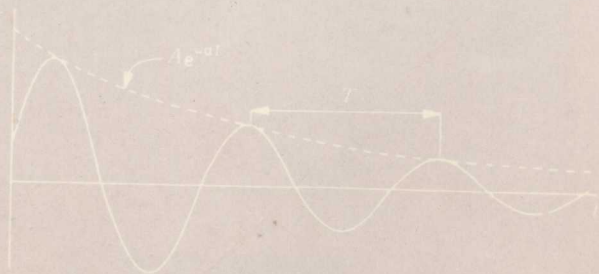


机械振动基础教程

Fundamentals of Mechanical Vibrations

[爱尔兰]马修·哈塞 著

宋庆国 陈永胜 译
宋筱平 刘金环



中国科学技术出版社

(京)新登字 175 号

图书在版编目(CIP)数据

机械振动基础教程/[爱尔兰]马修·哈塞著;宋庆国等译.

北京:中国科学技术出版社,1994.6

ISBN 7-5046-1797-0/TH·31

I. 机…

I. ①马… ②宋…

Ⅲ. 机械振动—教材

IV. TH113.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 080058 号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码:100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京理工大学印刷厂印刷

*

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:10.625 字数:260 千字

1994 年 7 月第 1 版 1994 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—700 册 定价:10.50 元

内 容 提 要

本书从力学基础知识入手,全面介绍了简单线性系统、耦合系统、连续系统和非线性系统等机械振动的基本理论,还介绍了压电效应、振动测量与分析、振动隔离与控制以及振动对人体的危害和人体内部振动的产生机理等,并介绍了电模拟原理,还安排了大量的实验和习题。

本书适合作为大专院校波动学、声学、噪音、振动、生物医学、机械设计、结构和建筑、仪器设计、传感器系统、超声波应用等专业学科的基础课教材或参考书,亦可供这些专业的研究生和工程技术人员学习参考。

本书由都柏林理工大学物理系主任马修·哈塞教授著,宋庆国高级工程师等翻译,王信义教授审阅。

原 序

机械振动理论是物理学、工程学和建筑学等广阔的科学技术领域的基础。自然界所发生的振动，对于地球物理学家、土木工程专家、医疗物理学家等等，都是十分重要的课题；防止剧烈振动所产生的不良后果，是设计工程师、建筑师、土木工程师、结构与机械工程师、量测仪器专家、生物医学工程师等所共同关心的课题；振动机械的设计与制造，经常是机械工程师和声学专家日常工作的主题；振动的测试与分析，是维修工程师和物理学家重要的工作内容。

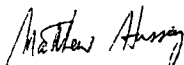
本书旨在传授上述各学科所涉及的机械振动的基本理论。多做习题，这大概是唯一最有效的学习方法；因此，我竭诚建议，学习本书的大学生要独立完成每章所列出的全部习题。如果书本的学习能够与相关的实验课同时进行，那末书本的价值将会大大提高；为此目的，本书每一章都提出一些与该章内容相配合的实验课程。另外，在每一章末都列出了一些参考文献；只要有可能，每一位大学生都应该查阅一下这些材料，以便对本书内容所涉及的知识进行补充和扩展，有利于获得新的见解，有助于对某些专题进行深入研究，同时也有助于完成本书中的全部习题。

学习本教材的大学生应该预先学习下列课程：1. 微积分，包括偏微分方程；2. 相当于大学一年级水平的物理知识；3. 交流电；4. 材料的机械力学性能。其中，后两门课程的学习可以与本教材的学习同步进行。

埃莱玛·弗拉娜甘女士对原图做了大量工作，盖拉丹·柯汀女士对初稿进行了打字，在此一并表示感谢。

中文版序言
向中国致意——寄自爱尔兰

中文版在宋庆国的努力下即将出版，这是我最大的荣幸。本书是理工科大学学生的一门重要的专业基础课教程，我希望年轻的理工科大学学生能够从中获得裨益。



(马修·哈塞)

1992年10月25日

中文版爱尔兰语（即盖尔语）序言：
RÉAMHRÁ DON EAGRÁN SINEACH:

Beannachtaí ó Éirinn go dtí an tsín.

Is mór an onóir dom go bhfuil an t - eagrán seo, ullmhaithe ag Song Qingguo, á fhoillsiú as Sínis. Tá súil agam go mbainfidh mic agus iníonacha léinn innealtóireachta agus eolaíochta tairbhe as an réamhrá seo d'ábhar atá bunúsach agus tábhachtach dá ngníomhréimeanna.

25 Deireadh Fómhair 1992



(Matthew Hussey)

译者序

本书作者马修·哈塞博士曾经在美国宾夕法尼亚大学从事过多年的生物医学工程的研究工作，后来以高级物理学家的身份为英国苏格兰西部卫生委员会工作。1975年以后，他在爱尔兰都柏林理工大学从事教学和科研工作，现担任该校理工学院物理系主任，是该校学术委员会和管理委员会的成员。他在医学测试学、生物材料学、超声学和声学等许多学科发表过许多论文，出版过很多专业著作。

本书内容比较系统和完整，涉及面较广，除了机械振动的基本理论之外，还介绍了压电效应、振动测量与分析、振动隔离与控制以及振动与人体等许多内容，介绍了电模拟原理，这在同类教材中并不多见。另外，作者还特别注意理论与实践的结合，在本书中安排了大量的实验和习题，强调了多做实验和习题的重要性。

本书适合作为波动学、声学、噪声、振动、生物医学、机械设计、结构和建筑、仪器设计、传感器系统、超声波应用等专业大学本科基础课教材或参考书，亦可供这些专业的研究生和从事这些专业的工程技术人员学习参考。

宋庆国、陈永胜、宋筱平、刘金环同志承担了本书的翻译工作，王信义教授审阅了本书的全部译稿。

译者
1993年2月

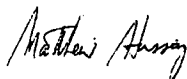
中文版英语序言：

PREFACE TO CHINESE EDITION

Greetings from Ireland to China.

It is a great honour for me that this edition, prepared by Song Qingguo, is being published in Chinese. I hope that young students of engineering and science will derive benefit from this introduction to a subject which is important and fundamental for their careers.

25 October 1992



(Matthew Hussey)

δ	梁的中点挠度	m
	对数衰减率	—
	狄拉克 δ -函数	—
	非线性弹簧常数	—
Δ	ΔL , L 的增量	—
E	弹性模量	N/m^2 , Pa
	能	J
	电场强度, 电位梯度	V/m
e	压电常数	C/m^2 , $N/V \cdot m$
	偏心量	m
ϵ	介电常数	$C/m \cdot V$
F	力	N
	傅里叶变换	—
f	频率	Hz
	瞬时力	N
	一般函数	—
φ	角位移	rad
	相角	rad
Φ	最大角变位	rad
G	力除以质量	m/s^2
	吉布斯自由能	J
	振幅	—
g	重力加速度	$=9.81 \text{ m/s}^2$
	瞬时力除以质量	m/s^2
	压电常数	m^2/C , $V \cdot m/N$
	动力减振器中的质量比	—
γ	悬臂梁自由端的挠度	m
	相角	rad
	气体的比热容比	—

	复传播常数	1/m
H	热能	J
	系统的传递函数	—
	焓	J
	振幅	—
\dot{H}	热能生成率	J/s
h	高度	m
	脉冲响应	—
	压电常数	N/C, V/m
	迟滞阻尼系数	N/m
η	粘性系数	kg/s m ²
I	转动惯量	kg m ²
	截面惯性矩	m ⁴
	电流	A
i	瞬时电流	A
\dot{i}	电流变化率	A/s
J	贝塞尔函数	—
	电流密度	A/m ²
j	$\sqrt{-1}$	—
K	常数	J
	整数	=1, 2, 3, ...
k	常数	—
	整数	=0, 1, 2, ...
	压电材料的耦合系数	—
κ	每单位弦线长度的质量	kg/m
	柔度, 压缩系数	m ² /N
	非线性弹簧常数	—
L	动量矩	kg m ² rad/s

	长度	m
	电感	H
	拉普拉斯变换	—
\mathcal{L}	拉普拉斯变换运算	—
\mathcal{L}^{-1}	拉普拉斯逆变换运算	—
l	长度	m
	整数	=0, 1, 2, ...
λ	波长	m
M	质量	kg
	弯矩, 转矩	N m
m	整数	=0, 1, 2, ...
μ	静摩擦系数	—
	每单位薄膜面积的质量	kg/m ²
Mom	动量	kg m/s
N	贝塞尔函数	—
n	切变模量	N/m ² , Pa
	整数	=0, 1, 2, ...
P	功率	W
	压力	Pa
	振型位移的振幅	m
	分布函数	—
	减振指数	—
p	常数	m
	瞬时功率	W
	振幅	—
	振型位移	m
	瞬时压力	Pa
	初始位移	m
	概率密度	—

\dot{p}	瞬时压力的变化率	Pa/s
π	常数	=3. 14159...
ψ	相角	rad
	振型坐标	m kg ^{1/2}
	角频率	rad/s
Ψ	振型坐标的振幅	m kg ^{1/2}
Q	品质因数, Q 值	—
	2×频谱密度函数	—
Q'	流量	m ³ /s
q	常数	m
	瞬时电荷量	C
	阻尼比	—
	振幅	—
	初始速度	m/s
\dot{q}	瞬时流量	m ³ /s
R	电阻	Ω
	径向距离	m
	摩尔气体常数	=8. 31 J/mol K
r	半径	m
	径向坐标	—
	激励频率与固有频率之比	—
ρ	密度	kg/m ³
	电阻率	Ω m
S	应变	—
	频谱密度函数	—
s	周向位移	m
	变换参量	—
	第三阶谐波振幅与第一阶谐波振幅之比	—

\dot{s}	周向速度	m/s
\ddot{s}	周向加速度	m/s ²
σ	薄膜单位周边长度的张力	N/m
	熵	J/K
	标准离差	—
T	应力	N/m ² , Pa
	振动周期, 周期函数的周期	s
	传递率	—
t	时间	s
	温度	°C
τ	时间常数, 弛豫时间	s
	脉冲持续时间	s
	时间变量	s
θ	角位移	rad
	角度	rad
	柱坐标系中的转角坐标	—
	绝对温度	K
$\dot{\theta}$	角速度	rad/s
$\ddot{\theta}$	角加速度	rad/s ²
T_r	转矩, 力矩	N m
U	阶跃函数	—
	内能	J
	电位差, 电压	V
u	瞬时电位差, 瞬时电压	V
V	体积	m ³
w	距离	m
ω	角速度, 角频率	rad/s
W_k	功	N m, J

X	x 的拉普拉斯变换	—
x	坐标轴	—
	沿 x 轴的位移	m
	弹簧长度变化	m
\dot{x}	x 方向的速度	m/s
\ddot{x}	x 方向的加速度	m/s ²
ξ	沿 x 轴的质点位移	m
$\dot{\xi}$	沿 x 轴的质点速度	m/s
$\ddot{\xi}$	沿 x 轴的质点加速度	m/s ²
Y	机械柔度	s/kg
y	坐标轴	—
	沿 y 轴的位移	m
	距离	m
\dot{y}	y 方向的速度	m/s
\ddot{y}	y 方向的加速度	m/s ²
Z	机械阻抗	kg/s, N s/m
	电阻抗	Ω
z	坐标轴	—
	沿 z 轴的位移	m
\dot{z}	z 方向的速度	m/s
\ddot{z}	z 方向的加速度	m/s ²
ξ	沿 z 轴的质点位移	m
$\dot{\xi}$	沿 z 轴的质点速度	m/s
$\ddot{\xi}$	沿 z 轴的质点加速度	m/s ²

目 录

符号表

第一章 基本的机械量

1.1 导引	1
1.2 力和转矩	2
1.3 虎克定理	8
1.4 功和机械能	13
1.5 单位	16
1.6 实验	17
习题	20
参考文献	22

第二章 自由简谐振动系统

2.1 导引	24
2.2 简谐振动系统	24
2.3 简谐运动的图示法	28
2.4 振动系统中的力	29
2.5 振动系统中的能量	29
2.6 初始条件	31
2.7 简谐振动系统的各种形式	34
2.8 简谐振动系统的电模拟	38
2.9 实验	41
习题	42
参考文献	44

第三章 有阻尼自由简谐振动系统

3.1	导引	47
3.2	摩擦和阻尼	47
3.3	有阻尼简谐振动系统	54
3.4	阻尼的三种形式	55
3.5	有阻尼简谐振动系统中的能量	61
3.6	有阻尼简谐振动系统的功能参数	66
3.7	模拟电路	68
3.8	实验	70
	习题	73
	参考文献	74
第四章 有阻尼简谐振动系统受简谐力激励时的振动		
4.1	导引	77
4.2	简谐振动系统受简谐力激励时的振动	77
4.3	机械阻抗和柔度	84
4.4	受激振动系统中的能量和功率	87
4.5	功率共振	91
4.6	模拟电路	96
4.7	实验	97
	习题	98
	参考文献	100
第五章 有阻尼简谐振动系统的谐波分析和变换方法		
5.1	导引	102
5.2	谐波分析的傅里叶理论	102
5.3	截断傅里叶级数	108
5.4	脉冲序列, 单个的脉冲和冲击	112
5.5	拉普拉斯变换	116
5.6	线性和叠加	120
5.7	拉普拉斯变换法在线性系统中的应用	122
5.8	脉冲响应和系统的传递函数	124

5.9 实验	128
习题	129
参考文献	131
第六章 一对耦合的简谐振动系统	
6.1 导引	132
6.2 耦合的振动系统——振型	132
6.3 耦合系统中的能量	140
6.4 耦合系统中的共振	141
6.5 电模拟	144
6.6 实验	146
习题	147
参考文献	149
第七章 非离散元件的机械振动系统	
7.1 导引	150
7.2 具有大质量弹簧的简谐振动系统	150
7.3 复摆	152
7.4 弦线振动	154
7.5 匀质杆的横向振动	159
7.6 细匀质杆中的纵向振动	164
7.7 圆膜振动	168
7.8 气柱振动	172
7.9 分布参数的振动系统的电模拟	176
7.10 实验	178
习题	181
参考文献	184
第八章 压电效应	
8.1 导引	186
8.2 压电效应的基本理论	186
8.3 压电关系式	188

8.4	其他形式的压电关系式	191
8.5	压电圆片中的波动方程	195
8.6	实验	202
	习题	203
	参考文献	204
第九章 非线性振动系统		
9.1	导引	205
9.2	非线性弹簧	205
9.3	振体-非线性弹簧系统受简谐激励时的运动	210
9.4	做自由振动的简谐振动系统中的非线性阻尼	214
9.5	具有迟滞阻尼的振动系统受简谐力作用时的振动	217
9.6	振动系统中的静摩擦阻尼	221
9.7	实验	224
	习题	225
	参考文献	227
第十章 振动测量和分析		
10.1	导引	228
10.2	振动在机械系统中的作用	228
10.3	测振设备	231
10.4	振动传感器、加速度计和测振计	232
10.5	位移传感器、应变传感器和力传感器	238
10.6	周期振动分析	240
10.7	随机振动	242
10.8	冲击和脉冲振动	251
10.9	实验	251
	习题	253
	参考文献	254
第十一章 振动隔离与控制		
11.1	导引	257