

现代物理基础丛书

31

高等结构动力学

(第二版)

李东旭 编著



科学出版社

www.sciencep.com

现代物理基础丛书 31

高等结构动力学

(第二版)

李东旭 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书立足于研究引起结构系统振动的深层内因,以及外因与内因相互作用的机理;侧重于结构动力学的基本原理和基本理论;涉及工程实际中的复杂结构系统和复杂结构动力学问题。本书由15章组成。第1章,绪论,主要介绍结构动力学基本思想、主要研究内容及研究方法。第2章,单自由度系统的动力学特性,介绍结构振动的基本概念、基本理论和基本分析方法。第3~8章,主要介绍多自由度结构系统的动力学特性、动力学建模、数值分析、系统辨识、敏感度分析、部件模态综合等的基本理论与分析方法。第9章和第10章,介绍求解多自由度系统动力学响应的各种方法,包括数值积分方法和模态叠加法。第11章和第12章,介绍典型结构单元的建模与分析方法,以及它们各自所特有的动力学特性。第13~15章,介绍复杂结构系统的动力学建模与分析的基本理论与方法,包括固液耦合系统的动力学建模与分析、航天器空间桁架结构动力学建模与分析、航天器太阳能电池翼结构动力学建模与分析。

本书较系统和全面地阐述了结构动力学的基础理论和基本方法,不仅为认识结构振动的物理本质、分析结构动力学特性、设计动力学环境下的承载结构提供了理论依据和实用方法,也为解决结构的振动控制问题奠定了分析的理论基础,提供了设计的技术途径。

本书可作为研究生教材,也可供相关工程技术人员的参考。

图书在版编目(CIP)数据

高等结构动力学/李东旭编著. -2版. —北京:科学出版社, 2010
(现代物理基础丛书 31)
ISBN 978-7-03-028955-1

I. ①高… II. ①李… III. ①结构动力学 IV. ①0342

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第176435号

责任编辑:刘凤娟/责任校对:陈玉凤
责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

丽源印刷厂印刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1997年10月第 一 版 开本: B5 (720×1000)
2010年9月第 二 版 印张: 32 1/4
2010年9月第二次印刷 字数: 630 000

印数: 2 001—5 000

定 价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《现代物理基础丛书》编委会

主 编 杨国桢

副主编 阎守胜 聂玉昕

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 牧 王鼎盛 朱邦芬 刘寄星

邹振隆 宋菲君 张元仲 张守著

张海澜 张焕乔 张维岩 侯建国

侯晓远 夏建白 黄 涛 解思深

《现代物理基础丛书》已出版书目

(按出版时间排序)

1. 现代声学理论基础	马大猷 著	2004.03
2. 物理学家用微分几何(第二版)	侯伯元, 侯伯宇 著	2004.08
3. 数学物理方程及其近似方法	程建春 编著	2004.08
4. 计算物理学	马文淦 编著	2005.05
5. 相互作用的规范理论(第二版)	戴元本 著	2005.07
6. 理论力学	张建树, 等 编著	2005.08
7. 微分几何入门与广义相对论(上册·第二版)	梁灿彬, 周彬 著	2006.01
8. 物理学中的群论(第二版)	马中骐 著	2006.02
9. 辐射和光场的量子统计	曹昌祺 著	2006.03
10. 实验物理中的概率和统计(第二版)	朱永生 著	2006.04
11. 声学理论与工程应用	朱海潮, 等 编著	2006.05
12. 高等原子分子物理学(第二版)	徐克尊 著	2006.08
13. 大气声学(第二版)	杨训仁, 陈宇 著	2007.06
14. 输运理论(第二版)	黄祖洽 著	2008.01
15. 量子统计力学(第二版)	张先蔚 编著	2008.02
16. 凝聚态物理的格林函数理论	王怀玉 著	2008.05
17. 激光光散射谱学	张明生 著	2008.05
18. 量子非阿贝尔规范场论	曹昌祺 著	2008.07
19. 狭义相对论(第二版)	刘 辽, 等 编著	2008.07
20. 经典黑洞与量子黑洞	王永久 著	2008.08
21. 路径积分与量子物理导引	侯伯元, 等 著	2008.09
22. 量子光学导论	谭维翰 著	2009.01
23. 全息干涉计量——原理和方法	熊秉衡, 李俊昌 编著	2009.01
24. 实验数据多元统计分析	朱永生 编著	2009.02
25. 微分几何入门与广义相对论(中册·第二版)	梁灿彬, 周彬 著	2009.03
26. 中子引发轻核反应的统计理论	张竞上 著	2009.03
27. 工程电磁理论	张善杰 著	2009.08
28. 微分几何入门与广义相对论(下册·第二版)	梁灿彬, 周彬 著	2009.08
29. 经典电动力学	曹昌祺 著	2009.08
30. 经典宇宙和量子宇宙	王永久 著	2010.04
31. 高等结构动力学(第二版)	李东旭 编著	2010.09

第二版前言

任何事情的发生与发展都是既有其内在的甚至是深层次的原因,又有其外在的多方面的激扰和诱导因素的作用。结构动力学问题是典型的由外界干扰与结构本身固有特性相互作用而产生的特殊物理问题。在日常生活和工程实践中常见的一些振动现象(如树枝在风中的摇动、汽车在行驶中的颠簸、打夯机打夯等)以及不常见的一些现象(如飞机或直升机机翼的颤振、地震、航天器太阳能电池翼的振动等),都属于结构动力学研究的范畴。当然,结构动力学研究的问题绝不仅限于这些。高等结构动力学立足于研究引起结构动力学问题的深层内因,以及外因与内因相互作用的机理;侧重于结构动力学的基本原理和基本理论;涉及工程实际中的复杂结构系统和复杂结构动力学问题。

本书较系统和全面地阐述了结构动力学的基础理论和基本方法,包括结构的本征值问题和动力响应问题,不仅为认识结构振动的物理本质、分析结构动力学特性、设计动力学环境下的复杂结构提供了理论依据和实用方法,也为解决结构的振动控制问题奠定了分析的理论基础,提供了设计的技术途径。

基于我们在长期教学实践中的认识与发现,以及我们在解决多类工程实际问题时的体会与经验,本书第二版相对于第一版,在保留原有内容的基础上增加了一些新的内容,也作了一些局部的修改。主要是:

(1) 在论述多自由度系统特性之前,增加了新的一章,即第 2 章“单自由度系统的动力学特性”。单自由度振动理论是多自由度振动分析的基础。在出版第一版时,考虑读者为已经具有一定基础的本专业研究生,所以略去这部分。但在这些年的教学中发现许多选这门课的学生并没有这个基础,使得后面的教学变得很吃力。另外,在解决一些工程实际问题中还发现有些工程技术人员因为没有了解这方面的基本概念而难以理解工程中出现的一些现象,也不能有效地给出解决问题的措施和方法。因此决定在第二版中增加这部分内容,并将第一版中的第 10 章合并于此,以期较系统地给出单自由度系统的动力学特性以及建模与分析的方法。

(2) 第一版中的第 11 章在第二版中被拆分为两章,即现在的第 11 章和第 12 章。这两章较系统地介绍了常见的基本结构或结构单元的动力学模型和动力学特性。由于这些结构在几何构型上所具有的共性和个性,以及由此带来的不同的动

力学特性,又可以分类地去研究它们的动力学特性。因此,将一维结构(即在某一维度上的几何尺寸远大于其他维度上尺寸的结构),如弦、杆、梁等的结构动力学问题归于一类,这些在第 11 章中讨论。而将二维结构,如膜、板、壳等的结构动力学问题归于另一类,这些在第 12 章中讨论。

(3) 在第一版的最后增加了两章内容,即第 14 章“航天器空间桁架结构动力学建模与分析”、第 15 章“航天器太阳能电池翼结构动力学建模与分析”。一般,有关机械振动或结构动力学的专著或教材中,只讲到简单结构或单元部件的结构动力学建模与分析,而不涉及复杂结构系统的建模与分析的理论与方法。然而,在我们长期的科学研究和工程实践中认识到,许多真正的实际结构往往具有复杂的结构外形、多样化的连接关系、不同类型单元部件的组合与构造等,分析和解决这些复杂结构的结构动力学问题的能力是未来的科学工作者和工程技术人员应该具备的。因此,增加了这两章的内容。本书第二版以两类典型的航天结构为例,介绍了复杂结构系统的动力学建模与分析的基本方法,由此可推广应用到分析和解决其他复杂结构的动力学问题中,包含了复杂结构系统的动力学建模与分析,也是高等结构动力学与一般结构动力学的区别之一。

(4) 与第一版的另一个重要区别是在每一章的后面适当增加了一些思考题与习题。这对于帮助研究生课后复习或工程技术人员的自学无疑带来极大的好处。这些题目的选取基本上来源于多部国外优秀教材和我们在教学中的一些经验积累。

(5) 这一版还增加了课程设计的题目。参考我在国外研究和学习的经历,研究生不仅应完成书本上基本理论和基本方法的学习,还应有针对性地安排一些实践环节,运用书中的知识尝试性地提出和解决一些相关的问题。这些问题可能是具体的,也可能是抽象的。设计这个环节的目的在于既帮助学生提高解决实际问题的能力,又期望能激发学生的想象力、启动发明创造的潜能。

本书以线性系统为对象,从基本理论到分析方法,从简单结构到复杂结构,较系统、全面地研究了结构的本征值问题和动力响应问题,分析了结构动力学系统的固有特性以及结构动力学特性对各种影响因素的敏感度等。在第一版的基础上经过修改和增加后,第二版主要由 15 章组成。章节安排特点为:

第 1 章,绪论。主要介绍结构动力学基本思想、主要研究内容及研究方法。

第 2 章,单自由度系统的动力学特性。介绍结构振动的基本概念、基本理论和基本分析方法。本章是今后分析多自由度结构系统动力学特性的基础。

第 3~8 章,主要介绍多自由度结构系统的基本特性、动力学建模、数值分析、系统辨识、敏感度分析、部件模态综合等的基本理论与分析方法。

第9章和第10章,介绍求解多自由度系统动力学响应的各种方法,包括数值积分方法和模态叠加法。

第11章和第12章,介绍典型的结构单元,如弦、杆、梁、膜、板、壳、环等的建模与分析方法,以及它们各自所特有的动力学特性。这些结构既是工程中最常见的又是结构动力学中最基本的。通常,一个复杂结构系统都能分解为它们中某些结构单元的组合。

第13~15章,介绍复杂结构系统的动力学建模与分析的基本理论与方法,包括固液耦合系统的动力学建模与分析、航天器空间桁架结构动力学建模与分析、航天器太阳能电池翼结构动力学建模与分析。这三章内容均来自我们近年来课题研究的成果。

最后,附录A是课程设计题目,附录B是部分习题的答案。书中涉及的参考文献附于本书最后,期望引导读者学习到更宽广的知识。

1982年以来,高等结构动力学就一直是力学、机械、建筑、航空、航天等相关领域研究生的必修课程。直到1997年10月本书的第一版出版,这门重要的研究生课程才有了专门的教材。出版之初,因为当时研究生人数不多,也未充分考虑到其他相关高等学校和科研院所的需要,仅印了2000册。到2000年,在市面上就很难找到这本书了。在2002年当我知道了有些学校和研究所的研究生在用此书的复印本当教材或参考书时,我就开始计划此书再版的事情。但是,主要还是由于科研工作太忙的原因,再版的事情一拖再拖。2008年底,才开始本书的再版修订工作。经过一年多的努力,再版修订稿终于可以交付出版了。希望本书第二版能在2010年的秋季学期与广大读者见面。

这里要特别地感谢国防科技大学的雷勇军教授!雷教授编排了本书的全部习题、思考题和课程设计题目,并给出了部分习题的答案。由于原书稿没有留下电子版,雷教授组织完成了本书的全部录入和全部图片的绘制工作,并完成了全书的校对修订工作。雷教授在我们课题组中长期从事航天器太阳能电池翼结构动力学分析的研究工作,也担任了三期本课程的主讲,积累了一定的课堂教学经验和分析复杂结构动力学问题的经验。本书最后一章即来自他的部分研究成果。他为本书的再版作出了大量艰苦卓越的贡献,在此再次表示崇高的敬意和衷心的感谢!

衷心感谢全体参与本书的文字录入、插图绘制、文献索引等的老师和研究生!在本书的再版过程中,还得到了许多来自各方面的帮助和支持,在此一并表示感谢。

本书初衷是为本专业研究生提供一本内容较系统的教材。但其中的基本理论

和基本方法，也可供相关专业研究生和相关工程技术人员参考。

限于作者水平，书中难免存在不足之处。真诚欢迎读者批评指正。

李东旭

2010年6月

国防科学技术大学

第一版前言

随着科学与现代工程技术的飞速发展，以及人们对物质生活需求的增加，各种各样的结构应运而生，如飞机、火箭、卫星、大路拱桥、多跨铁路桥、斜拉索桥、高层楼房、各种机床、海上平台、舰船等。许多结构或者庞大或者复杂，或者既庞大又复杂，无论哪种结构都不可避免地将受到动载荷的作用。例如，地震作用于楼房，台风作用于海上钻井平台，发动机推力作用于火箭，对接碰撞作用于空间站，惯性力作用于汽车等。动载荷对结构造成的影响完全不同于静载荷的影响。大量工程实际问题表明，结构的破坏往往源于动载荷，有时虽然未直接造成灾难性事故，但也使得结构不能按设计所要求的性能正常工作。因此，为了很好地利用各种结构为人类服务，无论是在设计时，还是在使用时，常常需要准确而迅捷地分析和预测它们的动态性能。

研究结构动态性能的科学就是结构动力学，它的一个非常重要的特点就是其数学概念完全与物理现象相协调，这些物理现象是人们可以体验得到和测量得出的。结构动力学是一门发展较为完备的学科。

结构动力学问题包含激励(泛称输入)、系统(弹性结构体本身)和响应(泛称输出)三个要素。已知激励和系统的问题归结为响应预测；已知系统和响应求激励是测量问题；已知激励和响应的问题是系统辨识问题。但不论是哪一类问题，系统所固有的内在品质是事物的内因，激励是外因，结构在外在激励的作用下所发生的响应就是外因通过内因起作用而产生的现象。内因是矛盾的主要方面，在结构的动态性能中起主要作用。因此结构动力学研究的内容在本质上分为两大类：一类是结构的固有特性问题；另一类是强迫响应问题，需要对激励和固有特性进行综合考虑。

高等结构动力学正是从理论的高度揭示结构动力学的本质。它不是仅介绍结构动力学中的各种物理现象及一般分析方法，而是把重点放在对问题本质的剖析上。它所研究的对象也不是某一具体的结构而是一般的振动系统。高等结构动力学在内容上更侧重于基本原理、基本方法和基本理论的论述和推证，因而它所阐述的论点或结论对研究结构的动态性能具有更普遍的指导意义。

考虑到本书的阅读对象主要是已经具有一定基础的研究生，因此在内容的选择上较侧重于理论的深度。作为教材，为便于自学，在内容的编排上遵从由浅入

深、循序渐进的原则。为了适应不同读者的需要,在内容上不受教学时数的限制,可以根据情况选用其中的章节,也可将其中的某些章节安排自学。同时,考虑到该书应对工程实际有一定参考价值,有鉴于此,该书在系统上分为三大部分,包含三篇共 12 章。

第 1 章引言,主要介绍结构动力学基本思想、主要研究内容及研究方法。

第一篇,共 6 章(第 2~7 章)。针对结构动力学第一类大问题,着重介绍与固有特性有关的基本概念、基本理论与分析方法,包括定理证明、数值分析与参数辨识原理。

第二篇,共 3 章(第 8~10 章)。针对结构动力学的第二类大问题,着重介绍动力响应的基本概念及求解动力响应的各种方法,主要是数值积分方法和模态叠加法。介绍了动力响应所包含的基本内容、数学表达式及其物理实质,以及各种方法本身所依据的基本理论。

第三篇,共 2 章(第 11 章和 12 章)。这一篇在前两篇基本理论与基本方法的基础上介绍了结构动力学在实际应用中的一些有代表性的实例,对工程应用有一定的参考价值。所涉及的弦、杆、梁、环、膜、板、壳的振动问题,既是工程中最常见的问题,又是结构动力学中最基本的问题。本篇还介绍了较复杂的固液耦合振动问题。

本书的编写吸收了许多中外科学家的研究成果和工程界大量的实践成果。作者在总结了他人研究成果的基础上,结合自己多年从事结构动力学研究的成果以及实际授课的经验和体会编写了本书。本书的内容曾作为国防科技大学航天技术系有关专业三届研究生课程的讲授内容。

本书主要的读者为研究生,也可作为工程技术人员的参考书。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,欢迎各界同仁批评指正。

感谢所有关心、支持、帮助本书出版的人们。

编著者

1997 年 6 月

国防科学技术大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 结构动力学研究的基础内容	1
1.2 结构动力学研究的基本方法	2
思考题与习题	5
第 2 章 单自由度系统的动力学特性	6
2.1 概述	6
2.2 无阻尼系统的自由振动	6
2.3 有阻尼系统的自由振动	11
2.4 周期载荷作用下的强迫振动	16
2.5 任意载荷作用下的强迫振动	28
思考题与习题	40
第 3 章 多自由度系统的动力学特性	46
3.1 概述	46
3.2 无阻尼系统的自由振动	46
3.3 固有频率与固有模态的特性	53
3.4 有阻尼系统的自由振动	59
3.5 确定基频的近似方法	67
思考题与习题	78
第 4 章 多自由度系统的动力学模型	82
4.1 概述	82
4.2 拉格朗日方程	82
4.3 拉格朗日方程在振动系统中的应用	86
4.4 约束坐标与拉格朗日乘子	99
4.5 受约束结构的振动	102
思考题与习题	108
第 5 章 求解特征问题的数值方法	112
5.1 概述	112
5.2 分解法	112

5.3 迭代法	123
5.4 变换法	131
5.5 三对角矩阵的特征值与特征向量	144
思考题与习题	150
第 6 章 模态参数辨识的基本原理	153
6.1 概述	153
6.2 黏性阻尼系统	153
6.3 结构阻尼系统	156
6.4 单自由度系统频响函数分析(曲线分析)	158
6.5 多自由度系统频响函数分析	167
6.6 模态参数辨识的基本方法	176
思考题与习题	192
第 7 章 部件模态综合法	194
7.1 概述	194
7.2 基本概念	194
7.3 无阻尼自由振动系统的综合	197
7.4 自由部件模态	205
7.5 残余柔度及残余部件模态	211
思考题与习题	223
第 8 章 结构动力学系统固有特性理论	226
8.1 概述	226
8.2 特征值的变分式	226
8.3 强迫振动	233
8.4 Collatz 包含定理	237
8.5 改进的 Collatz 定理及包含定理之间的关系	239
8.6 实对称矩阵的非正特征值数	247
8.7 基于动刚度的特征值计数法	249
8.8 基于凝聚动刚度的特征值计数法	250
8.9 约束定理证明	256
思考题与习题	256
第 9 章 多自由度系统的强迫振动	257
9.1 概述	257
9.2 求解强迫振动的直接积分法	257
9.3 方程的解耦与模态响应	266

思考题与习题	271
第 10 章 模态叠加法	273
10.1 概述	273
10.2 模态位移法	273
10.3 模态加速度法	280
10.4 含有刚体模态的模态叠加法	289
思考题与习题	298
第 11 章 一维连续系统的动力学建模与分析	302
11.1 概述	302
11.2 弦的振动	302
11.3 杆的纵向振动	307
11.4 杆的扭转振动	310
11.5 轴系的扭转振动	313
11.6 梁横向振动的一般情况	319
11.7 梁横向振动的特殊情况	329
11.8 圆环的振动	342
思考题与习题	347
第 12 章 二维连续系统的动力学建模与分析	349
12.1 概述	349
12.2 薄膜的振动	349
12.3 板的横向振动	351
12.4 壳的振动	387
思考题与习题	402
第 13 章 固液耦合系统的动力学建模与分析	404
13.1 概述	404
13.2 液体储箱壳体的固有特性	404
13.3 盛液储箱固液耦合下的纵向振动	407
13.4 考虑固液耦合时箭体的纵向振动	414
13.5 箭体的横向振动与液体晃动问题	420
思考题与习题	427
第 14 章 航天器空间桁架结构动力学建模与分析	429
14.1 概述	429
14.2 简化模型	429
14.3 直梁式架设桁架动力学分析	434

14.4	直梁式可展桁架动力学仿真	438
14.5	结构桁架的模态分析	440
14.6	结构桁架的谐激励响应	445
14.7	结构桁架的瞬态响应	447
14.8	小结	448
	思考题与习题	449
第 15 章	航天器太阳能电池翼结构动力学建模与分析	450
15.1	概述	450
15.2	太阳能电池翼基板连接刚度的参数识别	450
15.3	刚性组合基板的动力学建模与分析	460
15.4	柔性组合基板的动力学建模与分析	468
15.5	一类卫星太阳能电池翼的结构动力学特性分析	475
	思考题与习题	485
附录 A	课程设计题目	486
附录 B	部分习题答案	488
主要参考文献		499

第 1 章 绪 论

1.1 结构动力学研究的基础内容

1. 结构动力学的任务

一个结构受到随时间变化的动载荷与仅受到不随时间变化的静载荷时所表现的力学现象是不同的。一个幅值为 p_0 的静载荷作用于结构时，可能远不至于使它产生破坏，但同样幅值的动载荷作用于同样的结构就完全有可能使结构破坏，即使不造成结构的破坏，由于动载荷所引起的结构振动也可能会影响结构的正常工作。比如，1958 年发射的美国第一颗人造地球卫星 Explorer I，卫星入轨后，悬在星体外面的四根鞭状天线的弹性振动造成系统的内能耗散，最后导致卫星状态失稳而翻滚。又如，1982 年日本发射的技术实验卫星，由于挠性太阳能电池翼的微小振动干扰了姿态控制系统，使卫星无法正常工作。当然，振动也有它有利的一面，如采煤钻、打夯机等，其工作原理就是直接利用了振动的特点。凡此种种，无一不说明结构的动力特性与静力特性是完全不一样的。然而要使结构不受动载荷的作用是难以保证的。因此对于工程实际结构，无论是在设计还是在使用时，常常需要准确而迅速地分析或预测它们的动力特性。

研究结构在动载荷作用下所表现出来的动态特性就是结构动力学的基本任务。结构动力特性中最基本的两个特性就是自由振动和强迫响应。前者取决于初始条件，反映了结构本身的固有特性，后者将取决于外部对结构的输入。

高等结构动力学的任务不仅要研究结构在动载荷作用下表现出的各种各样的物理现象，而且要揭示现象背后的物理实质和内部规律。它从结构动力学的一般性问题出发，从理论上研究结构动力特性的本质问题。

2. 结构动力学的三个要素

结构动力学的三个要素是输入(激励)、系统(结构本身)和输出(响应)。

(1) 输入是动态的，即随时间变化的；变化规律可以是周期的、瞬态的和随机的；输入的形式是多样的，可以是力、位移、能量等；输入可以是单点输入，也可以是多点输入。

(2) 系统可以是线性的，也可以是非线性的。对于线性系统，叠加原理成立，

系统自由振动的频率及模态是系统所固有的, 其特性不随时间改变; 而非线性系统没有相对应的固有特性。本书只讨论线性系统。同时, 系统可分为保守系统和非保守系统。有阻尼的系统, 存在能量耗散, 是非保守系统。在振动控制理论中, 修改结构系统动态品质的一个行之有效的方法就是增加阻尼系统的能量耗散。

(3) 输出即结构系统对输入的响应。从时间的概念出发可以分为周期振动、瞬态振动和随机振动等; 从空间的概念出发可以分为纵向振动、弯曲振动、扭转振动及组合振动等; 输出也可以是单输出或多输出。不论什么样的结构, 也不论什么样的输入, 响应都将以一定的形式表现出来。

在振动问题中, 内容与形式是统一的。系统(结构)是引起振动的内因, 结构的固有特性是结构动态品质的决定因素, 输入是外因, 外因通过内因而起作用, 最后以输出的形式表现出来。

3. 结构动力学的研究范畴

在上述的三个要素中, 已知其中任意两个求第三个的问题都是结构动力学研究的范畴。

(1) 响应预测: 已知输入和系统求输出。

(2) 系统辨识: 已知输入和输出, 确定系统的特征参数。

(3) 测量问题: 已知系统和输出求输入。

第一个问题称为正问题, 后两个问题又统称为逆问题。在本书中只涉及第一和第二个问题。研究的基本内容分为两大类: 固有特性和响应问题。

1.2 结构动力学研究的基本方法

1. 研究步骤

在结构动力学分析中常用的研究步骤如图 1.2.1 所示。从大的方面主要分为设计、分析、试验和再设计。本书所涉及的主要内容属于分析部分。这一部分的两个关键: 一是建立方程, 二是求解方程。

2. 建模

1) 建模工作

首先引入一些假设将实际的结构进行简化, 得到便于分析的形式; 其次根据结构所处状态, 确定一系列的参数, 如几何尺寸、材料特性、约束边界等; 最后建立一组数学方程来描述所要分析的模型。建立的方程或数学模型应能反映结构动力学问题中的主要方面, 并能较全面、客观地反映物理现象的本质, 这是分析