

研究生教学用书

教育部学位管理与研究生教育司推荐

# 机械系统建模与动态分析

*Modeling and Dynamic Analysis of Mechanical System*

温熙森 陈 循 徐永成 陶利民 编 著



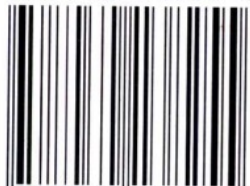
科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

[TH-0118.0101]

中国科学院图书馆 编 中国科学院图书馆

ISBN 7-03-013825-2



9 787030 138255 >

ISBN 7-03-013825-2

定价: 40.00 元

研究生教学用书  
教育部学位管理与研究生教育司推荐

# 机械系统建模与动态分析

Modeling and Dynamic Analysis  
of Mechanical System

温熙森 陈 循 徐永成 陶利民 编著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书以机械工程为背景,介绍机械系统建模与动态分析的基本理论及其在机械工程中的应用技术。主要内容包括基础理论篇、时域建模与分析篇、频域建模与分析篇和综合应用篇等四个部分。

本书可作为机械工程及相关专业硕士研究生教材,使其掌握机械系统建模与动态分析的思想、原理、方法和技术手段,也可用作相关领域工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械系统建模与动态分析/温熙森 等编著. —北京:科学出版社,2004  
(教育部学位管理与研究生教育司推荐研究生教学用书)  
ISBN 7-03-013825-2

I. 机… II. 温… III. ①机械系统-系统建模-研究生-教学参考资料 ②机械系统-系统动力学-研究生-教学参考资料 IV. TH113.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 066752 号

责任编辑:刘俊来 李艳霞 / 责任校对:包志虹  
责任印制:安春生 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年8月第一版 开本:B5(720×1000)  
2004年8月第一次印刷 印张:20 1/2  
印数:1—2 500 字数:388 000

定价:40.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)



## 前 言

机械系统以各种形式(如各类制造控制设备、工程机械、武器装备等)广泛地存在于人类的生产及社会活动当中。由于科学技术的迅猛发展,机械系统的内涵早已不再是字面意义上的机械执行装置,而是拓展为集电力驱动、电子控制及形态各异的执行机构于一体的机电一体化系统。

机械系统在运作过程中表现出来的特征,即动态特性,包括系统在特定激励下的响应特性、稳定性、鲁棒性等往往是系统设计、使用及维护人员最为关心的品质,也是评价系统综合性能、总体质量的首要特性。

根据特定的目的,如何对机械系统的运行状态进行恰当的数学描述——建模,如何对系统的动态特性进行正确的评价——分析,是本书试图从方法上回答清楚的两个主要问题,也是机械系统实现最优化设计、控制与维护首先必须解决的基础性问题。

数学模型是为了解现实世界某系统或过程得到的某种抽象、简化的数学结构。利用数学方法解决实际问题时,核心工作便是建立能够反映系统状态信息的数学模型,然后利用此模型对实际问题进行理论求解、分析和研究。机械系统的分析、控制和动态特性设计等都与系统运作时的数学模型密切相关。因而,建立和改进系统的数学模型是进行分析与设计的一个不可或缺的重要工作。

根据任务需要,机械工程领域中功能、形态各异的系统的动态特性必须满足各种特定的要求,如对系统的频响特性、稳定性等方面的要求。动态性能指标是评价系统动态特性优劣的标准。系统动态分析的任务便是研究系统的动态特性,并对其评价。

建模的目的是为系统动态分析提供操作平台;动态分析的目的则是为系统实现最优化设计、控制与维护提供客观依据。

综上所述,本书将以机械工程为应用背景,系统介绍机械系统的建模与动态分析的基本理论及其应用技术。

从研究生的整体教学培养计划出发,本书重点介绍比较成熟且常用的系统,特别是线性系统的建模分析理论与应用技术。全书共 15 章,其中绪论主要回答系统建模与分析的基本问题,并简要介绍全书的基本内容及体系结构。其余各章则划分为基础理论篇、时域建模与分析篇、频域建模与分析篇、综合应用篇等四个部分。

本书在研究生教材《机械系统动态分析理论与应用》(温熙森、陈循、唐丙阳编著,国防科技大学出版社,1998)的基础上改编。综合各方面的意见和建议,本书在

内容上作了较大幅度的调整,基本指导思想是进一步突出机械系统动态特性建模与分析的主题,增加了系统建模分析理论与应用专题介绍的比重,而对信号处理分析等内容则作了大量删简。此外,考虑到包括我校在内的许多高校研究生专门开设有非线性过程与系统分析、非稳态过程分析等课程,因此,本书对高阶谱分析和时频联合域分析这两部分内容也作了大量删简。

就风格而言,本书力图保持《机械系统动态分析理论与应用》一书中注重基本理论及物理意义阐述、内在联系剖析和实用技术介绍等特点,适当穿插介绍一些前沿理论与技术,以便读者开阔视野,启发思路。通过教学实践,希望学生能够真正掌握机械系统建模与动态分析的理论与技术。

本书内容基本覆盖了国防科技大学原来开设的“系统辨识”与“机械系统动态分析理论与应用”两门硕士研究生课程。在其他高校中,相关的教学内容通常被开设为“系统辨识”、“系统动力学”或“信号与系统分析”等2~3门课程。国防科技大学目前开设的“机械系统建模与动态分析”课程的计划课时为54学时,授课形式包括讲授、自学、讨论、实验,经过两年的教学实践,反响良好。

本书由温熙森教授负责整体策划和审定,陈循教授负责统稿,并合作编写第1、2、9、11、12章。绪论由温熙森、徐永成、陈循共同执笔;徐永成副教授编写第4、14、15章,与陈循合编第13章,并在技术协调等方面做了许多工作;陶利民研究员编写第5、6、8章,与陈循合编第10章;李岳副教授编写第3、7章。

本书经国务院学位委员会学科评议组专家审定,被教育部学位管理与研究生教育司推荐为研究生教学用书,在科学出版社出版。国防科技大学研究生院和国防科技大学出版社也为本书的修订给予了许多关心和支持。同时,本书还借鉴了国内外众多学者在该领域的一些学术专著和科研论文(在每章后面都进行了注明),在此谨向上述相关单位和专家表示衷心感谢。

由于作者水平所限,书中难免有不妥或错误之处,恳请读者指正。

作 者

2004年1月

# 目 录

## 前言

绪论	1
§ 0.1 几个实例	1
§ 0.2 系统建模分析中的基本问题	4
§ 0.3 系统建模分析理论与技术的发展状况	11
§ 0.4 本书内容及章节安排	13
习题	15
参考文献	15

## 基础理论篇

第 1 章 动态过程的基础知识	19
§ 1.1 确定性过程	19
§ 1.2 随机过程	21
§ 1.3 随机过程的功率谱估计	34
§ 1.4 动态过程的其他分类方式	39
习题	41
参考文献	41
第 2 章 变换域分析基础知识	42
§ 2.1 傅里叶变换	42
§ 2.2 傅里叶变换与拉氏变换、Z 变换之间的关系	57
§ 2.3 时频联合域变换分析简介	61
习题	63
参考文献	64
第 3 章 系统模型分类与数学描述	65
§ 3.1 系统模型分类	65
§ 3.2 线性定常系统的数学描述	67
习题	83
参考文献	84
第 4 章 机械系统动力学建模方法	85
§ 4.1 机械系统动力学基本概念	85

§ 4.2 机械系统动力学建模·····	88
§ 4.3 机械系统有限元建模方法·····	91
习题·····	98
参考文献·····	98

### 时域建模与分析篇

<b>第5章 动态系统非参数法建模</b> ·····	103
§ 5.1 阶跃响应法·····	103
§ 5.2 脉冲响应法·····	108
§ 5.3 动态系统相关分析法建模·····	113
习题·····	127
参考文献·····	127
<b>第6章 动态系统参数类建模方法</b> ·····	128
§ 6.1 最小二乘类参数建模方法·····	128
§ 6.2 极大似然类参数建模方法·····	139
§ 6.3 时序建模方法·····	153
习题·····	158
参考文献·····	158
<b>第7章 非线性系统建模</b> ·····	159
§ 7.1 基于哈默斯坦模型的非线性建模方法·····	159
§ 7.2 基于神经网络模型的非线性建模方法·····	161
习题·····	173
参考文献·····	174
<b>第8章 实际建模中需考虑的几个问题</b> ·····	175
§ 8.1 系统辨识应用要点·····	175
§ 8.2 动态系统建模中模型阶次与时延的确定·····	180
§ 8.3 模型的检验·····	185
§ 8.4 建模实例分析·····	186
习题·····	194
参考文献·····	194

### 频域建模与分析篇

<b>第9章 频谱选带与细化分析</b> ·····	197
§ 9.1 DFT 运算中 $\{x[n]\}$ 补 0 对 $\{X[k]\}$ 的影响·····	198



§ 9.2 相位补偿频谱细化 .....	201
§ 9.3 FFT-FS 频谱细化分析 .....	203
习题 .....	207
参考文献 .....	207
<b>第 10 章 系统频率响应函数估计 .....</b>	<b>208</b>
§ 10.1 系统频响函数估计 .....	208
§ 10.2 系统传递函数估计 .....	218
习题 .....	224
参考文献 .....	224
<b>第 11 章 回转系统的动态特征分析 .....</b>	<b>225</b>
§ 11.1 阶比分析 .....	225
§ 11.2 全息谱分析 .....	230
§ 11.3 复合功率谱与坎贝尔图 .....	240
习题 .....	241
参考文献 .....	242
综合应用篇	
<b>第 12 章 实验模态分析技术 .....</b>	<b>245</b>
§ 12.1 模态坐标与模态参数 .....	245
§ 12.2 实验模态分析的基本过程 .....	246
§ 12.3 实验模态分析的激振方法和响应测量 .....	247
§ 12.4 频响函数计算 .....	249
§ 12.5 模态参数识别与模态振型图 .....	251
§ 12.6 灵敏度分析与结构动力修改预测 .....	254
习题 .....	256
参考文献 .....	257
<b>第 13 章 振动与噪声控制技术 .....</b>	<b>258</b>
§ 13.1 振动环境模拟技术 .....	258
§ 13.2 有源消声中的系统建模与控制 .....	263
习题 .....	271
参考文献 .....	271
<b>第 14 章 典型机电系统建模与动态分析 .....</b>	<b>273</b>
§ 14.1 齿轮加工机床主轴回转误差的动态测试与分析 .....	273
§ 14.2 机器人多维腕力传感器动态特性的频域研究 .....	276

§ 14.3 鱼雷结构设计中振动传递特性的试验研究·····	282
§ 14.4 自动引导车辆转向系统的实验建模与参数辨识·····	289
习题·····	293
参考文献·····	294
<b>第 15 章 机械系统建模与动态分析应用软件简介</b> ·····	295
§ 15.1 动态系统建模与仿真分析软件——Simulink ·····	295
§ 15.2 机电一体化系统建模与仿真分析软件——Saber ·····	299
§ 15.3 基于有限元的大型结构建模与仿真分析软件——MSC ·····	306
习题·····	312
参考文献·····	312
<b>附录 变量、符号与缩写词说明</b> ·····	314
附录一 变量说明·····	314
附录二 符号说明·····	316
附录三 缩写词·····	316

# 绪 论

绪论首先从实例入手,引出本书的主要内容;然后重点阐述机械系统建模、辨识、动态分析理论、技术和应用等基本问题及其发展状况;最后介绍全书内容的体系结构及章节安排。

## § 0.1 几个实例

要运用数学理论与方法解决工程实际问题,首先根据有关条件建立相应的数学模型,然后才有可能进一步分析问题和解决问题。因此,建立数学模型是解决问题的关键。

数学模型是为了解现实世界某系统或过程得到的一个抽象的、简化的数学结构,该结构由数学语言(包括符号)确定一组变量之间的关系,从而解释或描述某一系统或过程。例如,牛顿第二定律  $F(t)=ma(t)$  就是一个典型的数学模型。

下面通过几个实例向读者展示机械系统数学模型建立及应用的基本情况。

### 0.1.1 压电加速度计的实验建模和理论建模

加速度计是机械系统动态测试中最常用的传感器之一,如图 0.1 所示。

为了研究加速度计的动态特性,我们可以根据实验得到的加速度计输入输出信号建模,如图 0.2(a)所示便是实验测得到的某加速度计的频率特性曲线,它是一种通过实验建立的,描述系统频域动态性能的数学模型。

图 0.2(b)为某型压电式加速度计的简化物理模型。其工作原理如下:

加速度计的壳体随被测对象沿箭头方向同步振动,设加速度计中的质量块  $m$  相对壳体的振动加速度为  $a$ ,那么,质量块施加给压电晶体的力  $F$  与  $a$  成正比,而压电晶体则产生与受力大小成正比的电荷量。

图 0.2(b)所示的物理模型可以抽象为如图 0.3 所示的力学模型。

我们可以通过动力学微分方程,对加速度计进行理论建模分析。

根据已知的力学原理,图 0.3 所示的力学模型可以用如下的微分运动方程描

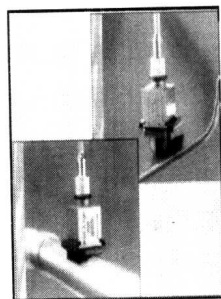


图 0.1 加速度计

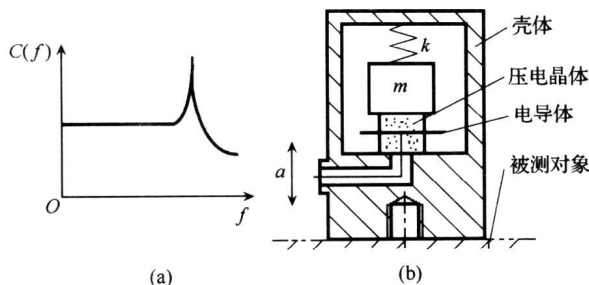


图 0.2 加速度计频率响应曲线与物理模型

述：

$$my''(t) + cy'(t) + ky(t) = f(t) + mg$$

这其中,根据实际运行情况有  $mg \ll f(t)$ ,若忽略该项,对上式进行简化,便得到如下一个简化的数学模型:

$$my''(t) + cy'(t) + ky(t) = f(t)$$

给定初始条件,可以求解出  $y(t)/f(t)$ 间的映射关系,依据该映射关系,就可以分析加速度计的动态特性,看其是否满足使用要求。

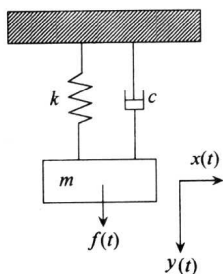


图 0.3 加速度计力学模型

上述过程是对一个实际的物理对象进行特征抽象和数学描述的典型例子,体现了实际系统动态分析的流程和特点。

### 0.1.2 液压阀的实验建模

液压阀由于诸如阀口流量、摩擦等非线性因素的存在,通过物理定律建立的理论模型很难准确地反映实际的工作过程,以此为基础的计算机仿真也可能会出现很大偏差。因此实验建模就成为获得其精确数学模型的有效方法。

实际液压阀的特性通常都会随着时间而发生变化,例如,因结构磨损和阀的缝隙变脏造成其过流面积逐渐减小对其特性造成的影响。如果液压阀在开始使用时处于最佳性能状态,则该性能会随着时间的推移而逐渐变差。因此,对液压阀的动态参数,如流量、压力等进行测量并建模分析,就可以估计阀的故障或缺陷的发展趋势。

液压阀的实验建模过程是:首先对液压阀施加一个激励信号,如一定的流量或压力;然后测量其输出的流量或压力;将液压阀的激励/响应信号视作系统的一对输入输出,最后利用傅里叶变换对系统的频率响应函数进行估计,通过曲线拟合,最终得到液压阀的实验模型。

图 0.4 是液压阀的测量系统示意图。具体的实验工作过程此处不赘述,详情可参见文献[2]。

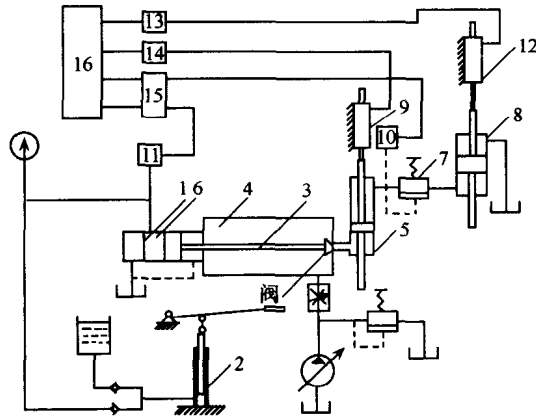


图 0.4 液压阀测量系统示意图

1. 爆破膜片; 2. 手动泵; 3. 快速开启阀; 4. 高压腔; 5. 测量输入流量的油缸;
6. 预压油缸; 7. 被试减压阀; 8. 流量测量油缸; 9、12. 位移传感器;
- 10、11. 压力传感器; 13、14. 放大器; 15. 应变计; 16. 记录仪器

液压阀实验时使用磁带记录仪记录传感器 9 和 10 的位移和压力信号,分别进行傅里叶变换。然后用输入和输出的互谱除以输入的自谱得到被试阀的频率响应函数数据,图 0.5 是测量得到的、反映该液压阀重要动态特性的幅频特性曲线  $|H_1(f)|$ 。之后,借助于曲线拟合便可获得液压阀的数学模型。

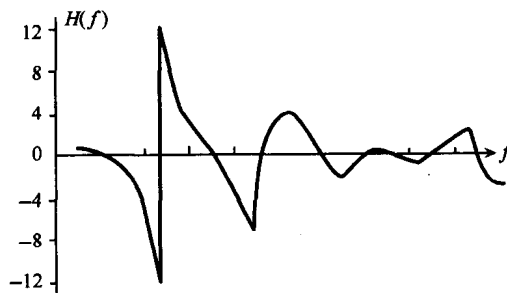


图 0.5 液压阀的幅频特性曲线  $|H_1(f)|$

### 0.1.3 电梯机械传动系统的动态分析

高速电梯的迅猛发展对电梯的动态性能提出了越来越高的要求。为了提高乘坐舒适性,尽可能地减少振动及噪声,世界上一些有实力的电梯公司都在电梯动态

性能的分析上投入大量的人力、物力开展研究。

电梯机械传动系统主要由曳引电机、减速传动部分、曳引轮、导向轮、张紧轮、轿厢、荷重、曳引绳、张紧绳等部分组成,如图 0.6 所示。

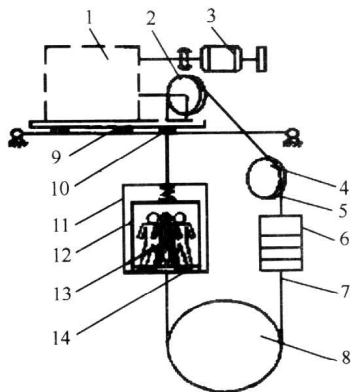


图 0.6 电梯机械传动系统原理图

1. 减速厢; 2. 曳引轮; 3. 曳引电机; 4. 导向轮; 5. 曳引绳;
6. 对重; 7. 张紧绳; 8. 张紧轮; 9. 减振垫; 10. 承重梁;
11. 轿厢架; 12. 轿厢; 13. 载荷; 14. 超载橡胶

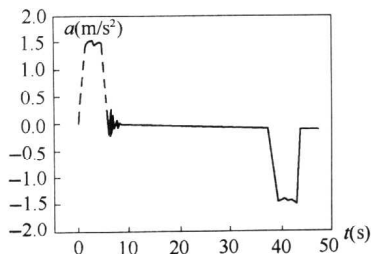


图 0.7 轿厢垂直加速度响应曲线

电梯机械传动系统的振动模型简化及建模过程在第 4 章中详细讨论,这里只简述电梯传动系统动态分析的基本思路。

首先建立电梯机械传动系统垂直方向的振动微分方程(具体建模过程见本书第 4 章)。由于电梯标准及乘坐舒适性主要取决于轿厢载荷。因此,建模及求解时必须考虑轿厢的运动,如位移、速度、加速度等的变化情况。将这些数据绘制成曲线即得轿厢的速度响应曲线、加速度响应曲线和加加速度响应曲线。最后把这些曲线与电气调速曲线相迭加,即得轿厢垂直振动的动态响应。图 0.7 所示即为某电梯轿厢垂直加速度响应曲线。利用这条曲线可求出轿厢最大加速度、最大加加速度,将其与相关的行业标准,如 GB/T13435-92 进行对照,即可对电梯的乘坐舒适性作出客观评价,结合模型分析进一步可为电梯垂直方向的动态性能优化设计提供客观依据。

## § 0.2 系统建模分析中的基本问题

从上述几个实例可以看出,数学模型是解决实际问题的关键,系统的数学模型既可以通过理论分析得到,也可以通过实验测试得到,得到系统的数学模型之后,就可以根据该模型对系统中我们关注的动态参数和动态特性进行分析,进而解决我们感兴趣的问题。这里面涉及两个方面的问题:一是如何得到系统的数学模型,

即系统建模问题；二是如何利用系统数学模型分析系统动态特性，即系统动态分析问题。

本书以机械系统为研究对象，紧紧围绕上述两个问题展开研究讨论。系统建模与分析这两个方面相辅相成：建模得到的系统模型可以为系统的动态分析服务；而动态分析反过来也可以为系统的模型确立和改进提供要求和依据。

在进一步明确本书的内容体系之前，本节先简要讨论数学模型、系统建模、理论建模、实验建模、动态特性、动态分析等几个重要的基本概念。

### 0.2.1 数学模型

模型这个名词的含义很广，其中最为人所熟悉的是相似模型，如各种飞行器、车辆、舰船、桥梁的微缩结构模型、风洞模型和遥控模型等，它们的原型尺寸都很大或结构很复杂，采用缩比或简化的相似模型，即可能获得所需的试验结果，或使实验变得容易进行。

然而，这里要讨论的是另一类模型，即数学模型。所谓数学模型是指描述实际系统的数学式子。数学模型是联系系统输入和输出的桥梁。为了研究某些结构、机械系统问题，常采用数学模型来代表实际系统，然后利用这个数学模型来分析、计算实际系统的各种近似特性<sup>[4]</sup>。

数学模型是我们对实际问题进行理论求解、分析和研究的基础，它模拟的是我们所研究的客观事物的相关属性，因此，它应当具有我们关心和需要的研究对象的主要特性，换言之，数学模型的建立必须符合实际情况。反之，若建立的数学模型本身与实际问题相差甚远，那么，不论在后续的理论分析中采用多么巧妙的数学处理，所得到的结果都必定会与实际情况不符。因此，建立一个准确的数学模型是解决实际问题的关键<sup>[5]</sup>。

描述系统动态特征的数学模型的形式有多种，且根据不同的属性有多种分类方式，比如参数与非参数模型。参数模型通常形如一个表达式，如微分方程、差分方程、传递函数和状态方程等；而非参数模型则往往是条曲线，如脉冲响应、幅频特性和相频特性等；再比如连续系统与离散系统模型，顾名思义，连续系统模型取值连续，如微分方程、传递函数和状态方程等就可用来描述连续系统，而差分方程、离散传递函数和离散状态方程等则用来描述离散系统；此外还有线性与非线性模型，确定性与随机模型等等。不同的动态模型各有特点。某些动态模型之间可以相互转换，如微分方程经拉普拉斯变换，可转化成传递函数，再经双线性变换则可转化成差分方程。有些模型之间存在本质的区别，如线性与非线性模型，叠加原理适用于线性系统，却不适用于非线性系统<sup>[6]</sup>。

## 0.2.2 系统建模方法

系统建模方法可以分为两大类:理论建模法(机理分析法)和实验建模法(系统辨识法、统计分析法)。

### 0.2.2.1 理论建模法

理论建模法是指人们根据客观事物的特性,分析其内部的机理,依据力学、电磁学、热力学和化学等基本理论,弄清其因果关系,再在适当的简化假设下,对被测系统原理进行分析和抽象,利用合适的数学工具(如微分方程、拉普拉斯变换、传递函数、频率响应函数和时域的响应曲线等)得到描述事物特征的数学模型。

理论建模法的特点是:推导过程清晰,所得解析表达式反映了系统输入、输出和参数之间的关系;适用于结构和原理较简单的系统或子系统;对复杂系统进行理论建模时,一般先要对实际情况作较大简化,因此所得结果往往与实测结果差异较大<sup>[5,6]</sup>。

理论建模的一般步骤如图 0.8 所示<sup>[5]</sup>。

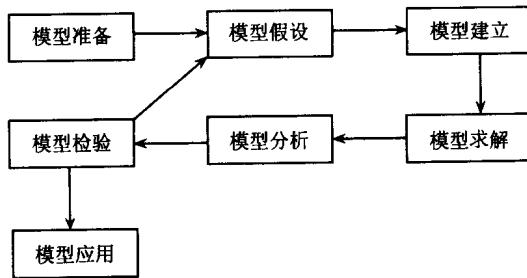


图 0.8 系统理论建模的一般步骤和过程

#### 1. 建模准备

包括了解建模对象系统的工程背景,明确建立模型的目的,掌握对象的各种信息,弄清对象的特征等等,这一步往往需要大量查阅资料,请教专家,以便对建模对象有透彻的了解。

#### 2. 模型假设

根据对象特性和建模目的,对问题进行必要的简化,并且用精确的语言作出假设,是建立模型的第二步,也是关键的一步。有时,假设做得过于详细,试图把工程实际中的各个因素都考虑进去,可能很难继续下一步的工作。因此,要善于辨别问题的主要和次要方面,抓住主要因素,尽量将问题的次要方面进行简化。

#### 3. 建立模型

根据模型假设,利用适当的数学工具,建立各个变量之间的等式或不等式关系,列出表格;画出图形或确定其他数学结构,是建立数学模型的第三步。为了完成



这项主体工作,建模者通常需要具有比较全面的应用数学知识,除了微积分、微分方程、线性代数及概率统计等基础知识外,还可能用到诸如规划论、排队论、图与网络及对策论等专业知识。总而言之,任何一个数学分支都可能应用到建模过程中。当然,这并非要求建模者精通数学的所有分支。事实上建模时还有一个原则,即尽量采用简单的数学工具以便能够使更多的人了解和使用所建立的数学模型。

#### 4. 模型求解

对已建立的数学模型进行求解,包括解方程、画图形、证明定理以及逻辑运算等。

#### 5. 模型分析

对所求得的模型结果进行数学上的分析。有时是根据问题的性质,分析各变量之间的依赖关系或稳定性态;有时是根据所得结果给出数学上的预测,有时则是给出数学上的最优决策或控制。

#### 6. 模型检验

这一步是把模型分析的结果“翻译”,或者说返回到所研究的实际问题中。用实际现象、数据等检验模型的合理性和适用性。显然这一步对于模型的成败也是非常重要,并且是必不可少的。

如果检验结果不符合或不完全符合实际情况,那么就必须修改、补充假设,重新建模,即重复上述步骤。直到检验结果有幸与实际情况相符,则可进行最后的工作——模型应用。

#### 0.2.2.2 实验建模法

当一时得不到事物准确的内在机理和特征时,可以通过实验测试的方法得到系统的输入输出数据,再利用数理统计等理论和方法对测量得到的数据进行处理,从而得到系统的最终数学模型<sup>[5]</sup>。上述过程即为实验建模法的基本内涵,该方法是把被测系统看作一个“黑箱”,仅仅根据其外部特性来建模。

实验建模法有如下特点:需要数据采集、记录设备;需要合适的激励信号;所设计的实验要求简单、易行;得到的实验模型要能充分反映被测系统的动态特性。通常,实验模型本身并不直接反映被测系统的结构和原理,然而却便于与实验结果对照,相对理论建模法而言更加准确、可靠。

实验建模可以在时域、频域和时频联合域中进行。在时域中,可以用系统辨识法、沃尔什变换法等建立参数形式的动态模型。在频域中,可以用快速傅里叶变换、时间序列法求频率特性曲线。而用小波分析法则可得到时频模型<sup>[6]</sup>。

这里涉及一个重要概念——系统辨识。所谓系统辨识是研究建立数学模型的一种技术,是实验建模的一种手段。根据系统建模的条件和目的,系统辨识的定义各有不同。1962年,L. A. Zadeh在早期曾给辨识下过这样的定义:“辨识就是在输入和输出数据的基础上,从一组给定的模型中,确定一个与所测系统等价的模型。”