自动控制理论基础

姚寿文　陈　漫　编著

北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本教材主要内容包括 控制系统的动态数学模型、时域性能分析、控制系统的频率特性、根轨迹法、控制系统的综合和校正，在各章中应用 配套教学用 进行了控制系统相关内容的分析。该教材以机械系统为主要研究对象，重点进行了数学模型和系统分析介绍，突出基本概念的建立和解决机械类问题基本方法，对较深的理论推导进行适当简化，重点以工程应用为目的；书中编写了较多的例题和适当的习题，便于自学。

本教材适用于机械类及其他非控制专业本科生和自学者，也可为相关领域的技术人员提供参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

自动控制理论基础 / 姚寿文，陈漫编著. —北京：北京理工大学出版社，

ISBN

Ⅰ. ①自… Ⅱ. ①姚… ②陈… Ⅲ. ①自动控制理论-高等学校-教材

Ⅳ. ①

中国版本图书馆 CIP 数据核字（

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 号

邮 编 /

电 话 /（ ） （ ） （ ）

网 址 /

电子邮箱 /

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 毫米 毫米

印 张 /

字 数 / 千字

版 次 / 年 月第 版

印 次 / 年 月第 次印刷

印 数 / ~

定 价 /

责任校对 / 郑兴玉

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题，本社负责调换

前　言

随着科学技术的进步，自动控制技术在各个领域的应用已日趋广泛，不但使得生产设备或生产过程实现了自动化，大大提高了劳动生产率和产品质量，改善了劳动条件，还在人类征服大自然、改善居住、生活条件等方面发挥了非常重要的作用。

自动控制理论基础是研究自动控制基本规律的科学，是分析和设计自动控制系统的理论依据。本书是为适应应用型少学时机械类本科专业需要而编写的。自动控制理论按其发展的进程和研究的方法可分为经典控制理论和现代控制理论。考虑到实际工程中大量应用的是经典控制理论，以及研究生阶段开设“现代控制理论”课程的实际情况，本书以经典控制理论及其应用为主要内容，全书分为苑章，包括概论、控制系统的数学模型、控制系统的时域性能分析、自动控制系统的频域分析、控制系统的综合与分析、根轨迹法和现代控制方法简介。

编者根据实际讲授本课程的经验，结合工程应用和少学时的特点，力求突出重点，精简篇幅，强调物理概念，避免烦琐的数学推导，加强理论与实际的结合，突出机械应用的特色，紧密结合 配蓄藏蓄月在自动控制系统中的应用，使读者较易理解和掌握 配蓄藏蓄月在控制工程上的应用。为便于自学，本书列举了大量的例题，并设计了适量的习题。

本书由北京理工大学姚寿文主编，编写了第 员圆猿源和 苑章，并负责全书的统稿；陈漫编写了第 缘远章。本书由北京理工大学马彪教授担任主审，马彪教授仔细审阅了全书并提出了宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。并向所有为本书出版给予支持和帮助的同志致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，恳请广大读者和专家批评指正。

编著者

圆藏藏年 怨月

目　　录

第 1 章　自动控制理论概述 …… 1
1.1　自动控制理论历史及发展过程 …… 1
1.2　自动控制系统的工作原理及分类 …… 3
1.3　MATLAB 在自动控制理论的应用及基本概念 …… 6
1.4　课程主要内容及学时安排 …… 8
习　题 …… 8
第 2 章　控制系统的数学模型 …… 9
2.1　线性系统的微分方程 …… 9
2.2　非线性系统数学模型的线性化 …… 9
2.3　传递函数 …… 10
2.4　系统的动态结构图及化简 …… 12
2.5　信号流图及梅逊公式的应用 …… 16
2.6　脉冲响应函数 …… 18
2.7　传递函数 MATLAB 描述及其转换 …… 18
习　题 …… 19
第 3 章　控制系统的时域性能分析 …… 20
3.1　典型输入信号 …… 20
3.2　控制系统的时域性能指标 …… 21
3.3　一阶系统的瞬态响应 …… 22
3.4　二阶系统的瞬态响应 …… 23
3.5　高阶系统的瞬态响应 …… 24
3.6　控制系统的稳定性和稳定判据 …… 24
3.7　控制系统的稳态误差 …… 26
3.8　减小系统误差的途径 …… 27
习　题 …… 27
第 4 章　自动控制系统的频域分析 …… 28
4.1　频率特性的基本概念及 MATLAB 实现 …… 28
4.2　典型环节的频率特性 …… 30
4.3　开环控制系统频率特性绘制 …… 30
4.4　系统开环对数频率特性与闭环系统稳态误差的关系 …… 31
4.5　系统稳定性分析 …… 31
4.6　控制系统的相对稳定性和稳定裕量 …… 32
4.7　开环频率特性与系统性能指标的关系 …… 32
习　题 …… 32

第 5 章　根轨迹法 …… 121
5.1　根轨迹的概念 …… 121
5.2　根轨迹方程 …… 123
5.3　绘制根轨迹的基本法则 …… 126
5.4　根轨迹图绘制举例 …… 134
5.5　根轨迹的应用 …… 136
5.6　利用 MATLAB 绘制根轨迹 …… 138
习　题 …… 139
第 6 章　控制系统的综合与分析 …… 141
6.1　系统校正概述 …… 141
6.2　频率法串联校正 …… 142
6.3　系统希望对数频率特性 …… 145
6.4　反馈校正 …… 148
6.5　控制系统的复合校正 …… 150
6.6　离散控制 …… 152
习　题 …… 156
第 7 章　现代控制方法简介 …… 158
7.1　多变量鲁棒控制 …… 158
7.2　非线性控制理论 …… 161
7.3　智能控制 …… 163
7.4　计算机集成制造系统概述 …… 165
附录　常用函数拉普拉斯变换表 …… 168
参考文献 …… 171

第 员章　自动控制理论概述

所谓自动控制是在没有人直接参与的情况下，利用附加装置（自动控制装置）使生产过程或生产机械（被控对象）自动地按照某种规律（控制目标）运行，使被控对象的一个或几个物理量（如温度、压力、流量、位移和转速等）按照预定的要求变化。

自动控制源于工程实践，并随着生产的发展和技术的进步不断完善，又反过来指导工程实践。自动控制已渗透到人类生活的各个领域，在机械制造业和精密仪器的应用越来越广泛和深入，如数控机床、工业机器人、动态测试等都要用到自动控制的基础知识。在车辆工程领域，控制理论的应用也日益广泛，如发动机控制、制动防抱死装置 粤斩杂牵引力控制系统 耕悬杂主动悬挂等无不体现着自动控制的基本知识。

异员圆员　自动控制理论历史及发展过程

控制论的奠基人维纳从 员怨怨年就已经萌发了控制论的思想。第二次世界大战期间，维纳参加了火炮自动控制的研究工作，他将火炮自动打飞机的动作与人的狩猎行为作了对比并发现了极为重要的反馈概念。他认识到：稳定活动的方法之一是把活动的结果所决定的量，作为信息的新的调节部分，再反馈到控制仪器中，这就是负反馈。即使驾驶一辆车的人类活动，都是由负反馈调节。人们并不是按固定的模式操纵驾驶盘，而是发现靠左了，就向右做校正，反之亦然。因此他认为，目的性行为可以用反馈来代替，并把目的性行为这个生物所特有的概念赋予仪器。控制论萌芽的重要标志是维纳在 员怨源猿年发表的《行为，目的和目的论》。员怨源愿年，维纳的《控制论》出版，标志着这门学科的正式诞生。

控制论是自动控制、电子技术和计算机科学等多种学科相互渗透的产物，一方面，火炮、导弹和航天控制技术快速地发展，数控、电力和冶金自动化技术突飞猛进；另一方面，控制理论也日渐成熟。员怨缘源年我国科学家钱学森在美国运用控制论的思想和方法，首创了工程控制论，把控制论推广到工程技术领域。目前，控制论已深入到各行各业，并在继续发展。

根据控制理论发展的进程和研究方法，控制理论可分为“古典控制理论”和“现代控制理论”两大部分。

“古典控制理论”的内容是以传递函数为基础，主要研究单输入、单输出这类控制系统的分析和设计问题。

“现代控制理论”是在“古典控制理论”的基础上，于 圆园世纪 远园年代以后发展起来的。它的主要内容是以状态空间法为基础，研究多输入，多输出、变参数、非线性、高精度、高效能等控制系统的分析和设计问题。最优控制、系统辨识、自适应控制等理论都是这一领域的主要研究课题，特别是 圆园世纪 愿园年代以来，由于电子计算机技术和现代应用数学研究的迅速发展，又使现代控制理论在大系统理论和模仿人类智能活动的人工智能控制等方面有了突飞猛进的发展。

第1章 自动控制系统的工作原理及分类

自动控制系统是指在没有人直接参与的情况下，通过控制器使生产过程或被控对象的某些物理量准确地按照预期规律变化。如制动防抱死系统能够在汽车制动过程中根据地面附着力来实时调节制动力，工业机器人可按工业要求进行操作等，所有这些系统都有一个共同点，即它们都是一个或一些物理量按照给定量的变化而变化，给定量可以是具体的物理量，例如电压、温度等，也可以是数字量。如果给定量是恒定的，一般把这种控制系统称为恒值调节系统，如稳压电源、空调等恒稳系统。如果被调量随着给定量（输入量）的变化而变化，则称调节系统或随动系统，例如转速调节系统，位置随动系统等。一般地，控制系统所要解决的基本任务就是如何使被控量按照给定量的变化规律而变化。学习自动控制这门课程要解决两个基本问题：其一是如何分析某个给定控制系统的工作原理、稳定性及品质；其二是如何根据实际需要进行控制系统的设计，并用机、电、光和液压等元部件或设备来实现这一系统。前者主要是分析系统，后者是设计和综合，但无论要解决哪个问题，都必须具有丰富的控制理论知识。

1.1 自动控制系统的工作原理

首先研究水位控制系统这个例子。实现水位控制有两种方法：人工控制和自动控制。图1.1为人工控制的水位控制系统。人们可以通过阀门开度达到水位控制的目的。人工调节过程为：

观测实际水位，将实际水位与要求的水位值相比较，得出两者偏差。根据偏差的大小和方向调节进水阀门的开度，即当实际水位高于要求值时，关小进水阀门开度，否则加大阀门开度以改变进水量，从而改变水箱水位，使之与要求值保持一致。

因此，人工控制的过程就是测量、求偏差、再控制以纠正偏差的过程。简而言之，控制就是检测偏差并用以纠正偏差的过程。

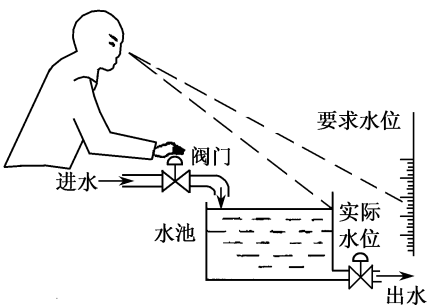


图 1.1 水箱水位的人工控制系统示意图

对于这样简单的控制形式，如果能找到一个控制器代替人的智能，那么这样一个人工调节系统就可变成一个自动控制系统了。图1.1就是一个自动控制系统。阀门的开度由电位器电压控制，浮子为实际水位的测量装置，当实际水位低于要求水位时，电位器输出电压值为正，且其大小反映了实际水位与水位要求值的差值，放大器输出信号将有正的变化，电动机带动减速器使阀门开度增加，直到实际水位重新与水位要求值相等时为止。因此，水位自动控制的目的是消除或减小偏差，使实际水位达到要求的水位值。

比较上述人工控制和自动控制可知，执行机构类似于人手，测量装置相当于人眼，控制器类似于人脑。另外，它们之间还有一个共同的特点，就是都要检测偏差，并用检测到的偏差去纠正偏差，可见没有偏差便没有调节过程。在自动控制系统中，这一偏差是通过反馈建立起来的。反馈就是指输出量通过适当的测量装置将信号全部或一部分返回输入端，使之与输入端进行比较，比较的结果称为偏差。基于反馈基础上的“检测偏差用以纠正偏差”的原理又称为

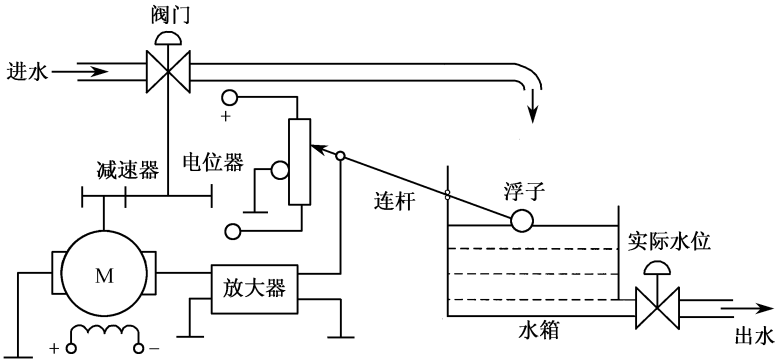


图 员原圆　水箱水位自动控制系统的示意图

浮子—测量作用 连杆—比较作用 放大器、伺服电动机和减速器—调节作用 阀门—执行元件作用

反馈控制原理，利用反馈控制原理组成的系统称为反馈控制系统。

图 员原猿所示为水位自动控制系统的智能方框图。⊗表示比较元件，方框表示各个环节，箭头代表信号的流动。从图中可看到反馈控制的基本原理，也可以看到各职能环节的作用是单向的，每个环节的输出受输入控制。总之，实现自动控制的装置可各不相同，但反馈控制的原理确是相同的，可以说，反馈控制是实现自动控制最基本的方法。

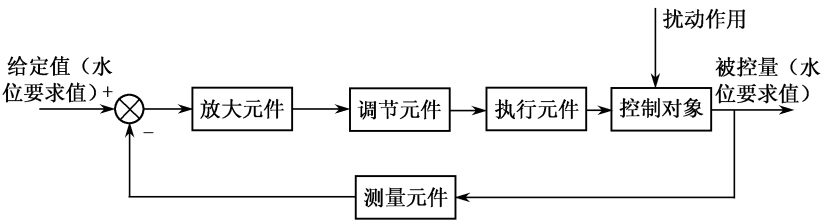


图 员原猿　水位自动控制系统的智能方框图

员圆圆圆　开环控制与闭环控制

按照有无反馈测量装置分类，控制系统分为两种基本形式，即开环控制系统和闭环控制系统，如图 员原源所示。

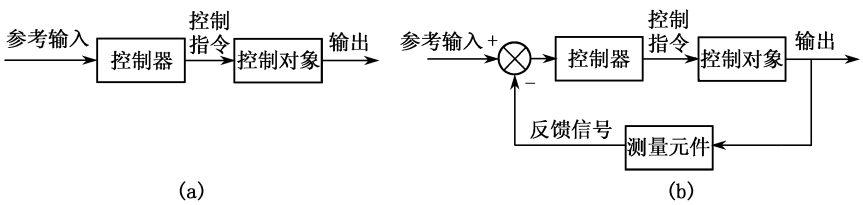


图 员原源　控制系统的基本类型

(葬 开环系统；(遭 闭环系统

开环系统是没有输出反馈的一类控制系统。这种系统的输入直接供给控制器，并通过控制器对受控对象产生控制作用。开环系统的主要优点是结构简单、价格便宜、容易维修，主要缺点是精度低，容易受环境变化的干扰（如电源波动、温度变化等）影响。在工业和国防等要求较高的应用领域，绝大多数控制系统的基本结构方案都是采用反馈原理（图 员原源遭），其输出的全部或部分反馈到输入端。输入和反馈信号比较后的差值（即偏差信号）加给控制器，然后再调节受控对象的输出，从而形成闭环控制回路。所以，闭环控制系统又称为反馈控制系统，这种反馈称为负反馈。闭环控制系统的突出优点是精度高、动态性能好、抗干扰能力强等，缺点是结构比较复杂、价格比较贵，维修人员要求文化素质高等。

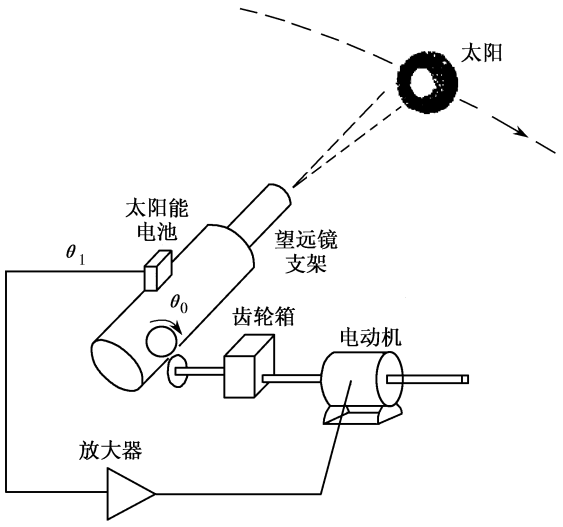


图 员原缘 太阳观测器系统简图

图 员原缘所示的太阳观测器系统是反馈控制系统，也叫闭环控制系统。这种系统的特点是系统的输出端和输入端间存在反馈回路，即输出量对控制有直接作用。闭环的作用就是应用反馈来减少偏差。

闭环控制的突出优点是精度高，闭环控制可及时减小干扰引起的偏差。图 员原远所示的闭环调速系统能有效降低负载力矩对转速的影响，例如负载加大，转速会降低，但有了反馈，偏差就会增大，电机电压就会升高，转速又会上升。

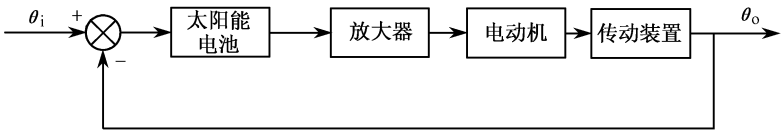


图 员原远 太阳观测器控制系统方框图

由于闭环系统是靠偏差进行控制，对于反馈控制系统，由于元件的惯性或负载的惯性，调节不好容易引起振荡，使系统不稳定。因此，精度和稳定性之间的矛盾始终是闭环系统存在的主要矛盾。

从稳定性的角度看，开环系统比较容易建造，结构也比较简单，因为开环系统不存在引入反馈产生的稳定性问题。

值得注意的是，机械动力学系统，也可画成具有反馈的方框图，但这个反馈不是人为加上的，而是机械系统所固有的，一般来说这不叫反馈控制系统，但它可用反馈控制理论来分析，可认为是存在内反馈的反馈系统。

1.2.2　反馈控制系统的基本组成

图 1.2.1 是一个典型的反馈控制系统，该图表示了这些元件在系统中的位置及其相互关系。由图可以看出，作为一个典型的反馈控制系统应该包括给定元件、反馈元件、比较元件（或比较环节）、放大元件、执行元件及校正元件等。

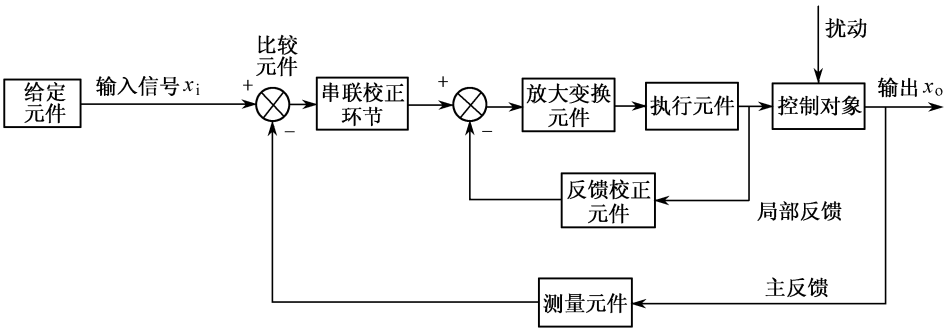


图 1.2.1　典型的反馈控制系统方框图

给定元件：主要用于产生给定信号或输入信号，例如调速系统的给定电位计。

反馈元件：它测量被调量或输出量，产生反馈信号（该信号与输出量存在确定的函数比例关系），如调速系统的测速电机。

比较元件：用来比较输入信号和反馈信号之间的偏差。可以通过电路实现，有时也叫比较环节。

放大元件：对偏差信号进行信号放大和功率放大的元件，例如伺服功率放大器；

执行元件：直接对控制对象进行操作的元件，例如执行电机、液压电动机等。

控制对象：控制系统所要操纵的对象。例如机床、工作台等。它的输出量为系统的被调量（被控制量）；

校正元件（校正装置）：用以稳定控制系统，提高性能。主要有反馈校正和串联校正两种。

1.2.3　自动控制系统的基本类型

从信号传送的结构特点将控制系统分为开环控制系统与闭环控制系统。按照其他分类原则还可分为：

（1）模拟控制系统和数字控制系统：根据采用的信号处理技术的不同而分为模拟控制系统和数字控制系统。凡是采用模拟技术处理信号的控制系统称为模拟控制系统，而采用数字技术处理信号的控制系统称为数字控制系统。随着微处理机技术的成熟和成本的降低，数字控制系统越来越广泛，形成了计算机控制系统。微处理机在控制系统中的作用是负责采集信号、处理控制规律以及产生控制指令等。

（2）随动系统与自动调整系统：随动系统又称为伺服系统。特点：给定值是预先未知的、随时间任意变化，要求系统被控量以尽可能小的误差跟随给定值变化。自动调整系统又称为恒值控制系统、定值调节系统或自动镇定系统。特点：系统输入量（即给定值）不变，但由于扰动使被控量偏离要求值，该系统能根据偏差产生控制作用，使被控量恢复到要求值，并以一定

的准确度保持在要求值附近。

⑻线性系统和非线性系统：线性系统是指组成系统元器件的静态特性为直线，能用线性常微分方程描述其输出与输入关系的系统，其主要特点是具有叠加性和齐次性。

非线性系统是指组成系统的元器件中有一个以上具有非直线的静态特性的系统。非线性系统还可分为非线性时变系统与非线性定常系统。严格地说，实际上不存在线性系统，这是因为各种实际的物理系统总是具有不同程度的非线性，但只要非线性不严重，在一定范围内能用线性系统的理论和方法对待的系统都可视为线性系统。

⑼连续系统与离散系统：连续系统，各部分的输入和输出信号都是连续变化的模拟量，可用微分方程来描述各部分输入、输出关系的系统。离散系统，某一处或多处的信号以脉冲序列或数码形式传递的系统。离散系统也有线性离散系统和非线性离散系统、定常离散系统和时变离散系统之分。

⑽单输入、单输出系统与多输入、多输出系统：单输入、单输出系统的输入量和输出量各只有一个，也称为单变量系统。多输入、多输出系统的输入量和输出量个数多于一个，也称为多变量系统。

⑾确定系统与不确定系统：若系统的结构和参数是确定的、预先可知的，系统的输入信号（包括给定输入和扰动）也是确定的，则可用解析式或图表确切地表示，这种系统称为确定系统。系统本身的结构和参数不确定或作用于系统的输入信号不确定时，则称这种系统为不确定系统。

⑿集中参数系统和分布参数系统：能用常微分方程描述的系统称为集中参数系统，不能用常微分方程而必须用偏微分方程描述的系统称为分布参数系统。

本课程中涉及的内容主要是单变量、集中参数、线性、定常、连续系统。

1.3.2 控制系统的基本要求

自动控制系统用于不同的目的，要求也有所不同。但自动控制技术是研究各类控制系统共同规律的一门技术，对控制系统有一个共同的要求，一般可归结为稳定、准确、快速。

⑴稳定性：由于系统往往存在着惯性，当系统的各个参数设置不当时，将会引起系统的振荡而失去工作能力。稳定性就是指动态过程的振荡倾向和系统能够恢复平衡状态的能力。输出量偏离平衡状态后应该随着时间收敛并且最后回到初始的平衡状态。稳定性要求是系统工作的首要条件。

⑵快速性：这是在系统稳定的前提下提出的。快速性是指当系统输出量与给定的输入量之间产生偏差时，消除这种偏差过程的快速程度。

⑶准确性：指在调整过程结束后输出量与给定的输入量之间的偏差，或称为静态精度，这也是衡量系统工作性能的重要指标。例如数控机床精度越高，则加工精度也越高。

由于受控对象的具体情况不同，各种系统对稳、准、快的要求各有侧重。例如，随动系统对快速性要求较高，而调速系统对稳定性提出较严格的要求。同一系统稳、准、快有时是相互制约的。快速性好，可能会有强烈振荡；改善稳定性，控制过程又可能过于迟缓，精度也可能变差。分析和解决这些矛盾是本学科讨论的重要内容。

异员圆猿　酝耘罩蕴澡月在自动控制理论的应用及基本概念

控制系统计算机辅助分析的初期一般采用完全自己编程来实现数据计算和图形处理功能。如若需求系统的阶跃响应曲线，则首先编写求解微分方程的子程序，并由计算机求解出阶跃响应数据，然后再编写绘图程序绘制响应曲线。由此可见，绘制简单阶跃响应曲线也较烦琐，且没有规范，不能保证求解结果的正确性。而 酝耘罩蕴澡月的面世，特别是各种控制系统工具箱及 仿真蕴藏运的发展，极大地方便了控制系统的分析，并已成为风行国际的控制系统计算机辅助分析的强有力工具。

员圆圆员　酝耘罩蕴澡月简介

员怨愿员年，美国的 怀尔斯·莫勒博士研制了 酝耘罩蕴澡月环境（或语言）。该语言原本是为线性代数等课程提供一种方便可行的实验手段。该软件提供了丰富的矩阵处理功能且极易使用，使得其获得了广泛的应用。酝耘罩蕴澡月除了交互式编程之外，它提出了丰富可靠的矩阵运算，图形处理、数据处理、图像处理、方便的 宰型编程等便利工具。酝耘罩蕴澡月风靡国际控制界的一个根本原因是其内含数以百计的各种实用工具箱，如控制系统工具箱、系统辨识工具箱、鲁棒控制工具箱、多变量频域设计工具箱、分析与校正工具箱，神经网络工具箱、最优化工具箱，信号处理工具箱以及仿真环境等。图 员原愿为 酝耘罩蕴澡月的主界面。

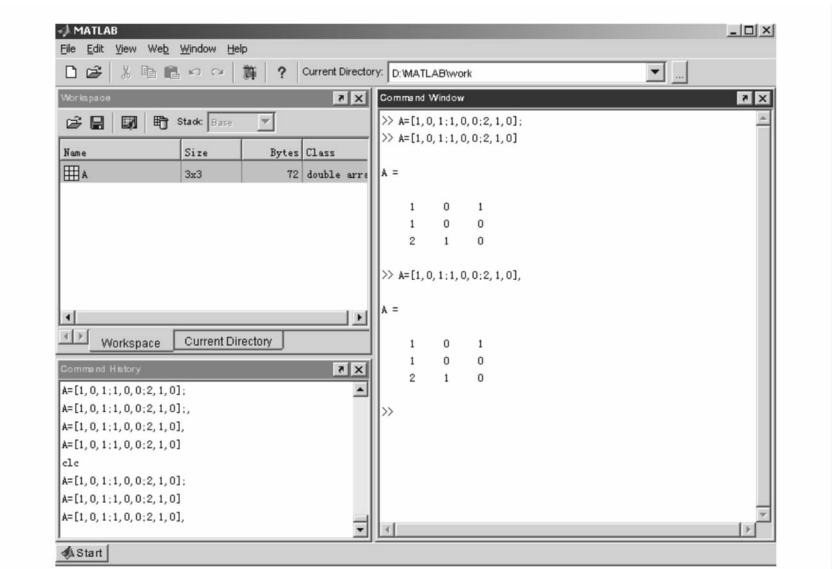


图 员原愿　酝耘罩蕴澡月主界面

员圆圆圆　酝耘罩蕴澡月语言特点

酝耘罩蕴澡月以复数矩阵为最基本的运算单元，既可以对它整体地进行处理，也可对它的某个或某些元素进行单独处理。在 酝耘罩蕴澡月中，数据的存储、输入和输出都是以矩阵为基础的，矩

阵和其他变量不需要预先定义。配套教学用语言最基本的赋值语句结构为：

变量名列表 越表达式

其中等号左边的变量名列表为配套教学用语句的返回值，等号右边的是表达式的定义，它可以是配套教学用允许的矩阵运算，也可以包含配套教学用下的函数调用。等号右边的表达式可以由分号结束，也可以由逗号或换行结束，但含义不同。如果用分号结束，则左边的变量结果将不在屏幕上显示出来，否则将把左边返回矩阵的内容全部显示出来。

配套教学用提供两种文件格式，该文件由学生编码构成，称为酝文件，它只有由配套教学用支持的语句构成，执行方式简单，可在配套教学用的提示符跃跃下键入该酝文件名或图员原怨所示的界面中的调试菜单内子菜单则默命令执行。

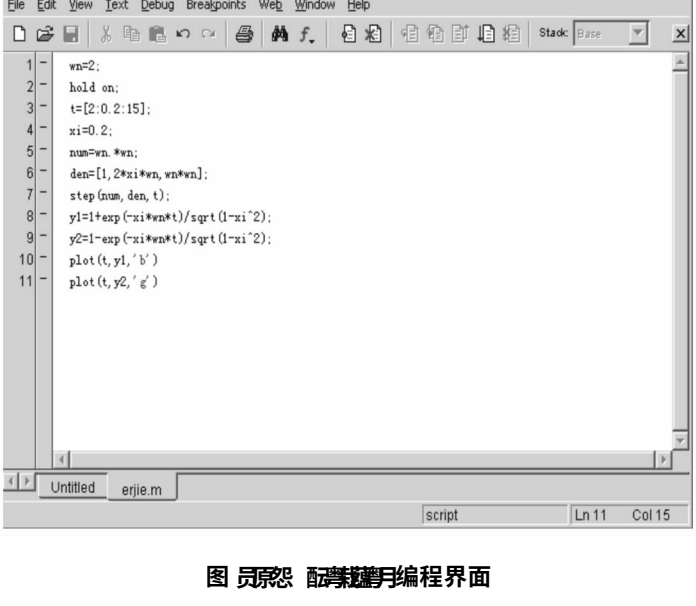


图 员原怨 配套教学用编程界面

配套教学用的另一种，也是最常用的特殊酝文件称为配套教学用函数，该函数由 藻杂糟凿语句引导，基本格式如下：

藻杂糟凿返回变量列表 越函数名 (输入变量列表)

注释说明语句

函数体语句

调用时在配套教学用提示符下键入函数名，一定要包括输入变量。类似于悦语言的子程序调用，如

藻杂糟凿责藏藏 泽蚤(曾藻糟 曾藻糟)

豫曾藻糟 曾藻糟

曾越曾藻糟:皂糟(园藏藏):(曾藻糟原曾藻糟 辕责藏藏):曾藻糟;

责藏藏曾 泽蚤(曾)；

配套教学用的函数名定义几乎和数学描述一样，接近书写计算公式的思维方式，如 皂糟()，皂糟()。它的基本命令包括数学函数、矩阵、数值方法、绘图、字符串、文件 陨辕韵等。扩充工具

箱包括 控制系统，信号处理、神经网络、系统辨识、数据统计、数理逻辑、通信等。 具有完备的图形、打印和联机帮助功能。

特点

如果控制系统的结构很复杂，则若不借助专用的系统建模软件，在过去很难准确地把一个控制系统的复杂模型输入计算机，并进行仿真分析。 年 软件公司为 提供了新的控制系统模型图形输入与仿真工具，并在控制界得到了广泛的应用，后被命名为 (仿真)、(连接))，即可通过鼠标将模型窗口“画”出所需的控制系统模型，然后利用 提供的功能进行系统的仿真，其优点是可以使得一个很复杂系统的输入变得相当容易且直观。

(1) 控制系统框图模型建立。

进入 环境后，键入 命令 (或鼠标点击图 的图标) 就可打开系统模型库浏览器，如图 所示。打开浏览器的 可以看到 下还包括诸如 等许多子模型库。

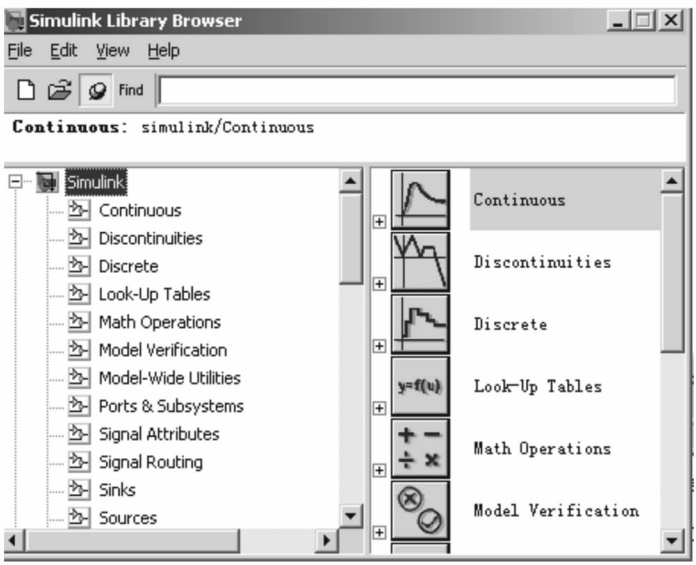


图 系统模型库及子模型库

若想输入一个控制系统结构框图，则其基本步骤是：

① 选择“”图标，此时将打开一个“”的模型编辑窗口，允许用户输入自己的模型框图；

② 打开各子模型库后选取所需的子模块，并将之拖动到所打开的“”模型窗口，鼠标双击子模块，显示模块参数对话框，用户可进行修改以满足系统仿真的需要；

③ 根据系统的流程连接各子模块，连接的方法是用鼠标点起点模块的输出端 (三角符号)，然后拖动鼠标，将它的箭头拉到终点模块的输入端再释放鼠标，则 自动产生一条带箭头的连线，将两个模块连接起来。

(2) 利用 Simulink 进行数字仿真。

建立好系统模型后，打开 Simulink 菜单，选择 Simulation Parameters 设置仿真控制参数，如图 5-1 所示。

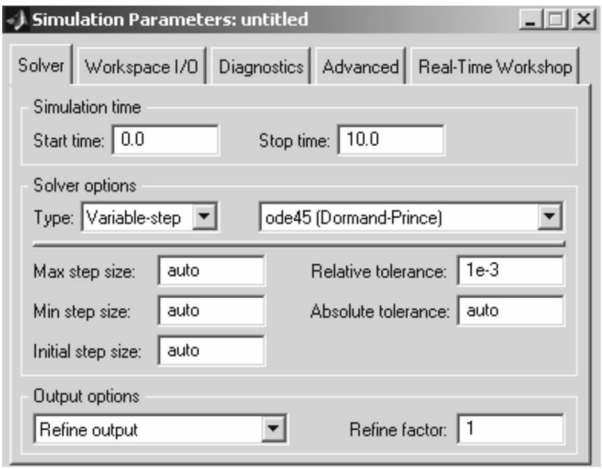


图 5-1 Simulation Parameters 对话框

① 仿真算法 (Solver) 的选择。应该针对解决实际问题的需要，选择合适的步长和算法。

② 仿真范围的指定。仿真范围由 Start time 和 Stop time 决定，因此用户需在这两个文本框内输入适当的数据。

③ 仿真精度。采用变步长算法时，应先指定一个允许误差限 (默认值 1e-3)，使得当误差超过这一误差限时，会自动地对仿真步长作适当的修正。

一般地，用户仅需输入以上参数即可选择 Start 选项启动仿真过程，如果仿真模型中有些参数未定义，则系统会弹出消息框通知用户，否则就可以进行仿真分析。在实际仿真过程中，可选择 Pause 或 Stop 来暂停或恢复仿真过程。

5.2 课程主要内容及学时安排

自动控制理论主要阐述有关古典反馈自动控制技术的基础理论。当前，控制理论越来越广泛地应用于精密仪器和机械制造业。本课程是机械类专业本科的一门非常重要的技术基础课。它是适应机电一体化的技术需要，针对机械对象的控制，结合经典控制理论形成的一门课程。本课程涉及经典控制理论的主要内容及应用，并突出了 MATLAB 在控制系统设计、分析中的应用。

本课程在高等数学、理论力学、电工电子学等先修课的基础上，使学生掌握机电控制系统的基本原理及必要的使用知识。本课程的研究对象以单输入单输出线性定常控制系统为主，研究内容涵盖系统分析和综合两个方面。系统分析是在系统给定的条件下，建立物理系统的数学模型，在此基础上定性或定量地分析控制系统的性能，主要有：①稳定性判别，稳态、瞬态

性能指标计算；②确定性能和系统参数之间的关系；③提出改善系统性能的途径。控制系统的设计是在被控对象和控制目标确定的情况下，选择执行机构、传感器和放大器构成反馈控制系统的基本部分。一般地，只有基本部分的控制系统很难满足性能指标要求，还需一附加装置以改善系统的性能，称此为校正装置。控制系统中有时将校正装置与放大器合并在一起，称为控制器。系统综合指的是控制系统校正装置或控制器的综合，是在系统基本部分和性能指标已知时，求取校正装置或控制器数学模型的过程，是控制系统整体设计的重要组成部分。

本课程第员章为概论，要求了解控制系统的发展简况并掌握控制系统的基本概念及酝蒋郧缮月的基本操作。第圆章为系统数学模型建立，要求掌握建立机电系统动力学模型的方法及化简。第猿章为时域分析方法，要求掌握典型输入信号系统瞬态响应特点及时域性能指标的计算、掌握系统稳定的充分必要条件，掌握劳斯判据和系统误差的计算方法。第源章为系统的频域分析方法，要求掌握幅频特性、相频特性等基本概念，掌握乃氏图和伯德图的画法，了解频域性能指标的提法。第缘章为根轨迹分析方法，要求掌握根轨迹的基本概念，绘制根轨迹的基本法则及基本应用。第远章为系统的设计综合，掌握系统校正的概念及控制器的设计方法。第苑章为现代控制方法的简介，增强读者对现代控制的认识。

本课程讲授猿圆～源愿学时，其中含实验课源～愿学时。实际授课时，可根据对象、要求及实验条件的不同作适当增减。

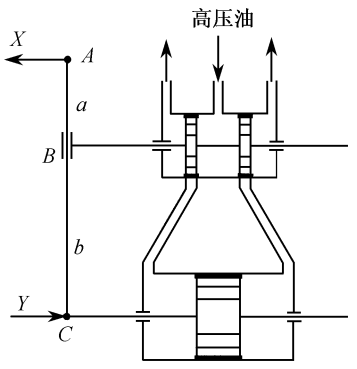
习　题

员原员　试比较开环控制系统和闭环控制系统的优缺点。

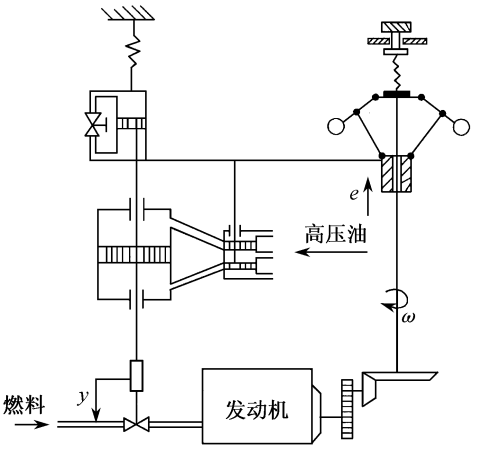
员原圆　试论述控制系统的基本要求及其相互关系。

员原猿　题图 员原猿为一种简单的液压系统工作原理图。其中，x 为输入位移，y 为输出位移，试画出该系统的职能方框图。

员原源　试画出题图 员原源所示的离心调速器的职能方框图。



题图 员原猿



题图 员原源

员原缘　车辆防抱死制动系统（即 ABS）是汽车上典型的自动控制系统，试查阅其作用原理并画出其职能方框图。

员原远　试举出日常生活中几种自动控制系统的应用，并用职能方框图说明其工作原理，从控制系统的分类指出是何种控制系统。

员原苑　试说明 PID 控制器的特点，并举例说明 PID 控制器在控制系统的应用。