoveMatlab.cn>)为本书设立了在线交流版块,网址为 <http://www.iLoveMatlab.cn/forum-231-1.html> 有问必答!

在本书出版之际,首先感谢中原工学院机电学院的老师对作者提供的帮助和支持;同时,特别感谢北京航空航天大学出版社为本书的出版所做的一切工作和努力。

由于时间仓促,书中肯定存在不妥之处,恳请读者批评指正。意见和建议反馈邮箱:zhougf123456@sina.com。

周高峰
2014 年 3 月于郑州

若您对此书内容有任何疑问,可以凭在线交流卡登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

目 录

第 1 章 MATLAB 工程基础回顾	1
1.1 系统建模与仿真	1
1.1.1 仿真的基本概念	1
1.1.2 仿真的基本步骤	1
1.1.3 仿真的发展阶段	2
1.1.4 仿真技术的工程应用意义	2
1.1.5 MATLAB 的特点	2
1.2 MATLAB 的安装与使用基础	2
1.2.1 MATLAB 的安装	2
1.2.2 MATLAB 视窗环境	7
1.3 MATLAB 工程计算与图形绘制	11
1.3.1 MATLAB 工程计算	11
1.3.2 图形绘制与输出	28
1.3.3 MATLAB 解方程(组)	36
本章小结	40
思考题	40
练习题	41
第 2 章 MATLAB 程序设计及仿真	42
2.1 M 文件	42
2.1.1 M 脚本文件	42
2.1.2 M 函数	44
2.1.3 M 函数程序	44
2.1.4 全局变量与局部变量	46
2.2 函 数	46
2.2.1 子函数和私有函数	47
2.2.2 串演算函数	47
2.3 MATLAB 程序设计的基本原则	49
2.4 流程控制与面向对象编程	49
2.4.1 流程控制	49
2.4.2 面向对象编程	52
2.5 文件调试与剖析	53
2.5.1 MATLAB 程序调试	53
2.5.2 M 文件性能剖析	55
本章小结	56
思考题	56

若您对此书内容有任何疑问，可以凭在线交流卡登录MATLAB中文论坛与作者交流。

练习题	56
第 3 章 Simulink 集成仿真环境	57
3.1 Simulink 的启动与运行	57
3.2 Simulink 模块库的介绍	59
3.2.1 公共模块库	59
3.2.2 专业模块库	72
3.3 Simulink 的模块操作与信号组操作	73
3.3.1 Simulink 的模块操作	74
3.3.2 Simulink 的信号操作	77
3.4 Simulink 仿真设置	82
3.5 Simulink 用户自定义模块	93
本章小结	93
思考题	93
练习题	94
第 4 章 Simulink 建模与实例	95
4.1 Simulink 的建模步骤	95
4.2 Simulink 仿真模型的运行与保存	97
4.3 Simulink 的建模举例	97
本章小结	103
思考题	103
练习题	103
第 5 章 典型动态系统建模与仿真	104
5.1 动态系统建模	104
5.1.1 动态系统概述与分类	104
5.1.2 动态系统建模	105
5.1.3 动态系统仿真过程	107
5.2 连续系统建模与仿真	107
5.2.1 连续系统的基本概念	107
5.2.2 连续系统的数学描述	107
5.2.3 连续系统的 Simulink 仿真建模与 M 文件描述	108
5.3 离散系统建模与仿真	111
5.3.1 离散系统的基本概念	111
5.3.2 离散系统的数学描述	111
5.3.3 离散系统的 Simulink 建模仿真与 M 文件描述	112
5.4 线性系统建模与仿真	114
5.4.1 线性连续系统的 Simulink 建模仿真	114
5.4.2 线性离散系统的 Simulink 建模仿真	120
本章小结	123
思考题	123
练习题	123

第 6 章 连杆机构建模与仿真	124
6.1 连杆机构概述	124
6.1.1 连杆机构的基本问题	124
6.1.2 连杆机构自由度的计算	125
6.2 连杆机构的数学描述与 SimMechanics 仿真工具介绍	126
6.2.1 连杆机构的数学描述	126
6.2.2 SimMechanics 仿真工具介绍	127
6.2.3 SimMechanics 机械建模示例	130
6.3 平面连杆机构建模与仿真	136
6.3.1 平面曲柄摇杆机构建模与仿真	136
6.3.2 平面曲柄滑块机构建模与仿真	139
6.4 空间连杆机构建模与仿真	141
6.4.1 空间连杆机构自由度的计算	142
6.4.2 空间连杆机构的数学描述	142
6.4.3 空间连杆机构的建模仿真	145
本章小结.....	146
思考题.....	146
练习题.....	146
第 7 章 齿轮机构建模与仿真	147
7.1 齿轮机构概述	147
7.1.1 齿轮机构仿真模块.....	147
7.1.2 简单齿轮机构仿真举例	148
7.2 齿轮机构的建模与仿真	153
7.2.1 可变传动比的齿轮机构建模与仿真	153
7.2.2 恒定传动比的串联齿轮机构的建模与仿真	154
7.2.3 定传动比与可变传动比的串联齿轮机构的建模与仿真	156
7.2.4 含有约束的齿轮机构的建模与仿真	158
7.2.5 齿轮五杆机构的建模与仿真	163
7.3 轮系机构的建模与仿真	166
7.3.1 轮系概述	166
7.3.2 定轴轮系的建模与仿真	168
7.3.3 行星轮系的建模与仿真	169
7.4 简单机械系统的建模与仿真	171
7.4.1 齿轮齿条机构的建模与仿真	171
7.4.2 简单的机械系统建模与仿真	174
本章小结.....	178
思考题.....	178
练习题.....	178
第 8 章 液压控制系统建模与仿真	179
8.1 液压控制系统概述及其数学描述	179

8.1.1	液压控制系统概述	179
8.1.2	液压控制系统的建模过程	180
8.1.3	液压控制系统的数学描述	181
8.2	液压控制系统的仿真工具介绍	182
8.3	液压位置控制系统建模与仿真	185
8.3.1	液压位置控制系统的组成与工作原理	185
8.3.2	液压位置控制系统框图与传递函数	185
8.3.3	液压位置控制系统建模与仿真	187
8.4	液压速度控制系统建模与仿真	191
8.4.1	液压速度控制系统的构成与控制方式	191
8.4.2	液压速度控制系统的建模与仿真	193
8.5	液压方向控制系统建模与仿真	198
8.6	液压压力控制系统建模与仿真	201
	本章小结	204
	思考题	204
	练习题	204
第9章	液压执行元件建模与仿真	205
9.1	液压元件概述及其数学描述	205
9.1.1	液压元件概述	205
9.1.2	液压元件的基本数学描述	206
9.2	四通阀控液压缸的建模与仿真	209
9.2.1	液压缸的基本方程	209
9.2.1	四通阀控液压缸动力机构方程与传递函数的推导	209
9.2.2	四通阀控液压缸动力机构传递函数的简化	213
9.2.3	四通阀控液压缸动力机构传递函数的简化与仿真	214
9.3	四通阀控液压马达元件的建模与仿真	216
9.3.1	四通阀控液压马达传递函数	216
9.3.2	四通阀控液压缸动力机构传递函数的简化与仿真	218
	本章小结	219
	思考题	219
	练习题	219
第10章	电子电路建模与仿真	220
10.1	电子电路概述与数学描述	220
10.1.1	电子电路概述	220
10.1.2	电子电路的数学描述	221
10.2	常用电路的分析方法	225
10.2.1	直流电路分析方法	225
10.2.2	交流电路分析方法	226
10.3	电路仿真模块介绍与仿真步骤	227
10.3.1	电路仿真模块介绍	227

若您对此书内容有任何疑问，可以凭在线交流卡登录MATLAB中文论坛与作者交流。

10.3.2	电路仿真步骤	228
10.4	常用电路的建模与仿真	229
10.4.1	直流电路的建模与仿真	229
10.4.2	交流电路的建模与仿真	231
10.4.3	含半导体器件电路的建模与仿真	235
	本章小结	240
	思考题	240
	练习题	240
第 11 章	电机建模与仿真	241
11.1	电机概述与仿真步骤	241
11.1.1	电机概述	241
11.1.2	Simulink 电机仿真模块介绍及仿真步骤	242
11.2	直流电机的建模与仿真	243
11.2.1	直流电机启动	243
11.2.2	直流电机调速	250
11.2.3	直流电机制动	253
11.3	交流电机的建模与仿真	257
11.4	步进电机的建模与仿真	267
	本章小结	269
	思考题	269
	练习题	269
第 12 章	电力系统建模与仿真	270
12.1	电力系统	270
12.1.1	电力系统概述	270
12.1.2	电力系统仿真思想	270
12.2	电力系统的数学描述	271
12.2.1	同步发电机模型	271
12.2.2	电力变压器模型	275
12.2.3	输电线路模型	278
12.2.4	电力系统负荷模型	281
12.3	高压直流输电系统仿真与分析	283
12.4	高压交流输电系统暂态仿真与分析	290
12.5	交流电力系统机电暂态仿真与分析	295
12.5.1	基于 SVC 的电力系统机电暂态仿真与分析	296
12.5.2	基于综合潮流控制器的电力系统综合仿真与分析	306
	本章小结	326
	思考题	326
	练习题	326
第 13 章	测控系统建模与仿真	327
13.1	测控系统概述	327

13.2	测控系统的数学描述	328
13.2.1	测控系统的时域数学描述	328
13.2.2	测控系统的复域数学描述	331
13.3	测控系统常用分析方法	334
13.3.1	测控系统的时域分析法	334
13.3.2	测控系统的频域分析法	337
	本章小结	342
	思考题	343
	练习题	343
第14章	PID 控制器建模与仿真	344
14.1	PID 控制器概述	344
14.2	PID 控制器的数学描述与仿真模块介绍	345
14.2.1	PID 控制器的基本思想	345
14.2.2	PID 控制器原理的数学描述	346
14.2.3	Simulink 中 PID 控制器仿真模块的介绍	347
14.3	模拟 PID 控制器的建模与仿真	349
14.3.1	模拟 PID 控制器的构建	350
14.3.2	模拟 PID 控制器的建模与仿真	351
14.4	数字 PID 控制器的建模与 MATLAB 程序仿真	354
14.4.1	连续系统的数字 PID 控制与 MATLAB 程序仿真	354
14.4.2	离散系统的数字 PID 控制与 MATLAB 程序仿真	356
14.4.3	增量式数字 PID 控制与 MATLAB 程序仿真	357
14.4.4	位置 PID 控制与 MATLAB 程序仿真	359
14.5	模糊 PID 控制器简介	361
	本章小结	361
	思考题	362
	练习题	362
附录 A	本书所用函数索引	363
附录 B	MATLAB 常用函数命令	367
附录 C	Simulink 机电模块库介绍	369
	参考文献	375

若您对此书内容有任何疑问，可以凭在线交流卡登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

【内容要点】

- ◆ 系统建立与仿真的基本步骤和发展阶段
- ◆ MATLAB 的安装与使用
- ◆ MATLAB 工程计算(含方程组求解)
- ◆ MATLAB 数值分析与图形绘制

1.1 系统建模与仿真

系统仿真作为一种特殊的试验技术,在 20 世纪 30 年代至 90 年代的半个多世纪中经历了飞速发展。今天已在航空、航天、造船、兵器、生物医学、汽车、电子产品、虚拟仪器、石油化工等多个领域得到了广泛应用。

系统仿真的基本思想是指利用物理或数学的模型来类比模拟现实的过程,以寻求对真实事物或过程的认识。它遵循的基本原则是相似性原理。

计算机仿真则是基于所建立的系统仿真模型,利用计算机对系统进行分析与研究的技术与方法。

系统建模就是根据所研究的问题按照物理学和数学关系建立数学模型,以描述系统当前或未来的行为,并可以用计算机程序或图形表示出来。

仿真技术主要应用于各领域的产品研究、设计、开发、测试、生产、培训、使用及维护等环节。

1.1.1 仿真的基本概念

仿真又称为模拟,指利用模型实现实际系统中发生的本质过程,并通过对系统模型的试验来研究存在的或设计中的系统。

仿真的重要工具就是计算机及相关仿真软件,如 MATLAB,Pro/E,SolidWorks 等等。仿真技术与数值计算、求解方法的重要区别是:仿真技术是一种试验技术。

仿真过程包括仿真模型的建立和进行仿真实验两个主要步骤。

1.1.2 仿真的基本步骤

仿真不存在一个通用的方法,下面给出基本步骤(仅供参考):

- ① 对于待仿真的系统,需要正确理解系统的工作过程;
- ② 明确研究目标和条件,理解目标与现有条件的关系;
- ③ 规范系统模型,取舍适当的细节层次,建立满足研究目标的仿真模型;
- ④ 利用计算机语言和仿真软件实现仿真模型;
- ⑤ 通过可能的输入,验证仿真输出结果是否真实正确地描述了系统的发生;

- ⑥ 判断模型的输入分布与输出性能指标、实际考察结果(或实际情况)是否一致;
- ⑦ 根据仿真目的进行仿真实验;
- ⑧ 应用相关分析方法分析仿真结果;
- ⑨ 建立仿真文档,以便后续进行其他相关仿真研究。

1.1.3 仿真的发展阶段

第一阶段,20 世纪 50 年代末到 60 年代为仿真技术的诞生期(仅大企业使用)。

第二阶段,20 世纪 70 年代末到 80 年代为仿真技术的成长期(开始出现科研人员专门研究仿真技术)。

第三阶段,20 世纪 90 年代至今,为仿真技术的成熟期(大量仿真软件出现并开始应用于科研和工程中,如 MultiSim, Protel, Tanner, MATLAB, SolidWorks 等)。

1.1.4 仿真技术的工程应用意义

- ① 在经济方面,可以降低成本,而且设备可以重复使用,尤其是对于大型、复杂系统而言;
- ② 一些危险的装置(如核电站等)通常是不允许进行实验的,因此采用仿真技术可以降低危险程度,对系统研究起到保障作用;
- ③ 提高设计效率,如电路设计、模型设计、控制系统设计等;
- ④ 具有优化设计和预测性能的特殊功能。

1.1.5 MATLAB 的特点

- ① 编程效率高。因为其编程接近于人们通常进行计算的思维方式。
- ② 计算功能强。因为有非常丰富的库函数, MATLAB 有关矩阵、数组和向量的计算功能特别强,适用于科学研究与工程计算。
- ③ 使用方便。MATLAB 将编译、链接、执行融为一体,可以在同一窗口上排除书写、语法错误,加快了用户编写、修改和调试程序的速度。
- ④ 易于扩充。MATLAB 可以与 C、C++、Fortran 语言混合编程。

1.2 MATLAB 的安装与使用基础

1.2.1 MATLAB 的安装

第一步,放入 MATLAB 安装包,找到 setup.exe 文件,并双击该图标,如图 1-1 所示。

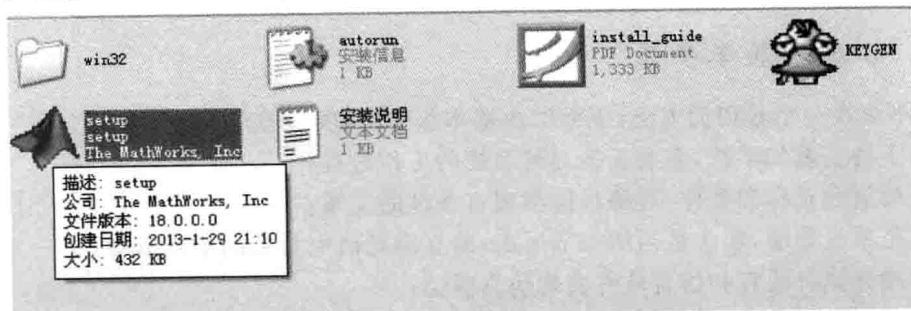


图 1-1 MATLAB 安装文件

若您对此书内容有任何疑问,可以凭在线交流卡登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

第二步,选择 Install without using the Internet 选项,如图 1-2 所示。

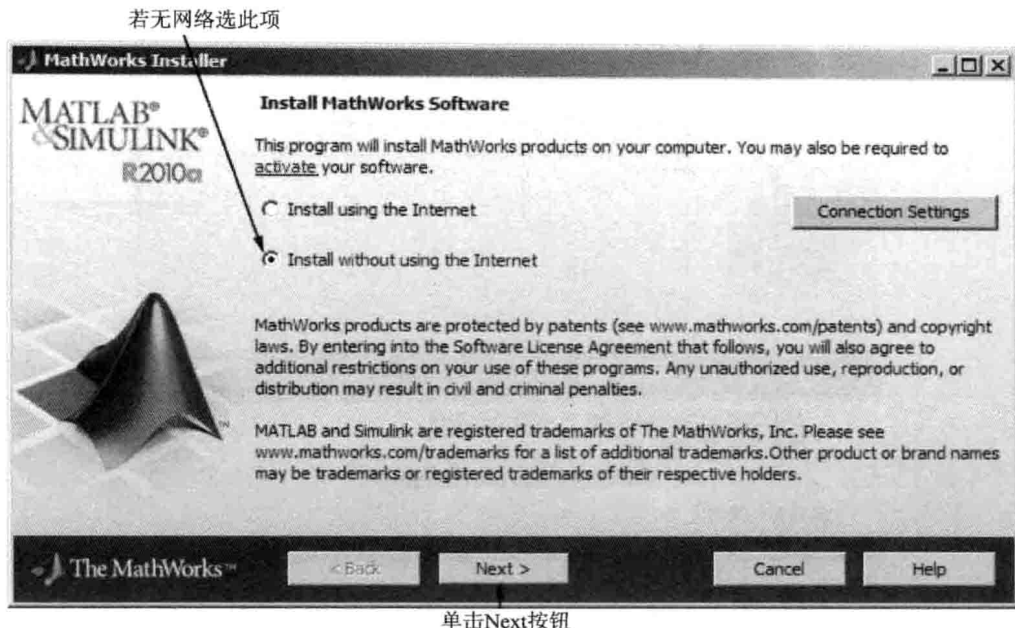


图 1-2 选择安装选项

第三步,阅读软件安装协议,若同意选择 Yes,否则选择 No,如图 1-3 所示。

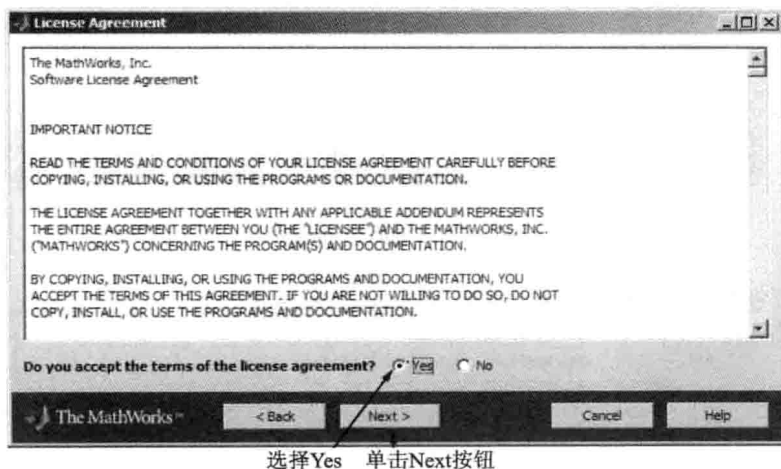


图 1-3 阅读软件协议

第四步,进入填写许可对话框,填写相应内容,如图 1-4 所示。

第五步,选择安装类型,如图 1-5 所示。

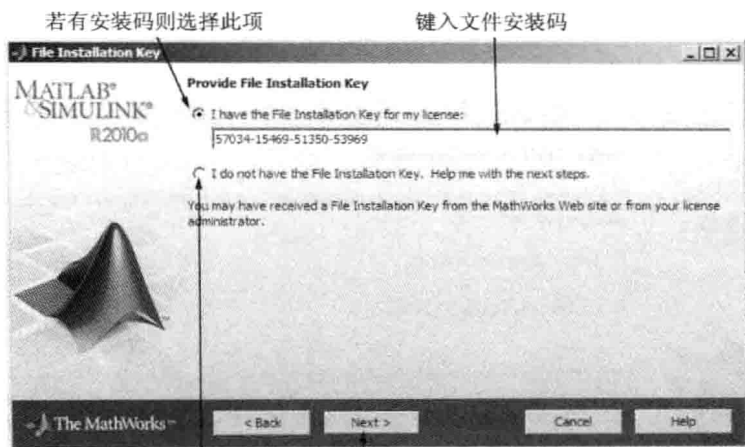
第六步,改变软件安装位置,将软件安装至 C 盘的 Program Files 软件包下,直至完成,如图 1-6 所示。

第七步,选择安装软件包,如图 1-7 所示。

第八步,确定安装文件类型(仅对自定义类型适应),如图 1-8 所示。

第九步,确认软件安装的选择,如图 1-9 所示。

若您对此书内容有任何疑问，可以凭在线交流卡登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。



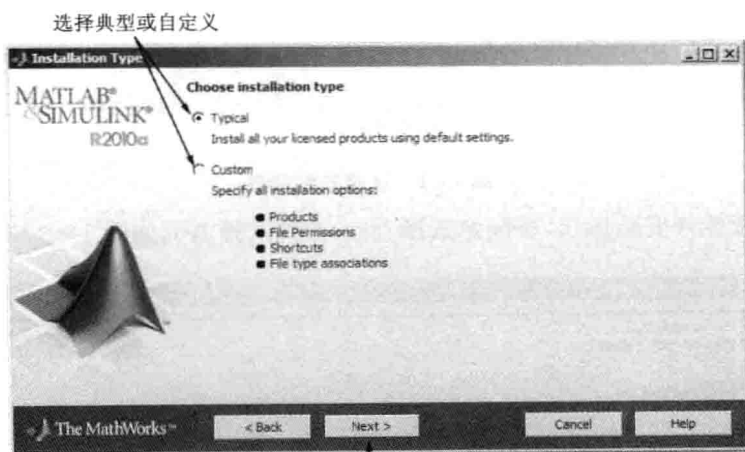
若有安装码则选择此项

键入文件安装码

若无选择此项，则获取
相关安装码信息

单击Next按钮

图 1-4 输入软件安装码



选择典型或自定义

单击Next按钮

图 1-5 安装类型选择



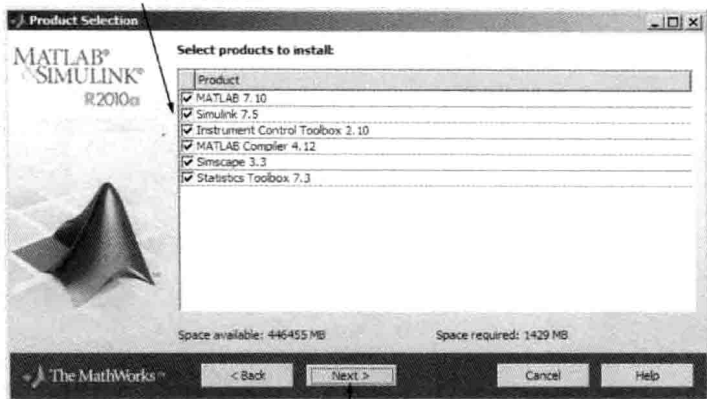
确定安装位置

单击Next按钮

图 1-6 选择安装软件位置

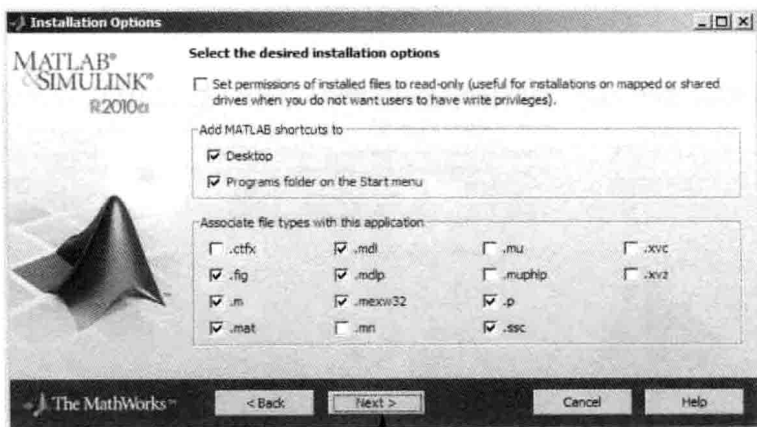
第十步,安装完成后,激活 MATLAB,如图 1-10 所示。

选择欲安装的软件包



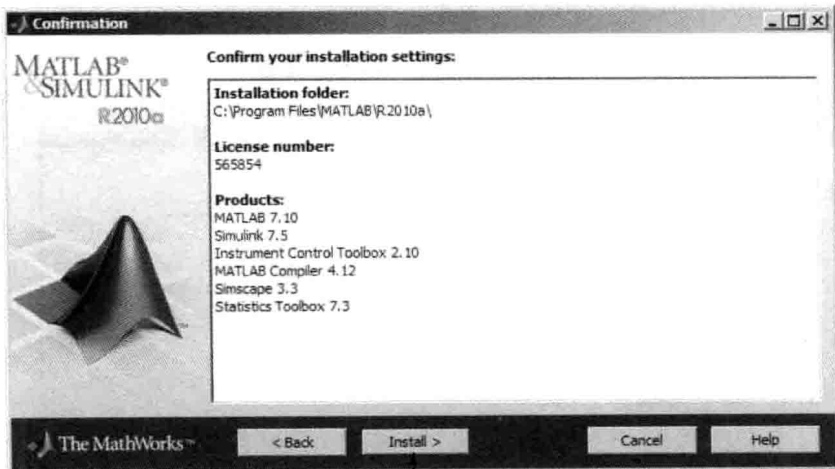
单击Next按钮

图 1-7 选择安装软件包



单击Next按钮

图 1-8 选择文件类型



单击Install按钮

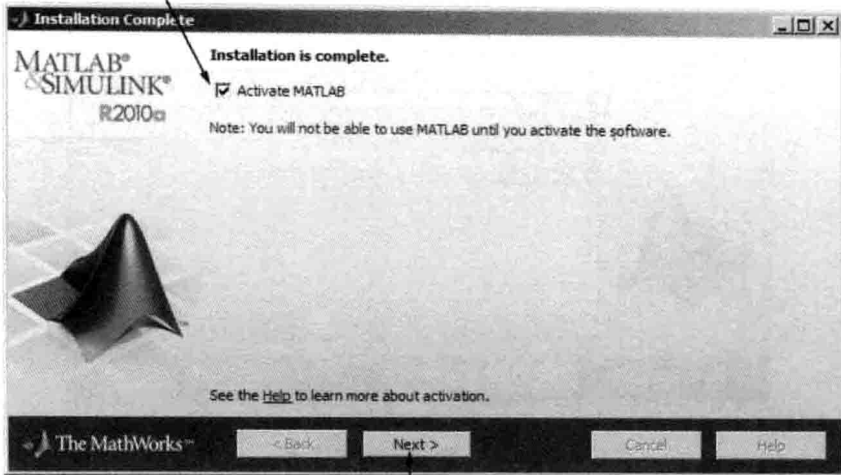
图 1-9 确认安装软件包和安装位置

第十一步,激活 MATLAB 安装,如图 1-11 所示。

第十二步,加载激活证书,如图 1-12 所示。

若您对此书内容有任何疑问,可以凭在线交流卡登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。

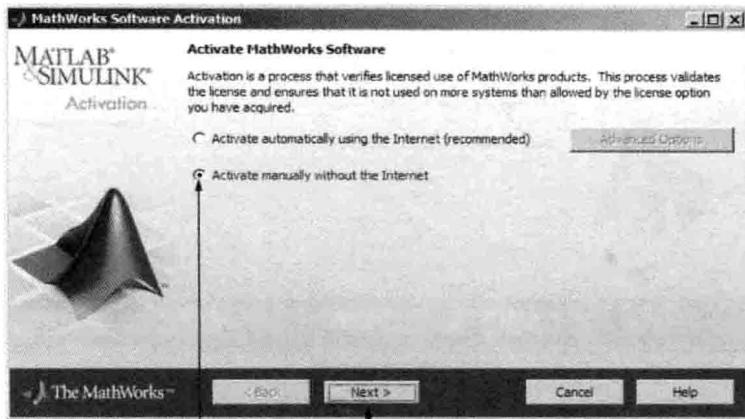
若要激活，选择此项



单击Next按钮

图 1-10 激活 MATLAB

若您对此书内容有任何疑问，可以凭在线交流卡登录 MATLAB 中文论坛与作者交流。



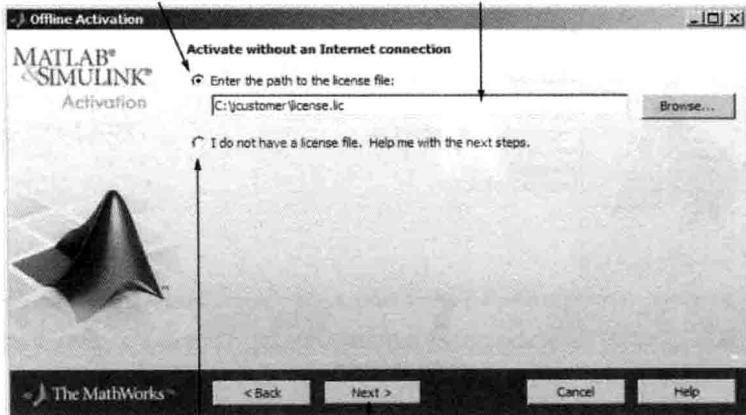
若没有联网
则选择此项

单击Next按钮

图 1-11 MATLAB 软件激活

有激活证书选此项

确定证书路径



若无证书则选择此项

单击Next按钮

图 1-12 加载 MATLAB 软件激活证书