

第1章 MATLAB/Simulink 应用基础

MATLAB 是当今最流行的通用计算机软件之一，Simulink 是基于 MATLAB 的图形化仿真平台，是 MATLAB 提供的进行动态系统建模、仿真和综合分析的集成软件包，Simulink 和 MATLAB 之间可以灵活进行交互操作。本章主要介绍与本书有关的 MATLAB/Simulink 应用基础知识，关于 MATLAB/Simulink 的详细介绍科参阅有关书籍和在线帮助。

§ 1-1 Simulink 的启动

Simulink 是基于 MATLAB 的图形化仿真平台，启动 Simulink 之前必须运行 MATLAB，并设置当前目录，以便将创建的 Simulink 模型与 MATLAB 函数保存在该目录中，同时在 MATLAB 命令窗口键入 `pathtool` 修改搜索路径，使 Simulink 仿真时能够找到调用的 MATLAB 函数（关于 MATLAB 函数参见 § 1-5）。在 MATLAB 中启动 Simulink 有两种方式：

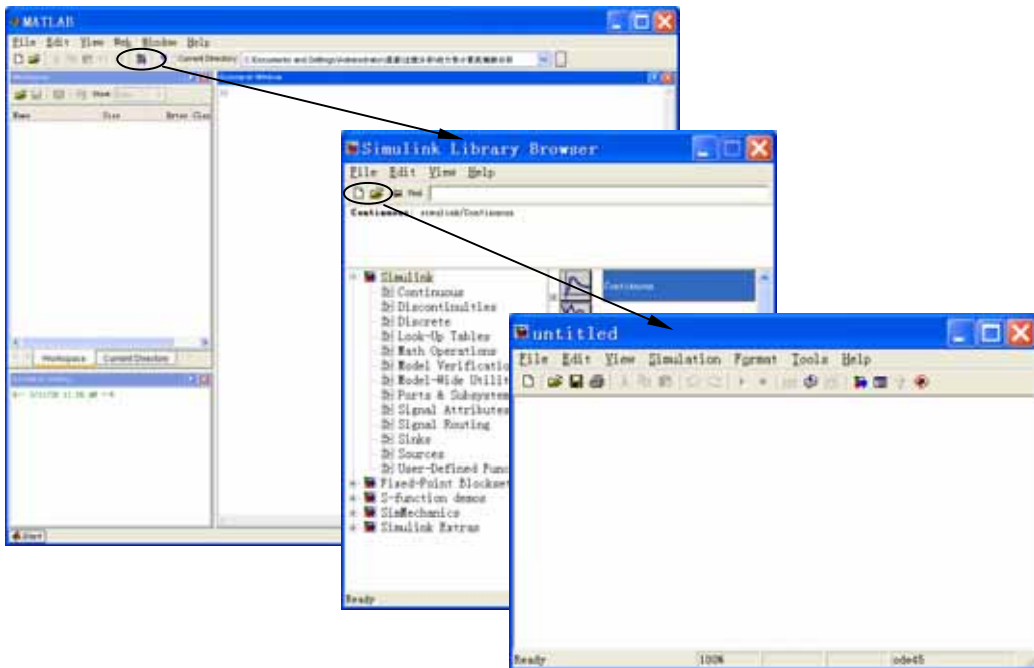


图 1-1 Simulink 的启动

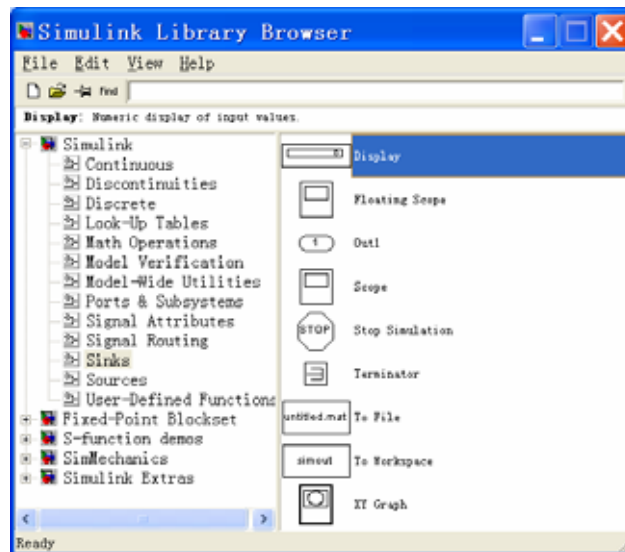


图 1-2 Simulink 模块库浏览器

- (1) 命令行方式：在 MATLAB 命令窗口键入 Simulink 即可；
- (2) 快捷方式：鼠标点击 MATLAB 工具栏的 Simulink 启动按钮。


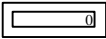











启动 Simulink 后，屏幕上会出现 Simulink 主窗口，点击 Simulink 主窗口工具栏上的新建或打开模型按钮，即可打开 Simulink 模型编辑器，如图 1-1 所示，图中依次为 MATLAB 主窗口、Simulink 主窗口和 Simulink 模型编辑器。

§ 1-2 Simulink 模块简介

Simulink 提供了大量的、以图形形式给出的内置模块，使用这些内置模块可以非常方便快速构建所需的分析模型， Simulink 的模块库浏览器如图 1-2 所示。

1、本书常用的模块

Simulink 提供了大量的模块，下面仅列出本书常用的一些模块：

| | | | |
|---|-------------|---|---------------------|
|  | 常数模块 |  | 数值显示模块 |
|  | 仿真时间模块 |  | 显示器模块 |
|  | 增益模块 |  | XY 关系图模块 |
|  | 求和模块 |  | 输出数据到 MATLAB 工作空间模块 |
|  | 时间积分模块 |  | 信号分解器模块 |
|  | 函数表达式模块 |  | 信号组合器模块 |
|  | MATLAB 函数模块 | | |

2、模块的基本操作

在 Simulink 主窗口中选择需要的模块，按住鼠标左键并将其拖动到打开的 Simulink 模型编辑器中，释放鼠标，然后就可以在模型编辑器中对模块进行有关的操作了，模块的操作主要包括模块的选择、移动、删除、复制、粘贴、旋转、标识、改变颜色和改变阴影效果等，这些操作与一般的软件类似，限于篇幅，不再赘述。

在 Simulink 模型编辑器中，还可以通过按住鼠标左键并拖动鼠标的方法选择多个对象，进行复制，然后在该窗口或打开的其它 Simulink 模型编辑器粘贴。

模块的另一个操作就是模块的连接，连接模块时将光标指向起始模块的输出端口，按住鼠标左键并拖动到目标模块的输入端口，松开鼠标即可。完成后在连接处出现一个箭头，表示信号的流向，Simulink 模型中模块间的连接线称为信号线。

此外，许多模块（如常数模块、MATLAB 函数模块等）都有自己的参数，为了正确仿真和分析，必须正确设置模块的参数，为此，双击需要设置参数的模块，打开包含该模块的简单描述和模块参数选项的模块对话框，在该参数对话框中正确设置参数即可。

3、信号的操作

对信号的操作主要有信号线的分支和信号的组合与分解。

对信号线进行分支可以使用鼠标右键单击需要分支的信号线拖至目标模块。在 Simulink 模型中,有时需要将某些模块的输出信号合成为一个列阵信号,并将得到的列阵信号作为另外模块的输入,有时又需要将一个列阵信号分解成多个信号。能够完成信号组合与分解功能的模块是信号组合器模块和信号分解器模块,使用信号组合器模块可以将多个标量信号组合成一个列阵信号,使用信号分解器模块可以将一个列阵信号分解成多个信号。此外还可以对信号进行标识。

§ 1-3 Simulink 模型的创建

下面通过一个例子来说明 Simulink 模型的创建。如图 1-3 所示,有一摆长 $l = 1\text{m}$ 、质量 $m = 0.5\text{kg}$ 的单摆由 $\theta = 20^\circ$ 的位置静止释放,假设摆球运动过程中受到的空气阻力为 $F_c = 0.2\dot{\theta}$,求该单摆在 10s 内的运动规律。由物理学可得单摆的动力学方程为

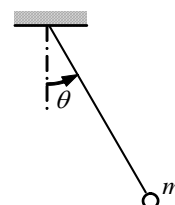


图 1-3 单摆

$$\ddot{\theta} = -0.4\dot{\theta} - 9.8\sin\theta \quad (1-1)$$

根据上式创建的 Simulink 模型如图 1-4 所示,其中用到的模块有:函数表达式模块 Fcn、两个积分模块 Integrator1 和 Integrator2、增益模块 RtoD、显示器模块 Scope 以及信号组合器模块,其中函数表达式模块 Fcn 用于计算式(1-1)等号右边的函数值,即 $\ddot{\theta}$ 的值,其参数 Expression 的设置如图 1-5 所示,注意函数表达式模块和 MATLAB 函数模块的输入在 Simulink 中默认为列阵 u。积分模块 Integrator1 将 $\ddot{\theta}$ 积分为 $\dot{\theta}$,而积分模块 Integrator2 则将 $\dot{\theta}$ 积分为 θ ,两个积分模块中的参数 Initial condition 的设置如图 1-6 所示,分别表示积分初始条件 $\dot{\theta}_0$ 和 θ_0 ,注意在 MATLAB 和 Simulink 计算中角度的单位均应为 rad,故积分模块

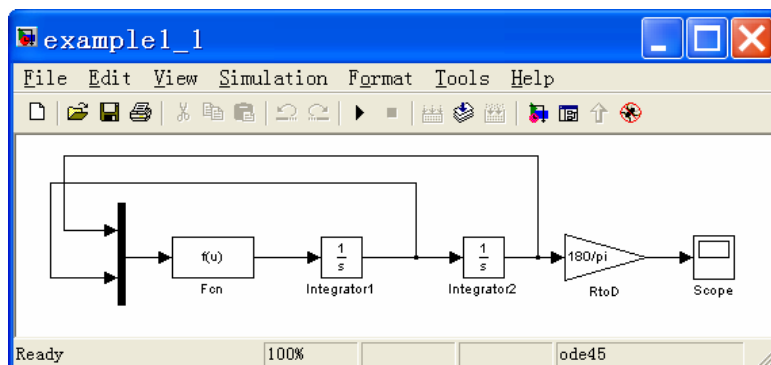


图 1-4 单摆的 Simulink 模型

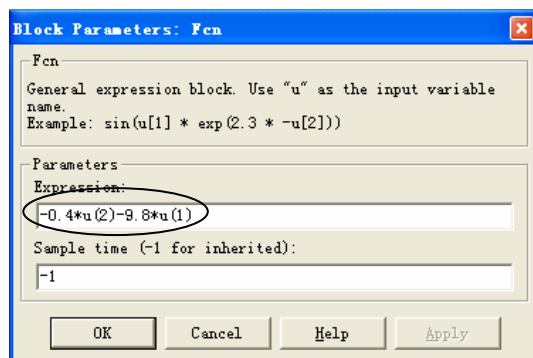


图 1-5 模块 Fun 参数设置对话框

Integrator2 的参数 Initial condition 应为 $20\pi/180$ ，其中常数 π 在 MATLAB 和 Simulink 中用 pi 表示。增益模块 RtoD 用于将弧度转化为度，其参数 Gain 的设置如图 1-7 所示。信号组合器将两路输入 θ 和 $\dot{\theta}$ 组合成一个列阵信号，连接到函数表达式模块 Fcn 上，信号组合器的参数 Number of inputs 的设置如图 1-8 所示。各个模块的其它参数保持默认值不变。

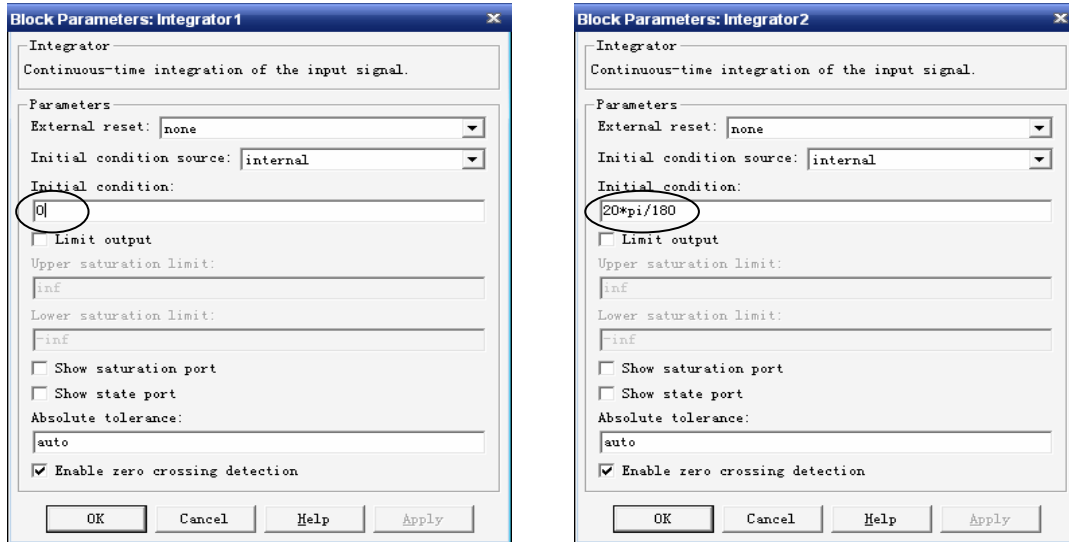


图 1-6 模块 Integrator1 和 Integrator2 参数设置对话框

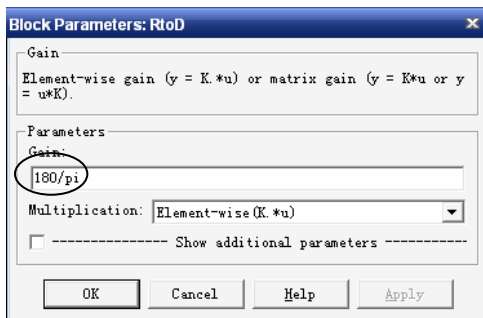


图 1-7 模块 RtoD 参数设置对话框

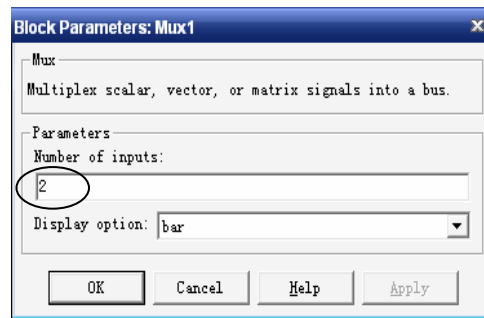


图 1-8 信号组合器参数设置对话框

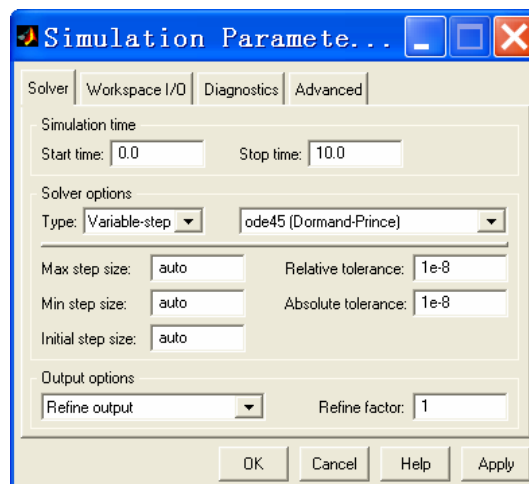


图 1-9 仿真参数设置对话框

创建好一个 Simulink 模型后，需要将模型文件存盘，该操作与一般的软件类似，不再赘述。需要注意的是，模型文件将存储在当前目录下，其扩展名为 mdl。

§ 1-4 运行仿真

在仿真分析之前，还需要设置仿真分析参数，在 Simulink 模型编辑器中选中 Simulation /Simulation parameters 后，打开仿真参数设置对话框，如图 1-9 所示。其中包括四个选择页，这里只介绍 Solver 页的设置和功能，其它页不做介绍，如需要，可参考有关的文献和在线帮助。Solver 页包括 Simulation time(仿真时间设置) Solver options(求解方法选择) Output options (输出选择) 等选项，每个选项又各自包含若干小选项：

- Simulation time : Start time (仿真起始时间，单位 s)
- Stop time (仿真终止时间，单位 s)
- Solver options : Type/Variable-step (变步长)
- Fixed-step (定步长)
- ode45、ode23 等 (积分方法选择)
- Max step size (最大积分步长)
- Min step size (最小积分步长)
- Initial step size (初始积分步长)
- Relative tolerance (相对误差)
- Absolute tolerance (绝对误差)

对于本书讨论的仿真分析来说，应当严格控制相对误差和绝对误差，一般设置为 $1E-8$ 左右，仿真起始时间一般设置为 0，仿真终止时间根据需要设定，其它仿真参数一般采用默认的设置。

完成了 Simulink 模型的创建和仿真参数设置后，就可以进行仿真分析了。单击 Simulink 主窗口工具栏上的 Start Simulation 按钮或通过 Simulation 菜单下的 Start 来启动仿真分析。仿真分析结束后，双击 Scope 模块可以显示仿真结果，如图 1-10 所示。

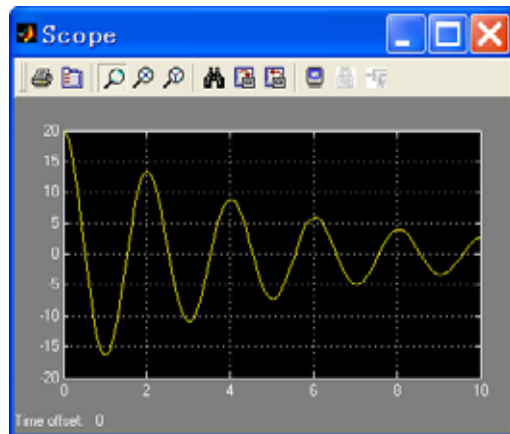


图 1-10 仿真结果显示

§ 1-5 Simulink 与 MATLAB

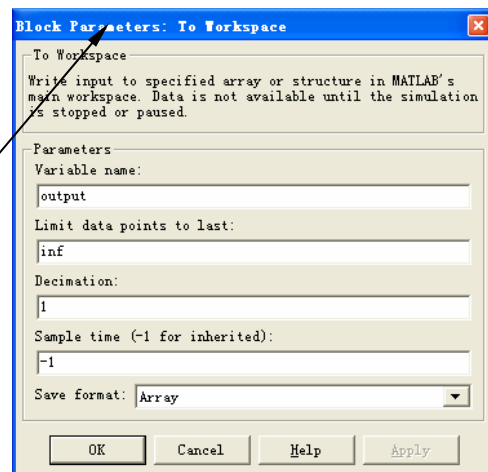
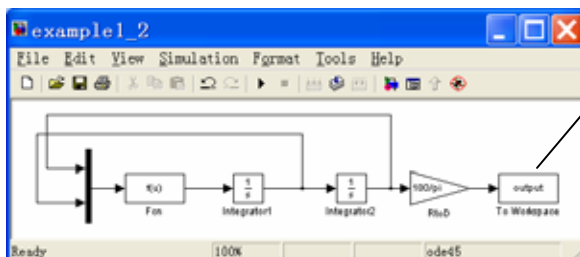


图 1-11 输出 Simulink 数据到 MATLAB 工作空间

1、输出 Simulink 数据到 MATLAB 工作空间

有时需要将 Simulink 的仿真数据输出到 MATLAB 工作空间,其最直接最简单的方法就是在 Simulink 模型中加入输出数据到 MATLAB 工作空间模块,并设置该模块的参数 Variable name,指明存放数据的变量名,同时对于本书涉及的仿真分析来说,还需要将参数 Save format 设置为 Array,其它参数可采用默认的设置,如图 1-11 所示。需要注意的是,Simulink 在仿真分析过程中自动将每一积分步的时间存储在变量 tout 中,这一点是非常重要的,因为 Simulink 一般采用变步长积分算法。

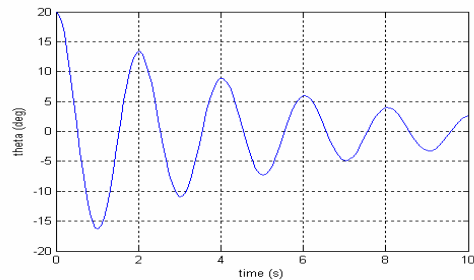


图 1-12 使用 plot 命令绘制的曲线

这样,就可以在 MATLAB 中使用这些数据了,例如可以在 MATLAB 命令窗口输入以下 plot 命令绘制 θ 随时间的变化历程,如图 1-12 所示:

```
plot(tout,output(:,1))
```

2、在 Simulink 中使用 MATLAB 函数

利用 Simulink 提供的 MATLAB 函数模块,可以将 MATLAB 的可编程能力和 Simulink 的高度可视化方法相结合,使得 Simulink 的建模功能更为强大。对于工程中遇到的大多数力学问题而言,并不能用类似于式(1-1)的一个简单的表达式来表述,而是一个非常复杂的关系,这时在 Simulink 模型中无法使用函数表达式模块来描述上述的复杂关系,而必须使用

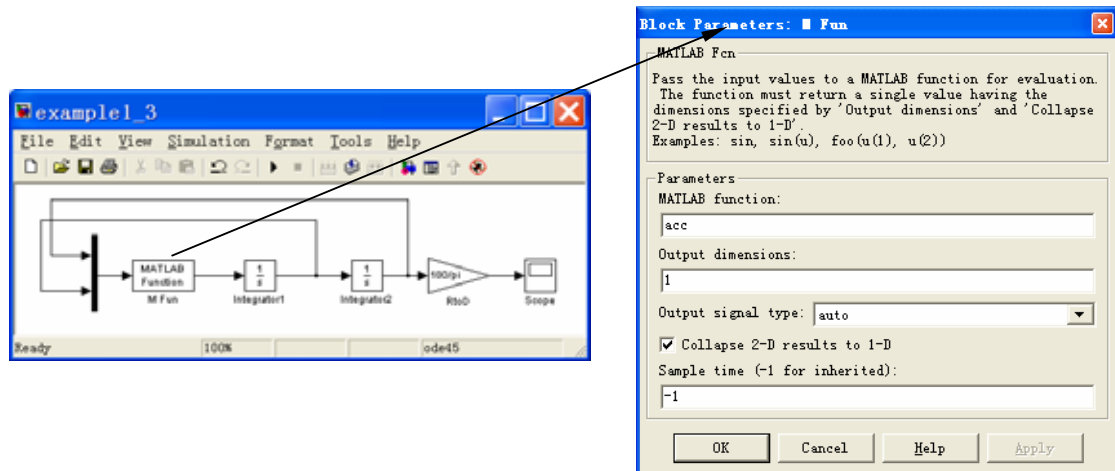


图 1-13 在 Simulink 中使用 MATLAB 函数

MATLAB 函数模块。仍以单摆为例,将图 1-5 的 Simulink 模型中的函数表达式模块 Fcn 替换为 MATLAB 函数模块 M Fun,设置函数名参数 MATLAB function,此处为 acc,指示该模块调用的函数文件名为 acc.m,设置返回列阵维数参数 Output width,这里为 1,指明返回一个标量,如图 1-13 所示,同时建立如下 MATLAB 函数 acc.m (关于 MATLAB 函数的建立可参考有关的文献和在线帮助)并存储在当前目录下:

```
function x=acc(u)
%
% Function to calculate angular acceleration
%
x=-0.4*u(2)-9.8*sin(u(1));
```

总之,无论是 MATLAB 还是 Simulink 都具有非常丰富的特色和功能,本章仅仅对理论力学过程分析需要用到的一些知识做了一个简要的介绍,和任何一个软件工具一样,只有反复练习使用才是掌握该软件的最好途径。