MATLAB /Simulink

机电系统建模与仿真

宋志安 张鑫 宋玉凤 等著

- 系统、全面的机电一体化建模仿真内容
- 丰富、详尽的MATLAB建模仿真源程序
- 简洁、实用的精选机电一体化应用实例
- MATLAB/Simulink同AMESimSolidWorks等仿真软件的应用结合

國防工業出版社
National Defense Industry Press

MATLAB/Simulink
机电系统建模与仿真

宋志安　张　鑫　宋玉凤　郝妮妮
王文超　杜小振　谷明霞　著

国防工业出版社
·北京·

内容简介

本书融合了大学本科期间所学机械原理、电工学、液压传动和机械工程控制基础等机电一体化专业知识，运用 SolidWorks、AMESim 与 MATLAB/Simulink 的接口和数据共享，全面、系统地介绍了基于 MATLAB/Simulink 机电一体化的数学建模与物理建模仿真的应用成果。

全书共分 8 章，内容包括绪论、MATLAB 基础知识、MATLAB/Simulink 与数学建模、MATLAB/Simulink 应用实例、机械平面结构物理建模与仿真、电路系统建模与仿真、液压技术物理建模与仿真、机电一体化应用实例。其中，第 5、6 章分别介绍了机械与电路系统子模块组、范例及其模块定义语言；第 7 章介绍了液压传动与控制典型回路的物理建模实例，AMESim 与 MATLAB 间共享仿真结果数据；第 8 章是作者多年在 MATLAB/Simulink 领域的科研实践介绍。

本书可作为高等院校机械工程专业的研究生或高年级本科生学习机电一体化系统建模仿真用书，也可作为机电领域工程技术人员、科研人员和机电一体化系统建模仿真爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB/Simulink 机电系统建模与仿真/宋志安等著. —北京：国防工业出版社，2015.9

ISBN 978-7-118-10416-3

Ⅰ.①M… Ⅱ.①宋… Ⅲ.①机电系统－系统建模－Matlab 软件 ②机电系统－系统仿真－Matlab 软件 Ⅳ.①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 216379 号

安徽大学图书馆 藏书 www.lib.ahu.edu.cn

※

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 15¾　字数 360 千字

2015 年 9 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

序

对一个机电工程问题的理论研究，往往首先写出时域中描述系统（或元件）动态特性的微分方程，以它为基础得到描述系统（或元件）动态特性其他形式的数学模型。系统的数学模型通常有两种描述方法：一种是输入—输出描述，微分方程是这种描述的最基本形式，传递函数、方框图等其他形式的数学模型均由它导出；另一种是状态变量的状态方程描述，适用于多变量控制系统的内部特性的输入、输出的关系。但建立一个系统的合理数学模型并非是件容易的事，这需要对其元件和系统的构造原理、工作情况等有足够的了解，在工程上，常常做一些必要的假设和简化，忽略对系统特性影响小的因素，并对一些非线性关系进行线性化处理，得到既具有最简化的形式，又准确的合理数学模型。

作者多年来一直担任“机械工程控制基础”和“液压控制系统”等课程的教学工作，在“机电控制系统数学模型”的教学中，根据牛顿定律或基尔霍夫定律列出时域微分方程，再由这些微分方程模型得到状态方程和传递函数的 MATLAB 描述，利用 MATLAB 对系统进行时域分析；绘制系统各个环节单位阶跃输入的 Simulink 方框图模型，判断系统的稳定性。自 2008 年以来，宋志安老师已经连续完成四部基于 MATLAB/Simulink 的机械工程控制基础和液压控制系统方面的著作（见文献[1,2]），本书就是在上述著作研究的基础上，又添加了机电系统物理建模方面的研究内容。

MATLAB/Simulink 提倡并实践了的多领域物理建模理念为复杂工程提供了新的思路。领域专家开发了自己专业领域 Simscape 框架下的模块集，根据所研究领域的硬件，按照信号流向，用户像装配硬件系统那样将封装的部件组装（连接）起来，形成物理仿真模型，这种按照硬件装配的模式用搭积木的方法建立起的仿真模型易于检验，如果有错误很容易查出来，若需要修改系统结构也可以用简单的方法直接完成。对于机械专业的学生来说，数学建模是掌握控制系统建模与仿真的理论基础，而读懂平面机构图、电路图和液压系统职能符号图等，是学好物理建模的基本功，而数学建模与物理建模相结合，互为补充，相互验证，更能加深学生对机电一体化建模仿真理论和应用的理解。

本书融合了大学本科期间所学机械原理与机械零件、电工学、液压传动和机械工程控制基础等机电一体化专业知识，运用 SolidWorks、AMESim 与 MATLAB/Simulink 的接口和数据共享，实现了机构和液压传动仿真结果的可视化，全面、系统地介绍了基于 MATLAB/Simulink 的机电一体化的数学建模与物理建模仿真的应用成果。

这是一部反映数学建模仿真和物理建模仿真工程应用的著作，我在此向各位读者推荐这本书，它既可作为高等院校机械工程专业的研究生或本科高年级学生学习建模仿真用书，也可作为机电领域工程技术人员、科研人员和机电一体化系统仿真爱好者的参考书。

哈尔滨工业大学教授、中国工程院院士：

前　言

近年来 MATLAB/Simulink 在控制系统仿真、分析与设计方面得到了广泛的应用，其自身也因此得到了迅速发展，功能不断扩充。数学建模下的仿真是在系统模型已知的前提下演示的，这些模型是利用传统建模步骤建立起来的。在传统建模方法中，往往可以根据物理定律写出系统的微分方程，例如，电路系统可以根据基尔霍夫定律列出电路方程，而简单机械运动可以根据牛顿定律列出微分方程模型，再由这些微分方程模型得到状态方程、传递函数和 Simulink 模型，最后才能对系统进行仿真分析。

Simulink 提倡并实践了的多领域物理建模理念为复杂工程提供了新的思路。领域专家开发了自己专业领域的模块集，其中很多模块集建立在 Simscape 框架下，基本的思路都是根据所研究领域的硬件，按照信号流向，用户像装配硬件系统那样将封装的部件组装（连接）起来，形成物理仿真模型。Simulink 根据这样的物理模型自动生成数学模型和仿真模型，可以直接对这样的模型进行仿真。该思路的优点是：可以按照硬件装配的模式，用搭积木的方法建立起仿真模型，建立起的模型易于检验，如果有错误很容易查出来，若需要修改系统结构，也可以用简单的方法直接完成。另外，领域研究者可以根据所研究系统的功能，分别建立数学模型和物理模型，相互验证仿真结果的正确性；对非领域研究者来说，这样的建模方法无需深厚的领域理论研究背景，只需要了解部件怎么连接就可以了，这使得跨学科的仿真研究成为可能。还有最重要的一点，整个模型是在 Simulink 统一框架下建立起来的，从系统仿真角度看，物理建模方法是有优势的。

物理建模的依据是平面机构运动简图符号绘制标准（GB 4460—84）、电气简图用图形符号（GB/T 4728.1—2005）和《液压气动图形符号》（GB/T 786.1—2009）。对于机械专业的学生来说，数学建模是掌握控制系统建模与仿真的理论基础，而读懂平面机构图、电路图和液压系统职能符号图等，是学好物理建模的基本功，数学建模与物理建模相结合，互为补充，相互验证，可加深学生对机电一体化理论和应用的理解。

为了更好地推动 MATLAB/Simulink 在机电一体化系统的建模与仿真中应用，在借鉴以往类似参考文献与教材经验并弥补其中不足的基础上，我们结合日常的科研和教学工作编写了此书。全书从实用角度出发，通过大量的典型范例，结合 MATLAB/Simulink 的功能、操作及其在机电一体化系统中的应用进行了详细论述，书中的范例作者都已经在机电一体化系统的科研和教学实践中做过验证，是作者多年来科研和教学工作的结晶。

本书融合了大学本科期间所学机械原理、电工学、液压传动和机械工程控制基础等机电一体化专业知识，运用 SolidWorks、AMESim 与 MATLAB/Simulink 的接口和数据共享，实现了机构和液压传动仿真结果的可视化，全面、系统地介绍了基于 MATLAB/Simulink 的机电一体化的数学建模与物理建模仿真的应用成果。

本书可作为高等院校机械工程专业的研究生或本科高年级学生学习建模仿真用书，

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

也可作为机电领域工程技术人员、科研人员和机电一体化系统仿真爱好者的参考书。

本书第1章由张鑫教授编写，第2章由郝妮妮博士和谷明霞博士编写，第3章由杜小振博士和山东泰山矿产资源检测研究院王文超高工编写，第4章由宋玉凤老师编写，其余章节由宋志安教授编写。全书由宋志安教授统稿。本书在编写的过程中得到了尤洛卡公司的大力协助，张艳、房云涛、刘建文和吕会贤等研究生也提供了许多帮助，在此一并致谢。

江苏师范大学的周连佺教授、山东科技大学范云霄教授和王全为教授在百忙之中审阅了全书，并提出了许多修改意见，在此表示衷心的感谢！

由于时间仓促，加之作者水平和经验所限，书中错漏之处在所难免，敬请读者指正。

作者信箱：songzhan@sdust.edu.cn/songzhian2005@126.com。

作　者

2015年7月于青岛

目　录

第 1 章　绪论 …… 1

1.1　机电一体化系统的一般概念 …… 2

1.2　开环控制系统与闭环控制系统 …… 3

1.3　机电一体化系统的分类 …… 4

1.3.1　线性控制系统和非线性控制系统 …… 4

1.3.2　恒值控制系统和随动系统 …… 5

1.3.3　连续控制系统和离散控制系统 …… 5

1.4　机电一体化系统的品质要求 …… 6

1.5　机电一体化关键技术 …… 7

1.6　机电一体化的发展趋势 …… 10

1.7　机电一体化系统仿真 …… 11

1.8　系统仿真技术的发展趋势 …… 14

1.9　数学模型和物理模型 …… 15

第 2 章　MATLAB 基础知识 …… 17

2.1　MATLAB 数值计算 …… 17

2.1.1　变量和数据 …… 17

2.1.2　矩阵和数组 …… 19

2.2　MATLAB 计算的可视化 …… 24

2.3　MATLAB 程序设计 …… 34

2.3.1　程序流程控制 …… 34

2.3.2　流程控制语句 …… 36

2.4　Simulink 仿真环境 …… 38

2.4.1　一个 Simulink 的简单程序 …… 38

2.4.2　Simulink 的文件操作和模型窗口 …… 39

2.4.3　Simulink 的基本模块 …… 40

2.4.4　常用模块的参数和属性设置 …… 41

2.4.5　复杂系统的仿真设置 …… 42

第 3 章　MATLAB/Simulink 与数学建模 …… 44
3.1　机电一体化系统的微分方程 …… 44
3.1.1　概述 …… 44
3.1.2　列写微分方程的一般方法 …… 44
3.1.3　拉普拉斯变换 …… 45
3.2　机电一体化系统的传递函数 …… 46
3.2.1　传递函数的定义与性质 …… 46
3.2.2　传递函数的零点、极点和放大系数 …… 47
3.3　状态空间法建模 …… 49
3.4　系统模型的连接 …… 50
3.4.1　模型串联 …… 50
3.4.2　模型并联 …… 50
3.4.3　反馈连接 …… 51
3.5　系统稳定性 …… 51
3.5.1　典型输入函数 …… 51
3.5.2　稳定性判定 …… 53
3.5.3　时域分析中 MATLAB 函数的应用 …… 53
3.6　频率分析 …… 54
3.6.1　频率响应 …… 54
3.6.2　频率响应的定义 …… 55
3.6.3　用 MATLAB 函数绘制 Nyquist 图 …… 56
3.6.4　Nyquist 稳定判据 …… 57
3.6.5　Nyquist 判据应用举例 …… 57
3.6.6　利用 MATLAB 函数绘制 Bode 图 …… 59
3.6.7　系统的相对稳定性 …… 60
3.7　实例分析 …… 63
第 4 章　MATLAB/Simulink 应用实例 …… 67
4.1　机械系统 …… 67
4.2　电路系统 …… 79
4.3　机电一体化系统 …… 81
第 5 章　机械平面结构物理建模与仿真 …… 105
5.1　机械 Simscape 基础模块 …… 105

5.2 SimMechanics 第一代机构系统模块集 …… 113
5.3 SimMechanics 第二代机构系统模块集 …… 123
5.4 Simulink 与 SolidWorks 接口 …… 124
5.4.1 获取 XML 文件的方法 …… 124
5.4.2 应用实例 …… 125

第 6 章 电路系统建模与仿真 …… 133

6.1 电路系统子模块组 …… 133
6.2 电路系统 Simscape 范例 …… 135
6.3 Simscape 模块定义语言 …… 142

第 7 章 液压技术物理建模与仿真 …… 145

7.1 液压基础模块库 …… 145
7.2 Simhydraulics 模块库 …… 147
7.3 机床工作台液压系统 …… 153
7.3.1 机床工作台液压传动系统的组成 …… 153
7.3.2 机床液压系统物理建模与仿真 …… 154
7.4 节流调速回路 …… 157
7.5 电液速度控制系统设计 …… 162
7.6 电液位置控制系统 …… 172
7.7 平衡回路 …… 174
7.8 插装阀回路分析 …… 179
7.9 Simhydraulics 与 Simmechanics 组合 …… 182
7.10 MATLAB 与 AMESim 数据共享 …… 184
7.11 高低压双泵供油快速运动回路建模与仿真 …… 197

第 8 章 机电一体化应用实例 …… 203

8.1 机电一体化产品的系统设计要点 …… 203
8.1.1 机电一体化产品的系统设计要点 …… 203
8.1.2 用户需求的抽象 …… 204
8.1.3 功能要素和功能模块 …… 204
8.1.4 接口设计要点 …… 204
8.2 柴油机单轨吊承载 …… 204
8.2.1 行走载荷曲线 …… 205
8.2.2 行走系统建模 …… 210

8.3 行走紧急制动 …… 215
8.3.1 引言 …… 215
8.3.2 仿真实验 …… 219
8.3.3 实验室实验 …… 223
8.3.4 应用 …… 225
8.4 单体液压支柱支护性能分析 …… 226
8.4.1 支护理论 …… 226
8.4.2 建立模型 …… 228
8.4.3 仿真结果后处理 …… 230
8.4.4 回柱阶段 …… 232
8.5 电液力控制系统 …… 234
参考文献 …… 242

第1章 绪 论

人类文明是从第一把石刀开始的。与此同时，也就开始了“制造工艺工程”，开始了对制造工艺过程的“控制”。这时对劳动着的原始人而言，手是执行装置，用以操作生产工具——石刀；感觉器官是检测装置，感受着制造过程中的各种信息；人脑是中枢控制装置，对获得的信息进行分析、比较，作出判断、决策。由此可以看出：即使在极为原始的制造工艺过程中，已经有了执行、检测、控制环节，它们构成了一个闭环的机电一体化系统。

控制理论是研究机电控制共同规律的技术科学，而所谓机电控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用控制装置使被控对象自动地按照预定的规律运行和变化。

在工程技术和科学的发展过程中，控制理论发挥着至关重要的作用。除了在空间飞行、导弹导航以及机器人中扮演着重要角色以外，在现代制造业、工业过程控制等领域，控制理论的作用也越来越重要。例如，数控机床加工工具的数字控制，轿车与卡车的设计、压力、温度、湿度、流量等变量的控制，都离不开控制理论。

控制理论与实践发展的结果是获得具有最优性能的控制系统、提高生产率、减轻手工劳动强度，因此，越来越多的现代工科大学生需要很好地掌握这一领域的知识。

目前，控制理论在机械制造领域中应用最为活跃的以下几个主要方面：

1. 在机械制造过程自动化方面

现代生产向机械制造过程的自动化提出了越来越多、越来越高的要求：一方面是所采用的生产设备与控制设备越来越复杂；另一方面是所要求的技术经济指标越来越高。这就必然导致“自动化”“可靠性”和“最优化”的结合，从而使得机械制造过程的自动化技术从一般的自动机床、自动生产线发展到数控机床、多微计算机控制设备、柔性自动生产线、无人化车间，乃至设计、制造、管理一体化的计算机集成制造系统 CIMS。还可以预期，伴随着制造理论、计算机网络技术和智能化以及管理科学的发展，机械制造过程的自动技术还将发展到网络环境下的智能制造系统，包括网络化的制造系统的组织与控制，当然也包括智能机器人、智能机床，以及其中的智能控制，乃至于发展到全球化制造。

2. 在对加工过程的研究方面

现代生产一方面是生产效率越来越高。例如，一方面，高速切削（磨削）、强力切削（磨削）、高速空程等日益获得广泛应用；另一方面，加工质量特别是加工精度越来越高，使加工过程中的“动态效应”不容忽视。这就要求把加工过程如实地作为一个动态系统加以研究。

3. 在产品的设计方面

在产品的设计方面正在突破而且还在不断突破以往的经验设计、试凑设计、类比设计的束缚，在充分考虑产品与设备的动态特性的条件下，密切结合其工作过程，探索建立它们的数学模型，采用计算机及其网络进行设计。

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

4. 在动态过程或参数的测试方面

以往的测量一般是建立在静态基础上的(特别是几何测量),而现在以控制理论作为基础与以信息技术作为手段的动态测试技术发展十分迅速,动态误差、动态位移、振动、噪声、动态力与动态温度等动态物理量的测量,从基本概念、测试方法、测试手段到测试数据的处理方法,无不同控制理论息息相关。

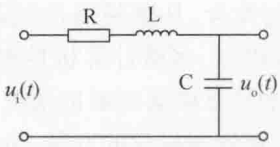
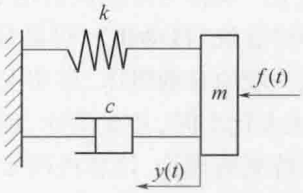
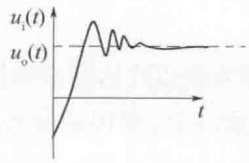
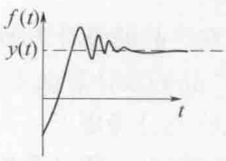
总之,控制理论、计算机技术,尤其是信息技术,同机械制造技术的结合,将促使机械制造领域中的构思、研究、实验、设计、制造、诊断、监控、维修、组织、销售、服务、管理等各个方法发生巨大乃至根本性的变化,目前的这种变化只是一个开始。

1.1 机电一体化系统的一般概念

系统是指完成某些预定任务或目标的相互联系又相互作用的对象的集合。"系统"这一名词已经广泛地应用于社会、经济、工业等各个领域。通常系统可分为非工程系统和工程系统。非工程系统的范围十分广泛,如社会、国民经济、生态系统、交通管理系统等。工程系统覆盖了机电、机械、化工、热力、流体等工程应用领域。

任何系统都存在三个方面的内容,即实体、属性和活动。组成系统的具体对象或单元称为实体,如机电液控制系统中的电液伺服阀、伺服缸、放大器、控制器。实体的特性(状态和参数)称为属性,如位移、速度、电流、电压等,可用来描述系统中各实体的性能。活动是对象随时间推移而发生的状态的变化,活动含有明显的时间概念。简单的电系统和机械系统的实例见表 1-1。

表 1-1 简单的电系统和机械系统的实例

	电系统	机械系统
系统实体	 L 为电感　C 为电容　R 为电阻	 k 为弹簧刚度　c 为阻尼系数　m 为质量
数学建模描述	$LC\frac{du_o^2}{dt^2}+RC\frac{du_o}{dt}+u_o=u_i(t)$	$m\frac{d^2y}{dt^2}+c\frac{dy}{dt}+ky=f(t)$
系统的属性	电压:$u_i(t)$,$u_o(t)$	位移:$y(t)$ 力:$f(t)$
系统的活动		

研究系统除了研究系统的实体、属性和活动外，还需要研究系统的环境，考查环境和系统之间的相互作用及对系统活动的影响。因此，研究系统首先应确定系统实体，即包括哪些对象，以及确定系统与环境的边界，这样可以清楚地了解环境的变化对系统的影响。例如：研究恒温系统时，往往要考虑环境温度的影响；研究电系统时，常常要考虑电压波动；研究机械系统时，要常常把温度、摩擦力等其他非线性因素当作干扰加以考虑。研究系统的重要内容是探讨系统及输入、输出三者之间的动态关系。系统、环境、输入和输出之间的关系如图 1－1 所示。

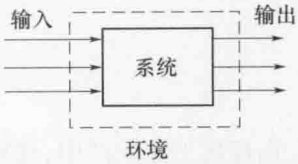


图 1－1　系统与环境

一个较完善的机电一体化系统，应包括机械本体、动力系统、传感与检测系统、信息处理及控制系统、执行装置等基本要素，各环节和要素之间通过接口有机地联系在一起。

综上所述，可以概括出以下结论：

（1）机电一体化是一种以产品和过程为基础的技术。

（2）机电一体化以机械为本体。

（3）机电一体化以微电子技术，特别是计算机控制技术为核心。

（4）机电一体化将工业产品和过程都作为一个完整的系统来看待，因此强调各种技术的协同和集成，而不是将各个单元或部件简单地拼凑在一起。

（5）机电一体化贯穿于设计和制造的全过程中。

1.2　开环控制系统与闭环控制系统

如果控制系统的输出量对系统的输入量没有控制作用，则这种系统称为开环控制系统。图 1－2 表示了开环控制系统输入量与输出量之间的关系。

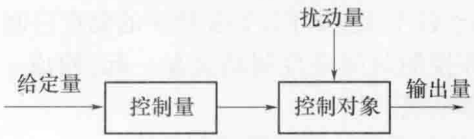


图 1－2　开环控制示意图

这里，给定量直接经过控制器作用于控制对象，不需要将输出量反馈到输入端与给定量进行比较，所以只有给定量影响输出量。当出现外部扰动或内部扰动时，若没有人的干预，输出量将不能按照给定量所希望的状态去工作。

闭环控制是把输出量检测出来，经过物理量的转换，再反馈到输入端与给定量进行比较（相减），并利用比较后的偏差信号，经过控制器或调节器对控制对象进行控制，抑制内部或外部扰动对输出量的影响，从而减少输出量的误差。图 1－3 表示了闭环控制系统输入量、输出量和反馈量之间的关系。

这种系统把输出量直接或间接地反馈到输入端形成闭环，参与系统的控制，所以称为闭环控制系统，液压控制系统就是闭环控制系统。由于系统是根据负反馈原理按偏差进行控制的，因此也称为反馈系统或偏差控制系统。

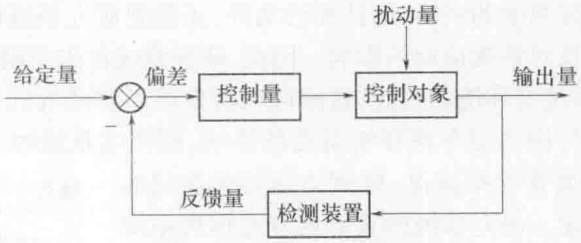


图 1-3　闭环控制示意图

在现代工业生产中，按照偏差控制的闭环系统种类繁多，尽管它们的控制任务不同，具体的结构不完全相同，但是，检测偏差、利用偏差信号对控制对象进行控制，以减少和纠正输出量的偏差这一控制过程都是相同的。

这种系统的特点可归纳如下：

(1) 在开环系统中，只有输入量对输出量产生控制作用；从控制结构上看，只有从输入端到输出端、从左向右的信号传递通道（该通道称为正向通道）。在（闭环系统）机电一体化系统中，除正向通道外，还必须有从右向左、从输出端到输入端的信号传递通道，使输出信号也参与控制作用，该通道称为负反馈通道。闭环系统/机电一体化系统就是由正向通道和负反馈通道组成的。

(2) 为了检测偏差，必须直接或间接地检测输出量，并将其变换为与输入量相同的物理量，以便与给定量相比较，得出偏差信号。所以闭环系统必须有检测环节、给定环节和比较环节。

(3) 闭环系统/机电一体化系统是利用偏差量作为控制信号纠正偏差，因此系统中必须具有执行纠正偏差这一任务的执行机构。闭环系统正是靠放大了的偏差信号推动执行机构，进一步对控制对象进行控制的。只要输出量与给定量之间存在偏差，就自动纠正输出量与期望之间的误差，因此可以构成精确的控制系统。

闭环系统广泛地应用于各个工业部门，如加热炉的温度控制、机械手的控制等。

在有些系统中，将开环控制与闭环控制结合在一起，构成一个开环—机电一体化系统，这种系统称为复合控制系统。

本书中涉及的机电一体化系统均指闭环控制系统。

1.3　机电一体化系统的分类

机电一体化系统可以从不同的角度进行分类，例如：按照分析和设计方法，通常可分为线性和非线性系统，时变和非时变系统；按照系统参考输入信号的变化规律，可分为恒值控制系统和随动控制系统；按照系统内部传输信号的性质，又可分为**连续控制系统**和**离散控制系统**。此外，也有的按照组成系统元件的种类来划分，如机电一体化系统、液压控制系统和气动控制系统等。若按照被控量的名称来分，有温度控制系统、转速控制系统和张力控制系统等。本节只介绍三种常用的分类方法。

1.3.1　线性控制系统和非线性控制系统

若组成控制系统的元件都具有线性特性，则称这种系统为线性控制系统。这种系统

的输入与输出的关系，一般用微分方程和传递函数模型来描述，也可用状态方程来表示。线性系统的主要特点是具有**齐次性和叠加性**。如果线性系统中的参数不随时间而变化，则称为线性定常系统；反之，则称为线性时变系统。

在控制系统中，如有一个以上的元件具有非线性特性，则称该系统为非线性控制系统。非线性系统一般不具有**齐次性和叠加性**，而且它的输出响应和稳定性与其初始状态有很大关系。

严格地讲，绝对的线性控制系统（或元件）是不存在的，因为所有的物理系统和元件都在不同的程度上具有非线性特性。为了简化对系统的分析和设计，在一定条件下，可以对某些非线性特性作线性化处理。这样，非线性系统就近似为线性系统，从而可以按分析线性系统的理论和方法进行研究。

1.3.2 恒值控制系统和随动系统

按照输入信号的特征分类，可以将反馈控制系统分成恒值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

1. 恒值控制系统

恒值控制系统的参考输入为常量，或者是随时间缓慢变化的信号。要求它的被控量在任何扰动的作用下能尽快地恢复（或接近）到原有的稳态值。图 1－4 所示的液面控制系统属于恒值控制系统。由于这类系统能自动地消除或削弱各种扰动对被控量的影响，故又称为自镇定系统。

恒温、恒压、恒定水位、恒定电压、恒定电流、恒定频率的机电一体化系统都属于恒值控制系统。

2. 随动控制系统

随动控制系统又称为自动跟踪系统或伺服控制系统，给定的输入值是一个预先未知的、随时间任意变化的函数，系统的任务是在各种情况下，保证被控量以一定的精度跟随给定输入。雷达跟踪系统、导弹瞄准和拦截系统以及自动测量仪器系统等均属于此类随动系统。汽车驾驶中的路况是不断变化、不可预知的，因此也属于随动控制系统。

3. 程序控制系统

程序控制系统的给定输入是一个已知的时间函数，系统的任务是使被控量按一定精度跟随输入变化，可能是开环系统，也可能是闭环系统，在很多机械加工工业和化学、食品工业的过程控制中，广泛应用程序控制系统，如仿形控制系统、机床数控加工系统等。家用洗衣机根据事先设定好的程序，进行放水、洗涤、漂洗、脱水等过程，也属于开环程序控制系统。

1.3.3 连续控制系统和离散控制系统

根据控制系统中是否包含离散信号可以将系统分为连续系统与离散系统两大类，而离散系统可以进一步细分既包含连续信号又包含离散信号的采样系统和系统中具有数字式控制器或数字式计算机的数字控制系统。

1. 连续控制系统

控制系统中各部分的信号若都是时间 t 的连续函数，则称这类系统为连续控制系统。

前述的液面控制系统和随动系统都属于这类系统。

2. 离散控制系统

(1)采样控制系统:系统中既有连续信号,也有离散信号,如图 1-4 所示,$R(S)$、$E(S)$、$u(S)$、$Y(S)$为连续信号,$E(kT)$、$u(kT)$表示离散信号。

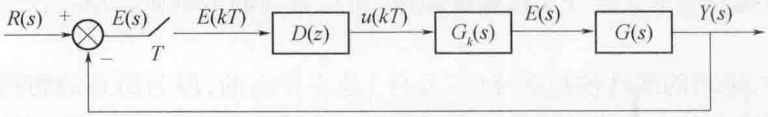


图 1-4　采样控制系统

(2) 纯离散控制系统:系统中所有变量均为离散信号,如图 1-5 所示。

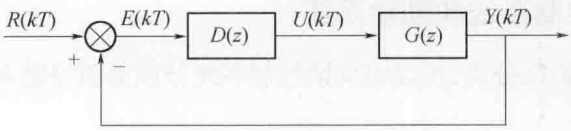


图 1-5　离散控制系统

(3) 数字控制系统:存在数字控制器或计算机的系统,如图 1-6 所示。数字控制器通常由计算机或微处理器实现,而 A/D、D/A 分别为模拟量到数字量、数字量到模拟量的转换装置,常称为接口。

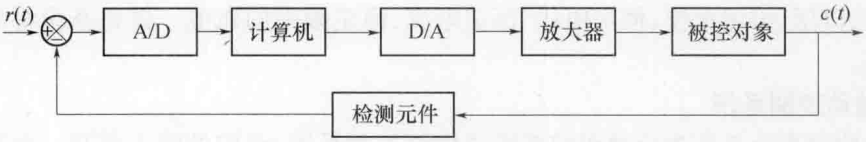


图 1-6　数字计算机控制系统

1.4　机电一体化系统的品质要求

在机电一体化系统中,当扰动量或给定量发生变化时,被控量偏离了给定量而产生偏差,通过反馈控制作用,经过短暂的过渡过程,被控量又趋于或恢复到原来的稳态值,或按照新的给定量稳定下来,这时系统从原来的平衡状态过渡到新的平衡状态。被控量处于变化状态的过程称为动态或瞬态,而被控量处于相对稳定的状态称为静态或稳态。

机电一体化系统品质要求可以归纳为稳定性(长期稳定性)、快速性(相对稳定性)和准确性。

1. 稳定性

稳定性对于不同的系统有不同的要求:对于恒值系统,要求当系统受到扰动时,经过一定时间的调整能够回到原来的期望值;对于随动系统,要求被控量始终跟踪参量的变化。

稳定性是对系统的根本要求,不稳定的系统不能实现预定任务。稳定性通常由系统

的结构决定，与外界因素无关。

MATLAB 数学建模描述可使用时域分析、频域分析来判定机电系统的稳定性；采用 MATLAB/Simulink 描述机电系统的液压、机构和电气系统的方框图，按输入阶跃函数来判定机电系统的稳定性。

总地来说，使用时域分析是一种利用闭环传递函数直接的稳定性判定方法，频域分析是利用开环传递函数来间接判定稳定性的方法。

2. 快速性

快速性是指对过渡过程的形式和快慢提出要求，一般称为动态性能或瞬态性能。一个机电一体化系统应能满足瞬态性能的要求。如果控制对象的惯性很大，系统的反馈又不及时，则被控量在瞬态过程中将产生过大的偏差，达到稳态的时间加长，并呈现各种不同的瞬态过程。

一般说来，在合理的结构和适当的系统参数下，一个系统的瞬态过程多属于衰减振荡过程，即被控量变化很快并产生超调，经过几个振荡后，达到新的稳定工作状态。为了满足生产工艺要求，往往要求系统的瞬态过程不仅是稳定的，并且进行得越快越好，振荡程度越小越好。也即要求上升时间和峰值时间等参数要小。前者是瞬态过程的稳定性问题，后者是瞬态过程的性能问题，这些都是设计机电一体化系统必须研究的问题。

通常根据机电系统的阶跃输入响应曲线确定机电系统的上升时间、峰值时间、调整时间和超调量值的大小，从而确定机电系统的快速性程度。

3. 准确性

准确性通常用稳态误差表示，所谓**稳态误差**是指系统达到稳态时，输出量的实际值与期望值之间的误差。这一性能表示稳态时的控制精度，一个设计合理的机电一体化系统，其稳态特性应满足工艺的要求。

在参考输入信号作用下，当系统达到稳态后，其稳态输出与参考输入所要求的期望输出之差称为给定稳态误差。显然，这种误差越小，表示系统输出跟随参考输入的精度越高。

准确性是根据机电系统的阶跃输入响应曲线确定机电系统的稳态误差值的大小，从而确定机电系统的准确性程度。

一个机电一体化系统往往在满足稳态精度和瞬态品质之间存在着矛盾，例如要求稳态精度高，往往不能得到很好的瞬态性能。因此必须兼顾这两方面的要求，根据具体情况合理地解决。

1.5 机电一体化关键技术

系统论、信息论、控制论的建立，微电子技术尤其是计算机技术的迅速发展，引起了科学技术的又一次革命，促成了机械工程的机电一体化，因此，系统论、信息论、控制论无疑是机电一体化技术的理论基础，是机电一体化技术的方法论。

开展机电一体化技术研究时，无论在工程的构思、规划、设计方面，还是在它的实施或实现方面，都不能只着眼于机械或电子，而是要用系统的观点，合理解决信息流与控制机制的问题，有效地综合各有关技术，才能设计出所需要的系统或产品。

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com