



机械科学与工程研究生教学用书

机械振动系统

—— 分析·建模·测试·对策 (上册)
(第三版)

*Vibration Systems:
Analyzing, Modeling, Testing, Controlling*

- 获全国高等学校机电类优秀教材一等奖
- 教育部学位管理与研究生教育司推荐研究生教学用书

师汉民 黄其柏

BOOKS FOR GRADUATE STUDENTS

华中科技大学出版社

013023996



机械科学与工程研究生教学用书

机械振动系统

TH113.1

09-3

V1

——分析·建模·测试·对策(上册)
(第三版)



*Vibration Systems:
Analyzing, Modeling, Testing, Controlling*

师汉民 黄其柏



北航

C1630732

华中科技大学出版社

中国·武汉

TH113.1

09-3

V1

图书在版编目(CIP)数据

机械振动系统——分析·建模·测试·对策(上册)(第三版)/师汉民 黄其柏. —武汉:华中科技大学出版社,2013.1

ISBN 978-7-5609-8479-7

I. 机… II. ①师… ②黄… III. 机械振动-研究生-教材 IV. TH113.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 257835 号

机械振动系统——分析·建模·测试·对策(上册)(第三版)

师汉民 黄其柏

责任编辑:徐正达

封面设计:刘 卉

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:16.75 插页:2

字 数:333 千字

版 次:2013 年 1 月第 3 版第 1 次印刷

定 价:32.00 元



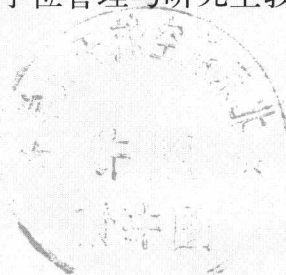
本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



北航

C1630732

获全国高等学校机电类优秀教材一等奖
教育部学位管理与研究生教育司推荐研究生教学用书



内 容 简 介

本书讲述现代振动工程中有关振动系统的分析、建模、测试与对策方面的基础理论、基本知识以及常用的方法和技巧. 全书分上、下两册, 上册包括单自由度与多自由度系统振动的基础知识、多自由度系统振动分析的常用方法及振动问题分析求解的计算方法, 下册包括连续系统的振动、随机振动、非线性系统的振动、混沌振动、自激振动、振动系统的测试与参数识别及振动的抑制与利用.

本书注意联系工程实际, 可作为机械类专业硕士研究生教材, 也可供工程技术人员参考.

ABSTRACT

This book covers the fundamental theory, practical methods, and techniques widely used in analyzing, modeling, testing and controlling vibration systems in modern vibration engineering. It is divided into two volumes. The first volume explains the essential theory of single-or multi-degree-of-freedom vibration systems, and general analytical methods and computational methods of multi-degree-of-freedom vibration systems. The second volume expounds on the vibration of continuous and non-linear systems, random vibration, self-excited vibration, chaotic vibration, vibration systems testing and parameter indentifying, vibration suppressions and the beneficial inducement of vibrations in certain applications.

Emphasizing practical applications this book is intended as a textbook for graduate students in mechanical engineering. As well, engineers and researchers in the field may find it a valuable reference.

序

今天,我国的教育正处在一个大发展的崭新时期,高等教育已跨入“大众化”阶段,蓬蓬勃勃,生机无限.在高等教育中,研究生教育的发展尤为迅速.党的十七大报告提出,要“努力造就世界一流科学家和科技领军人才,注重培养一线的创新人才”,强调了在建设创新型国家中教育的优先发展地位.我们可以清楚地知道,研究生教育是培养创新人才的主渠道,对走自主创新道路,建设创新型国家,具有重要的战略意义.

前事不忘,后事之师.历史经验已一而再、再而三地证明:一个国家的富强,一个民族的繁荣,最根本的是要依靠自己,要以自力更生、自主创新为主.《国际歌》讲得十分深刻,世界上从来就没有什么救世主,只有依靠自己救自己.寄希望于别人,期美好于外援,只是一种幼稚的幻想.内因是发展的决定性的因素.当然,我们绝不应该也绝不可能采取“闭关锁国”、自我封闭、故步自封的方式来谋求发展,重犯历史错误.外因始终是发展的必要条件.改革开放三十年所取得的辉煌成就,谱写的中华民族历史性跨越的壮丽史诗,就是铁证.正因为如此,我们清醒看到了,自助者人助天助,只有独立自主,自强不息,走以自主创新为主的发展道路,才有可能在向世界开放中,争取到更多的朋友,争取到更多的支持,充分利用好外部的各种有利条件,来扎扎实实而又尽可能快地发展自己.这一切的关键就在于,我们要有数量与质量足够的高级专门人才,特别是拔尖创新人才.何况,在科技高速发展与高度发达,而知识经济已初见端倪的今天,更加如此.人才、高级专门人才、拔尖创新人才、领导人才,是我们一切事业发展的基础.

“工欲善其事,必先利其器.”自古凡事皆然,教育也不例外.教学用书是培育人才的基本条件之一.“巧妇难为无米之炊.”特别是在今天,学科的交叉及其发展越来越多越快,人才的知识基础及其要求越来越广越高,因此,我一贯赞成与支持出版研究生教学用书,供研究生自己主动地选用.早在1990年,《机械

工程测试·信息·信号分析》出版时,我就为此书写了个“代序”,其中提出:

一个研究生应该博览群书,博采百家,思路开阔,有所创见.但这不等于他在一切方面均能如此,有所不为才能有所为.如果一个研究生的主要兴趣与工作不在某一特定方面,他也可选择一本有关这一特定方面的书作为了解与学习这方面知识的参考;如果一个研究生的主要兴趣与工作在这一特定方面,他更应选择一本有关的书作为主要的学习用书,寻觅主要学习线索,并缘此展开,博览群书.

这就是我赞成要为研究生编写系列的《机械科学与工程研究生教学用书》的主要原因.今天,我仍然如此来看.

还应提及一点,在教育界有人讲,要教学生“做中学”,这很有道理;但是,必须补充一句,“学中做”.既要在实践中学习,又要在学习中实践,学习与实践紧密结合,方为全面.重要的是,结合的关键在于引导学生思考、积极独立思考.我一贯认为,要造就一个人才,学习是基础,思考是关键,实践是根本,三者必须结合,缺一不可.当然,学生的层次不同,结合的方式、深度与广度就应不同,思考的深度也应不同.对研究生特别是对博士研究生,就必须是而且也应是“研中学,学中研”,就更须而且也更应是“研中思,思中研”,在研究这一实践中,甚至可以讲,研与学通过思考就是一回事了.正因为如此,《机械科学与工程研究生教学用书》就大有英雄用武之地,供学习之用,供研究之用,供思考之用.

在此,还应讲一点.作为一个研究生来读《机械科学与工程研究生教学用书》中的某书或其他有关的书,有的书要精读,有的书可泛读.因为知识是基础,有知识不一定有力量,没有知识就一定没有力量,千万千万不要轻视知识.但是,对研究生特别是博士研究生而言,最为重要的还不是知识本身这个形而下,而是以知识作为基础,努力来体悟知识所承载的思维、方法、原则与精神等内涵,体悟知识所蕴含的形而上,即《老子》所讲的不可道的“常道”,即思维能力的提高,即精神境界的升华.《庄子·天道》讲得多么好:“书不过语.语之所贵者意也,意有所随.意之所随者,不可以言传也.”这个“意”,就是知识所承载的内涵,就是孔子所讲的“一以贯之”的“一”,就是“道”,就是形而上.它比语言、比书本、比具体的知识,重要多了.当然,要能体悟出形而上,一定要有足够数量的知识作为必不可少的基础,一定要在读书去获得知识时,整体地读,重点地读,反复地读;整体地想,重点地想,反复地想.如同韩愈在《进学解》中所讲的那样,能“提其要”,“钩其玄”,这样,就可驾驭知识,发展知识,创新知识,而不是为知识

所驾驭,为知识所奴役,成为计算机存储装置。

《机械科学与工程研究生教学用书》是《研究生教学用书》的延续和发展。《研究生教学用书》自从1990年问世以来,到今年已经历了不平凡的18个春秋,已出版了用书80多种,有5种已被教育部研究生工作办公室列入向全国推荐的研究生教材,即现在的“教育部学位管理与研究生教育司推荐研究生教学用书”。为了满足当前的研究生教育培养创新人才的要求,华中科技大学出版社在已出版的机械类研究生教学用书的基础上进一步拓展,在全国范围内约请一大批著名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地出版《机械科学与工程研究生教学用书》系列教材。

唐代大文豪李白讲得十分正确:“人非尧舜,谁能尽善?”我始终认为,金无足赤,人无完人,文无完文,书无完书。这套《机械科学与工程研究生教学用书》更不会例外。本套书出版后,这套书如何?某本书如何?这样的或那样的错误、不妥、疏忽或不足,必然会有。但是,我们又必须积极、及时、认真而不断地加以改进,与时俱进,奋发前进。我们衷心希望与真挚感谢读者与专家不吝指教,及时批评。当局者迷,兼听则明;“嚶其鸣矣,求其友声。”这就是我们的肺腑之言。

当然,在这里,还应该深深感谢《机械科学与工程研究生教学用书》的作者、审阅者、组织者与出版者(华中科技大学出版社的编辑、校对及其全体同志);深深感谢对本套研究生教材的一切关心者与支持者,没有他们,就决不会有今天的《机械科学与工程研究生教学用书》。让我们共同努力,深入贯彻落实科学发展观,建设创新型国家,为培养数以千万计高级人才,特别是一大批拔尖创新人才、领导人才,完成历史赋予研究生教育的重大任务而作出应有的贡献。

谨为之序。

中国科学院院士
丛书主编

杨叔子

2008.9.14

(中秋笔)

第三版前言

《机械振动系统——分析·测试·建模·对策》上、下册于1992年首次出版,1996年推出了第二版,一直受到广大师生和工程技术人员的厚爱和欢迎。此书1996年获得全国高等学校机电类优秀教材一等奖,2001年被教育部研究生工作办公室推荐为研究生教学用书,即现在的“教育部学位管理与研究生教育司推荐研究生教学用书”。

岁月如流,二十年弹指一挥间,现在我们高兴地向读者推出此书的第三版。之所以需要出第三版,是由于近年来振动测试、分析的理论、方法和技术及其在振动工程和国民经济各个领域中的应用,都已经有了长足的发展,而教材必须与时俱进,更新内容,使学生了解该领域最新的发展,学到最新的科学知识,这将有利于他们日后创造性地解决各类工程实际问题。此外,根据我们近年来在教学实践和科研工作的体会,感到需要对上、下两册的章节编排进行某些调整,并相应将书名改为《机械振动系统——分析·建模·测试·对策》。

本次修订主要做了以下几个方面的工作。

第一,重排章节。第1章至第4章保持了原有结构和内容;第5章、第6章和第7章由原来的第8章、第9章和第15章修订而成,原第5章、第6章和第7章分别移作第10章、第14章和第15章;其他章节也作了适当调整。调整后,全书内容遵循“理论建模——求解计算——测试分析——振动控制”这一主线,更方便读者阅读和参考。

第二,增减内容。第14章增加了激光 Doppler 测振仪原理、非固定式激振系统力锤的工作原理、多参考点最小二乘复频域法和试验模态分析实例等内容,同时,在第6章恢复了模态综合法的内容,删去了第4章中的系统机械能与互易定理、系统矩阵、动力矩阵的内容。我们相信,通过这样的增删以后,这部教材内容将更丰富,更具实用性。

第三,精选实例。对部分章节的实例进行了精选和掉换,使之更具代表性,更便于学习和理解。

第四,对全书的文字、插图和公式进行了审阅并做了少量校改。

这一版的修订由教授、博士生导师黄其柏具体执行。黄老师在振动、冲击和噪声领域从事过多年的科学研究和人才培养工作,成绩卓著。我为这个学科里新秀辈出、后继有人深感欣慰。

华中科技大学振动噪声及控制课题组的研究生们为本书的再版做了大量的校对工作,在此谨致谢意.

华中科技大学出版社多年来在本书编辑、出版和发行中做了大量的工作,给予了一贯的支持,在此深表谢意.

限于编者的水平,书中难免有缺点和不妥之处,恳切希望广大读者批评指正,并将宝贵的意见或者建议反馈给我们.

华中科技大学 师汉民

于喻家山下

2012-3-10

前 言

本书是为华中理工大学硕士研究生的学位课程“机械振动”所编写的教材。此课程旨在帮助研究生掌握机械振动的基础理论、基本测试、建模技能与分析计算方法,培养他们对机械系统和工程结构进行振动分析与控制、有效地处理机械工程中各种振动问题的能力。

为实现上述目的,本书力图在“少而精”的前提下,覆盖机械工程类的硕士研究生在他们未来的工作中为处理种种动态分析与振动控制问题,可能需要的基础理论、基本知识以及常用的方法和技巧。我们试图突破现有机械振动方面的书籍或教材的一般体系,而将现代振动工程中有关振动系统的分析、测试、建模与对策方面的知识组织成为一个有机的整体,供研究生学位课程教学之用。

本书以机械类工科专业本科的课程(理论力学、材料力学、高等数学和工程数学)作为起点,在取材与编排上有以下特点:

突出联系工程实际的观点,在遵循振动学科的基本体系、讲清振动科学的基础理论的同时,注意阐述有关理论、知识和方法的工程背景与实际意义;

注意反映由于电子计算机在振动分析中的广泛深入的应用,而发展起来的一些新的方法与技巧;

在适应于教材的容量与深度的范围内,本书还介绍了作者近年来在金属切削机床自激振动的非线性理论及其在线监控技术方面的主要研究成果,作为工程实际中的振动问题的分析与处理之一例。

全书分上下两册,上册(基础篇)包括单自由度与多自由度系统振动的基础知识,随机激励下的振动,振动系统的测试、辨识与建模,振动的抑制与振动的利用;下册(深化篇)包括分析动力学基础,多自由度系统振动分析的常用方法,连续系统与非线性系统的振动,工程中的自激振动以及振动问题分析求解的计算方法。

在叙述方法上我们尽力注意突出重点,讲清难点,分清层次,以利教学;特别是注意以启发诱导的方式,激发研究生的学习兴趣,引导他们去钻研与理解。

在每章之末均附有若干“思考题”,这些思考题“貌似简单”,其实并不容易,它们有助于帮助学习者澄清模糊概念,并激发学习兴趣。在书末附有各章思考题的答案,但我们希望读者在经过认真思考以后,再去查阅答案。各章之后还附有若干习题,供读者选做。

按照我们的教学经验,如果讲授得法,而且研究生们能努力学习,积极配合,那么 80 学时就足够讲授本书的基本内容,课内外学时之比约为 1:2。

如果研究生们在本科期间已修有关振动方面的课程,则可略去第一篇,而由第二篇开始讲授,大约 40~60 学时就能讲完。

本书第一篇(第一至第七章)还可作为机械类专业大学本科生的必修或选修课教材,需 40~60 个课堂学时。

本书除作为教材之外,还可供从事机械产品与机械设备的振动测试、分析、抑制或利用等方面工作的广大工程技术人员作为技术参考书。

谌刚与吴雅参与了这门课程的教学实践与大纲制订,并分别提供了第三、四、六、七、九章与第一、二章的初稿,全书由师汉民编写与修改、定稿。谌刚与吴雅负责整理、校核全书的文字、公式与插图。伍良生校阅了部分章节,并提出了宝贵建议。周辉、张保国与刘国祥为缮写书稿付出了辛勤的劳动。

杨叔子教授对于这门课程的开设与教材编写给予了热情的支持和关怀。杜润生为本课程的实验开设作出了贡献。邓星钟、卢文祥等同志都为此课程教学活动的正常进行付出了劳动。

限于编者的水平,书中定有许多不恰当甚至错误之处,切望读者批评指正。

编者

1990年11月28日

再版前言

《机械振动系统——分析·测试·建模·对策》一书(上、下册)于1992年由华中理工大学出版社出版,至今已历十年。其间,重印过四次。现在终于有了再版的机会。

当时此书是作为硕士研究生教材出版的。我校机械工程一系于1984年开始对本系机械制造专业和机械学专业的硕士研究生开出“机械振动学”的学位课程。选修此课程的,除了本系的研究生以外,还有力学系、动力系、土木系和船海系等其他系的研究生。随后,对博士生的入学考试又相应地增设了“机械振动学”的科目。这门研究生学位课程的讲授一直坚持至今,已历时18年。在教学中,教师和学生都表现出很大的兴趣和很高的积极性与主动性。

在开设这门课程之初,所面临的一个主要困难是找不到一本合适的教材。当时已有的关于振动的教材或书籍多是属于基础学科,是从力学的角度来讲述关于振动的知识。这并不符合我们的目的——我们是要从振动工程的角度来讲述振动科学与振动知识及其在工程领域中的实际运用。除了讲清振动科学的基础概念和基本知识以外,这门课程特别需要教给学生如何运用这些概念和知识来分析与解决工程实际中的振动问题或动态问题。此外,当时已有的一些机械振动方面的书籍在编写方式、讲述深度与篇幅方面也不甚适合作为机械类工程专业的硕士研究生教材之用。鉴于此,我们编写、出版了这本研究生教材。

虽然当初出版此书的直接目的是为了解决本校研究生的教学之需,可是出版后,此书也受其他院校师生的关爱,为许多兄弟院校作为教材采用。

此书于1996年6月获全国高等学校机电类优秀教材一等奖。

此书于2001年被国家教育部遴选为全国推荐研究生教学用书。

借此书改版、再版的机会,我们对它做了某些补充、删改与修订,以答谢广大师生和工程技

术人员的厚爱。

首先,增补了“混沌振动”一章(第十四章)。混沌的发现与研究,应该说是 20 世纪在非线性和复杂性领域最令人鼓舞的研究成果之一。近十年来,我国在混沌知识的传播以及对于工程系统中的混沌现象的揭示和研究方面都已取得可喜的成绩。混沌知识的工程应用也已经初见端倪。

时至今日,机类专业的硕士研究生如果对于混沌的认识仍然是一团混沌,将严重地限制他们认识事物的眼界和解决问题的能力。所增补的这一章简略讲述了混沌振动的含义、机制、特点和规律,其目的在于深化对于非线性动态过程的认识,并提高分析和处理非线性问题的能力。

其次,删去了第一版的第七章和第十三章中有关机床的非线性颤振方面的内容。其原因是,在教学实践中我们感觉到这些内容过专、过深,不适合作为硕士研究生的教学内容。

第三,删去了第一版的第九章第四节关于模态综合法的部分。除了因为这部分内容也是比较专门化,在教材容量的限度内难于阐述清楚以外,还为了平衡教材的分量。我们不希望这部教材由于增补了新的内容而导致篇幅膨胀,增加教学的困难。

第四,对全书的文字、插图和公式进行了少量校改。

黄其柏为此书的改版和修改提出了宝贵的建议。李高正为本书的再版做了大量的校对工作。在此谨致谢意。

我十分怀念在编写此书中,与谌刚、吴雅合作共事的那一段时光。他们的努力为此书的形成和出版做出了重要的贡献。如今,吴雅已离开人世,给我们留下了永久的怀念。愿以此书的新版告慰她的在天之灵!谌刚已出国多年,不可能再参与此书的修改和再版的工作,在此,谨对他道一声珍重!

由于编者的水平有限,时间仓促,书中一定还有不少未能尽善之处、不妥之处、甚至错误之处,切望广大读者不吝指正,将你们的意见或建议反馈给我们。

华中科技大学 师汉民

于喻家山下

2003-9-1

目 录

绪论	(1)
0.1 振动工程是发展工业生产和国民经济的需要	(1)
0.2 振动工程以解决工程中的各种动态问题为目的	(2)
0.3 振动工程解决工程问题的策略与方法	(3)
第1章 单自由度线性系统的自由振动	(5)
1.1 振动系统的简化及其模型	(5)
1.2 单自由度线性系统的运动微分方程	(14)
1.3 无阻尼系统的自由振动	(18)
1.4 有阻尼系统的自由振动	(29)
第2章 单自由度线性系统的强迫振动	(39)
2.1 谐波激励下的强迫振动	(39)
2.2 周期激励下的强迫振动——Fourier 级数法	(52)
2.3 非周期激励下的强迫振动——Fourier 变换法	(59)
2.4 非周期激励下的强迫振动——脉冲响应函数法	(63)
2.5 冲击与系统的冲击响应	(71)
第3章 两自由度系统的振动	(80)
3.1 两自由度振动系统的运动微分方程	(80)
3.2 无阻尼系统的自由振动及自然模态	(82)
3.3 坐标变换与坐标耦合	(87)
3.4 自然坐标	(89)
3.5 拍击现象	(92)
3.6 两自由度系统在谐波激励下的强迫振动	(94)
第4章 多自由度系统振动的基本知识	(101)
4.1 广义坐标	(102)
4.2 线性系统的运动方程及其矩阵表达式	(102)
4.3 线性变换与坐标耦合	(110)
4.4 无阻尼自由振动和特征值问题	(112)
4.5 模态向量的正交性与展开定理	(115)
4.6 系统对初始激励的响应	(119)
4.7 有阻尼多自由度系统的自由振动	(122)

4.8	多自由度系统的一般响应	(124)
4.9	多自由度振动系统的几种特殊情况	(128)
第5章	多自由度系统的 Lagrange 动力学模型	(140)
5.1	引言	(140)
5.2	功和能	(142)
5.3	虚功原理	(143)
5.4	势能与动能的广义坐标表达式	(149)
5.5	D'Alembert 原理	(151)
5.6	Lagrange 方程	(152)
5.7	系统的线性化及线性系统的 Lagrange 方程	(156)
第6章	多自由度系统振动分析的常用方法	(163)
6.1	自然频率与模态向量的几种估算法	(163)
6.2	子系统综合法(一)——传递矩阵法	(174)
6.3	子系统综合法(二)——机械阻抗法	(185)
6.4	子系统综合法(三)——模态综合法	(198)
第7章	振动问题分析求解中的计算方法	(212)
7.1	特征值问题的计算方法	(212)
7.2	线性系统振动响应的状态转移矩阵分析法	(236)
7.3	振动系统响应的一般数值方法	(244)
思考题参考答案		(255)
参考文献		(257)

绪 论

振动学科(包括声学)曾经是物理学或力学的一个分支,原属于基础科学.这一学科以力学和数学为基础,以现代测试技术、计算技术为手段,并从系统论、控制论及信息论等新兴学科汲取营养而发展起来.它面向工程实际,以振动学科的理论、知识和方法来解决工程中日趋复杂的各种动力学问题,作出了富有成效的贡献,且日臻成熟,终于由基础学科发展成为一门工程学科——振动工程.本书讲述振动工程的基础理论与技术,这里先介绍振动工程的意义、特点和方法.

0.1 振动工程是发展工业生产和国民经济的需要

在机械工业和其他工业部门存在着难以数计的有害振动问题,这些问题正在招致巨大的损失或者隐藏着可怕的祸根.以振动工程的理论、技术和方法来研究与解决这些问题,是当务之急.

大型、高速回转机械,如汽轮发电机组,因动态失稳而造成的重大恶性事故,在国内外都屡见不鲜.在事故中急剧增强的振动可在几十秒钟之内使大型发电机组彻底解体,甚至祸及厂房,造成巨大的财产损失和人员伤亡.至于国外某些核电站事故所造成的后果,就不仅仅是经济损失,而且危及社会安定.而事故的原因或征兆之一,也是机组的强烈振动.

大型工程结构因振动而引起的事故,也时有发生.历史上曾经发生过桥梁由于在其上正步行进的队伍的周期激励,发生共振,而突然崩塌的事故.近代还发生过大型桥梁或冷却塔因“风激振动”而断裂、倒塌的事故.十几万吨级的油轮也会由于振动而在海上折成两段,究其原因,是船体的固有频率设计不妥.

各种商品从生产厂到达消费者手中,往往要经过漫长的运输过程,在此过程中难免存在冲击与振动.为了使商品完好无损地到达消费者手中,一般都需要设计合适的商品包装,以缓冲防振,保护商品.而每年因为包装不善所造成的商品损失,也是非常巨大的.

此外,过量的振动和因振动而引起的噪声还会污染环境,损害人们的健康.

以上仅仅是部分事例.事实上,可以说振动问题普遍地存在于工业生产和工程的各个领域.科学技术发展到今天,对许多工程项目来说,振动分析与控制,已经不再是“画蛇添足”的赘举,而是决定一个项目命运的必要措施.

振动并非只能为害,如能合理运用,亦能造福人类。目前已能在很多方面对振动进行有效的利用,诸如振动加工(超声加工)、振动时效、振动筛、振动破碎、振动夯土、振动检测等等。

从上述可知,振动工程作为一门新兴的工程学科,与工业生产及国民经济紧密相关。对于这一领域的忽视或轻视,会受到自然规律的严厉报复,而自觉地运用这一学科的理论、技术与方法,则可能获得极其显著的技术经济效益与社会效益。

0.2 振动工程以解决工程中的各种动态问题为目的

动态载荷作用于动态系统,就构成一个动态问题。动态载荷即迅速变化的载荷,包括交变载荷与突变载荷。当载荷的频率成分之一接近或超过系统的某一个自然频率时,就必须作为一个动态问题(而不是一个静态问题)来处理。事实上,工程中的许多问题都必须看做动态问题。

与静态问题比较起来,动态问题有以下特点。

1. 复杂性

造成动态问题的复杂性的主要原因是,系统载荷作用的“后效性”和其响应对于过去经历的载荷的“记忆性”。前者指某时刻作用在系统上的载荷不仅只影响系统在该时刻的响应,而且影响系统在此后各时刻的响应;后者指系统在任一时刻的响应不只由该时刻的载荷决定,而是由在该时刻之前系统所经受的载荷的全部历程来决定,好像系统能记住它过去的经历一样。动载荷对系统的作用是首先改变系统在各个时刻的初态,这些受扰的初态按照系统内在的模式,向前运动发展,然后才能决定系统在其后各个时刻的总的响应。由此可见,一个动态系统在受到外加扰动时,其响应并不亦步亦趋地跟踪载荷的变化,而是力图表现出它的个性;而对一个动态系统施加的控制,只有顺应该系统的内在模式,才能收到预期的效果。由于上述特性,对一个动态系统的辨识、响应预测或控制,要比对静态系统的复杂得多。

2. 危险性

动态系统可能十分危险。危险主要是由两种因素引起的:其一为共振现象,当扰动频率接近系统的自然频率时,微小的载荷可以引起“轩然大波”,在结构中激起比静态响应大很多倍的动态位移响应与应力响应,产生巨大的破坏力;其二为自激振动,在一定的条件下,一个动态系统(例如金属切削机床、轧钢机或飞机等等),可以在没有外加交变激励的情况下突然振动起来,振幅猛烈上升,产生巨大的破坏性。例如,机床如果发生这种振动,便难以正常地进行切削加工,而飞机如果产生这种振动,往往会导致机毁人亡的后果。这种振动即自激振动,又称为“颤振”。它似乎是“无缘无故”地发生的。对其产生机理的剖析及对其防治都比较困难。