

美国大学测试技术经典教材

# 机械量测量

(第五版)

Mechanical Measurements

(Fifth Edition)

Thomas G. Beckwith

[美] Roy D. Marangoni 著

John H. Lienhard V

王伯雄 译



电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
<http://www.phei.com.cn>

美国大学测试技术经典教材

# 机械量测量（第五版）

Mechanical Measurements (Fifth Edition)

Thomas G. Beckwith

[美] Roy D. Marangoni 著

John H. Lienhard V

王伯雄 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是美国大学中采用的一本讲述非电量测量的理论与应用的经典教科书。全书共分两部分。第 1 部分为机械量测量基本理论, 讲述测量标准与单位, 实验数据评价, 被测量的时、频域描述, 测试系统的响应, 传感器, 信号调理, 信号的记录、显示与处理。第 2 部分为不同机械量测量的应用技术, 包括事件计数, 位移及尺寸、应力、应变、力和力矩、流量、温度、运动, 以及声学等物理量的测量。

本书可以作为高等院校机械、仪器、测控和自动化等专业学习非电量测量的教科书, 也可作为相关科技和工程技术人员的参考用书。

Simplified Chinese edition copyright © 2003 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Mechanical Measurements (Fifth Edition) ISBN: 0-201-56947-7 by Thomas G.Beckwith, Roy D.Marangoni, John H.Lienhard V. Copyright © 1993

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley Longman.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和 Pearson Education 培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education 培生教育出版集团激光防伪标签, 无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2002-5702

## 图书在版编目(CIP)数据

机械量测量: 第五版/(美)贝克维思(Beckwith,T.G.)等著;王伯雄译. —北京:电子工业出版社, 2004.7  
书名原文: Mechanical Measurements (Fifth Edition)

ISBN 7-120-00124-8

I. 机… II. ①贝…②王… III. 机械量—测量—高等学校—教材 IV. TH113.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 055481 号

责任编辑: 杨丽娟 特约编辑: 明足群

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 41.5 字数: 1062 千字

印 次: 2004 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 68.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。  
联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

## 译者序

本书是美国大学中普遍采用的一本讲述非电量测量的理论与应用的经典教科书。全书共分两大部分。第1部分为机械量测量基本理论，主要讲述测量标准与单位，实验数据的评价，被测量的时、频域描述，测试系统的响应，传感器理论，信号的转换与调理，信号的记录、显示与处理。第2部分为不同机械量测量的应用技术，其中包括事件计数，位移及尺寸、应力、应变、力和力矩、流量、温度、运动，以及声学等物理量的测量。

本书内容丰富，覆盖面广。所介绍的测量技术几乎涵盖机械量测量的各个领域。作为一本大学教科书，本书在叙述基本理论的同时，还辅以许多例题讲解，每章末均附有大量的习题和建议读物，在书末还提供部分习题答案和某些必要的参考材料附录。这对于学习本课程的学生来说无疑是一个很大的优点和帮助。另外，本书在介绍测量理论基础的同时，还介绍各种机械量测量的实用方法和仪器。因此，本书也适合作为专业技术人员的参考用书。由于本书的上述特点，使它自1961年问世以来几经再版，深受广大读者的欢迎。我们目前翻译的是它的第五版。

本书由清华大学王伯雄教授主译，参加本书翻译工作的还有：黄冠文（第4章），陈华成（第5、7、8章及附录），邹姗姗（第6、9、10、11章），朱继强（第12~15章），朱从锋（第16~18章），丁洁（第3章3.12~3.16节），罗秀芝高工参加了译文整理工作，全书译文由王伯雄审校。

本书内容广、篇幅大，由于译者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

译者

2004年3月于清华园

## 序 言

历经 30 年之后，本书的基本目的仍可用 1961 年出版的《机械量测量》第一版序言中的下述三段话来加以表达。

实验开发已经成为机械设计过程中的一个非常重要的方面。在过去的岁月里，那种对“消除设计缺陷”的需要被认为是设计发展进程的一种不幸变化，从而令人对设计人员的能力产生严重的怀疑。随着机械复杂程度和速度的不断增加，迫使工程类职业以及类似的工业管理行业采取一种变化的设计哲理。一个实验开发周期已不被看做一个加以回避的问题，而被看做整个设计过程的一个不可缺少的阶段。在这方面，众多的研发公司、子公司、研究队伍以及军事后勤研发项目的不断增长为上述论点提供了论据。

同时，我们不应该认为实验开发（设计）的途径减轻了人们对参加一种新装置或过程的初始规划阶段的责任。实际上，经实验项目所获取的知识不断地加强和支持了设计的理论阶段。

测量以及对它的正确解释是任何工程研发项目的必要组成部分。自然，测量必须提供可靠的信息，而它们的意义必须被正确地理解和解释。本书的主要目的便是为这种测量提供一个基础。

在这本第五版的《机械量测量》中，我们做了许多改动和改进。首先增加了一位新的作者，J·H·林哈尔德博士。此外，对本书中一半以上的章节做了实质性的修改。一些专门的改动列举如下。

- 第 3 章中不确定度方面的材料被全部修改并遵循美国机械工程协会（ASME）标准。
- 在第 4 和第 8 章中增添了离散采样和离散傅里叶变换方面的新材料。
- 在第 6 和第 16 章中增添了有关半导体传感器方面的新材料。
- 修改和更新了第 7 章中有关滤波器和运算放大器的章节内容。
- 在第 15 章以及第 11 和 17 章中引进基于激光的速度和位移测量内容。
- 在第 18 章中增加有关声强和噪声测量方面的新材料。
- 在第 2 章中加进了测量标准方面的最新变化。
- 对剩余部分材料做了实质性的更新，约 40% 的习题内容被替换或修改。

作者并不建议读者应严格遵循所介绍材料的编排次序。课程的内容应该具有很大的灵活性，选取的课本作业应适合多种基本的要求或意图。例如，作者发现，如果需要的话，可简单地将第 1 章和第 2 章作为学生阅读作业。根据任课教师的意愿，对某些章节可给予不同的侧重。如果课程是由讲课/复述加实验课所组成，那么也可根据所能利用的实验设备规定所侧重的领域。总体来说，本书作为一本教材可容易地提供一个双学期的课程系列内容。

# 目 录

## 第 1 部分 机械量测量基础

<b>第 1 章 测量过程概述</b> .....	(3)
1.1 引言 .....	(3)
1.2 机械量测量的意义 .....	(3)
1.3 测量的基本方法 .....	(4)
1.3.1 直接比较法 .....	(4)
1.3.2 使用标定的系统 .....	(4)
1.4 广义测量系统 .....	(5)
1.4.1 第一级——敏感元件-传感器级 .....	(5)
1.4.2 第二级——信号调理级 .....	(6)
1.4.3 第三级——终端读出级 .....	(6)
1.5 输入量种类 .....	(8)
1.5.1 时间相关性 .....	(8)
1.5.2 模拟信号和数字信号 .....	(9)
1.6 测量标准 .....	(9)
1.7 标定 .....	(10)
1.8 不确定度：测量结果的精确度 .....	(10)
1.9 报告结果 .....	(11)
1.9.1 实验室记录和技术备忘录 .....	(11)
1.9.2 完整报告 .....	(11)
1.9.3 技术论文 .....	(12)
1.10 小结 .....	(12)
建议读物 .....	(13)
习题 .....	(13)
<b>第 2 章 测量标准和量纲单位</b> .....	(14)
2.1 引言 .....	(14)
2.2 量纲标准的建立 .....	(14)
2.3 美国测量标准的历史背景 .....	(14)
2.4 国际单位制 (SI 制) .....	(15)
2.4.1 国际行为 .....	(15)
2.4.2 国内行为 .....	(17)
2.5 长度标准 .....	(18)
2.6 质量标准 .....	(19)

2.7	时间和频率标准	(19)
2.8	温度标准	(20)
2.9	电量标准	(22)
2.10	单位制之间的转换	(23)
2.11	有效数、舍入和截断	(25)
2.11.1	定义	(26)
2.11.2	数字操作和有效数位	(26)
2.11.3	有效零	(27)
2.11.4	系列算术运算	(27)
2.12	小结	(27)
	建议读物	(28)
	习题	(28)
	参考文献	(29)
<b>第3章</b>	<b>实验数据的评估与表达</b>	<b>(31)</b>
3.1	引言	(31)
3.2	普通误差种类	(31)
3.2.1	误差分类	(32)
3.2.2	用于评价仪器性能的术语	(36)
3.3	不确定度介绍	(37)
3.4	精度不确定度的估计	(38)
3.4.1	样本与总体的关系	(38)
3.4.2	概率分布	(39)
3.5	基于总体的理论	(40)
3.6	基于样本的理论	(44)
3.6.1	采样例	(45)
3.6.2	大样本的置信区间	(47)
3.6.3	小样本的置信区间	(49)
3.6.4	样本均值的 $t$ 检验比较	(52)
3.7	拟合优度	(54)
3.8	用计算机做统计分析	(56)
3.9	偏差和单样本不确定度	(57)
3.10	不确定度的传播	(58)
3.11	不确定度分析例	(60)
3.11.1	标定电阻	(60)
3.11.2	流量计标定所期望的不确定度	(62)
3.12	在实验设计中将误差减至最小	(65)
3.13	$\chi^2$ 分布	(66)
3.13.1	样本的正态性试验	(68)
3.13.2	同一总体中样本间差的显著性	(68)

3.13.3	不同大小样本的比较 .....	(69)
3.14	数据的图形表示 .....	(70)
3.14.1	作图的主要规则 .....	(71)
3.14.2	选择坐标系和绘制直线 .....	(73)
3.15	直线拟合与最小二乘法 .....	(78)
3.15.1	直线拟合的最小二乘法 .....	(78)
3.15.2	直线拟合的不确定度 .....	(80)
3.15.3	曲线拟合软件 .....	(80)
3.16	小结 .....	(82)
	建议读物 .....	(83)
	习题 .....	(84)
	参考文献 .....	(90)
<b>第4章</b>	<b>模拟被测量：时变特性</b> .....	<b>(92)</b>
4.1	引言 .....	(92)
4.2	简谐关系 .....	(92)
4.3	圆频率和周期频率 .....	(93)
4.4	复杂关系 .....	(94)
4.4.1	拍频和外差法 .....	(98)
4.4.2	特殊波形 .....	(100)
4.4.3	非周期或瞬态波形 .....	(102)
4.5	频谱 .....	(103)
4.6	谐波分析或傅里叶分析 .....	(104)
4.6.1	离散傅里叶变换 .....	(105)
4.6.2	离散采样信号的频率：混叠和频率分辨率 .....	(106)
4.6.3	离散傅里叶分析的举例 .....	(110)
4.7	波形幅值 .....	(112)
4.8	小结 .....	(113)
	建议读物 .....	(113)
	习题 .....	(114)
	参考文献 .....	(116)
<b>第5章</b>	<b>测试系统的响应</b> .....	<b>(117)</b>
5.1	引言 .....	(117)
5.2	幅值响应 .....	(117)
5.3	频率响应 .....	(118)
5.4	相位响应 .....	(118)
5.5	预测复杂波形信号的特性 .....	(119)
5.6	延时，上升时间和转换速率 .....	(121)
5.7	实验系统各组成元件的响应 .....	(122)
5.8	简化的物理系统 .....	(124)



5.9	机械元件	(124)
5.9.1	质量	(124)
5.9.2	弹性力	(124)
5.9.3	阻尼	(125)
5.10	简单机械系统举例	(126)
5.11	阻尼的重要性	(127)
5.12	简化机械系统的动态特性	(128)
5.13	单自由度质量-弹簧-阻尼系统	(128)
5.14	零阶系统	(129)
5.15	一阶系统的特性	(129)
5.15.1	阶跃力作用下的一阶系统	(129)
5.15.2	谐波激励下的一阶系统	(132)
5.16	二阶系统特性	(135)
5.16.1	二阶系统的阶跃响应	(135)
5.16.2	二阶系统的谐波响应	(137)
5.16.3	一般周期性激励情况	(139)
5.17	电气元件	(143)
5.18	一阶电气系统	(144)
5.19	简单二阶电气系统	(146)
5.20	系统响应的标定	(147)
5.21	小结	(148)
	建议读物	(149)
	习题	(149)
	参考文献	(152)
<b>第6章</b>	<b>传感器</b>	<b>(153)</b>
6.1	引言	(153)
6.2	信号源的负载效应	(153)
6.3	二次传感器	(154)
6.4	第一级装置的分类	(154)
6.5	可变电阻传感元件	(158)
6.6	滑动触点式装置	(158)
6.6.1	电位计分辨率	(159)
6.6.2	电位计线性度	(159)
6.7	电阻应变片	(160)
6.8	热敏电阻器	(160)
6.9	热电偶	(160)
6.10	可变电感传感元件	(160)
6.10.1	简单自感式装置	(162)
6.10.2	双线圈互感装置	(163)

6.11	差动变压器 .....	(164)
6.12	可变磁阻传感器 .....	(165)
6.13	电容式传感器 .....	(165)
6.14	压电传感器 .....	(168)
6.15	半导体传感器 .....	(169)
6.15.1	半导体的电特性 .....	(170)
6.15.2	pn 结 .....	(171)
6.15.3	光电二极管 .....	(172)
6.16	光电检测传感器 .....	(173)
6.17	霍尔效应传感器 .....	(175)
6.18	一些设计相关问题 .....	(177)
6.18.1	制造公差 .....	(177)
6.18.2	温度相关的一些问题 .....	(179)
6.18.3	限制温度误差的方法 .....	(182)
6.19	小结 .....	(183)
	建议读物 .....	(183)
	习题 .....	(184)
	参考文献 .....	(186)
<b>第 7 章</b>	<b>信号调理 .....</b>	<b>(189)</b>
7.1	引言 .....	(189)
7.2	信号调理的优越性 .....	(189)
7.3	调制的和未调制的信号 .....	(190)
7.4	输入电路 .....	(191)
7.5	简单的电流敏感电路 .....	(191)
7.6	镇流电路 .....	(192)
7.7	分压电路 .....	(194)
7.7.1	分压电位计 .....	(194)
7.7.2	负载误差 .....	(195)
7.7.3	使用端电阻 .....	(196)
7.8	传感器电阻的微小变化 .....	(196)
7.9	电阻电桥 .....	(198)
7.9.1	电压敏感型惠斯登电桥 .....	(201)
7.9.2	电流敏感型惠斯登电桥 .....	(201)
7.9.3	恒电流电桥 .....	(202)
7.9.4	交流电阻电桥 .....	(203)
7.9.5	导线补偿 .....	(204)
7.9.6	电桥灵敏度的调节 .....	(204)
7.10	电抗或阻抗电桥 .....	(205)
7.11	谐振电路 .....	(206)

7.12	电子放大或增益 .....	(207)
7.13	电子放大器 .....	(209)
7.14	真空管放大器 .....	(210)
7.15	固态放大器 .....	(210)
7.16	集成电路 .....	(211)
7.17	运算放大器 .....	(211)
7.17.1	典型运算放大器的性能规格 .....	(213)
7.17.2	运算放大器的应用 .....	(214)
7.18	特殊放大器电路 .....	(218)
7.18.1	仪器放大器 .....	(218)
7.18.2	电荷放大器 .....	(219)
7.18.3	其他集成电路装置 .....	(220)
7.19	屏蔽和接地 .....	(220)
7.19.1	屏蔽 .....	(220)
7.19.2	接地 .....	(221)
7.20	滤波器 .....	(222)
7.21	滤波器的理论 .....	(222)
7.22	有源滤波器 .....	(228)
7.23	微分器和积分器 .....	(229)
7.24	元件耦合方法 .....	(230)
7.25	小结 .....	(232)
	建议读物 .....	(233)
	习题 .....	(233)
	参考文献 .....	(239)
<b>第 8 章</b>	<b>机械量测量中的数字技术 .....</b>	<b>(240)</b>
8.1	引言 .....	(240)
8.2	为什么要使用数字方法 .....	(241)
8.3	机械量输入的数字化 .....	(242)
8.4	基础的数字电路元件 .....	(242)
8.4.1	基本逻辑元件 .....	(242)
8.4.2	逻辑元件的简单组合 .....	(245)
8.4.3	集成电路系列 .....	(246)
8.4.4	读出元件 .....	(248)
8.5	数系 .....	(249)
8.6	二进制码 .....	(250)
8.6.1	编码器 .....	(253)
8.6.2	条形码编码器 .....	(253)
8.7	某些简单的数字电路 .....	(254)
8.7.1	事件计数器 .....	(254)

8.7.2	门控电路 .....	(255)
8.7.3	频率计 .....	(255)
8.7.4	波形整形 .....	(256)
8.7.5	一种集成电路振荡器或计时器 .....	(256)
8.7.6	多路转换和信号分离 .....	(257)
8.8	作为测试系统工具的数字计算机 .....	(258)
8.9	数据处理器、计算机、微型计算机：计算机的分级 .....	(259)
8.10	微处理器 .....	(260)
8.11	微型计算机 .....	(261)
8.11.1	只读存储器 (ROM) .....	(262)
8.11.2	随机存取存储器 (RAM) .....	(262)
8.11.3	外部接口适配器 (PIA) .....	(262)
8.11.4	异步接口适配器 (ASCIA) .....	(264)
8.12	模/数及数/模转换 .....	(264)
8.12.1	数/模转换器 .....	(264)
8.12.2	一种模/数转换器 .....	(265)
8.12.3	模/数转换中需要考虑的问题 .....	(267)
8.13	总线 .....	(268)
8.14	系统组装 .....	(270)
8.15	小结 .....	(270)
	建议读物 .....	(271)
	习题 .....	(272)
	参考文献 .....	(274)
<b>第9章</b>	<b>结果读出与数据处理 .....</b>	<b>(275)</b>
9.1	引言 .....	(275)
9.2	电子计数器 .....	(275)
9.2.1	事件计数器 .....	(277)
9.2.2	时间间隔测量仪 .....	(277)
9.2.3	单位时间事件 (EPUT) 计 .....	(277)
9.2.4	计数误差 .....	(277)
9.3	模拟电表指示器 .....	(279)
9.3.1	伏特表灵敏度 .....	(280)
9.3.2	电流表 .....	(281)
9.3.3	交流电表 .....	(281)
9.3.4	万用表及电阻测量 .....	(283)
9.4	带电子放大的仪表 .....	(284)
9.5	数显式万用表 .....	(284)
9.6	阴极射线示波器 (CRO) .....	(286)
9.6.1	示波器放大器 .....	(287)

9.6.2	锯齿波振荡器或时基发生器	(288)
9.6.3	同步或触发	(289)
9.6.4	强度调制或Z调制	(290)
9.6.5	外部水平输入	(290)
9.7	其他的阴极射线示波器特性	(290)
9.7.1	多示踪	(290)
9.7.2	放大和延迟扫描	(291)
9.7.3	存储示波器	(291)
9.7.4	单端和差动输入	(292)
9.8	阴极射线示波器记录技术	(292)
9.9	波形记录器	(293)
9.10	XY绘图仪	(294)
9.11	数字波形记录仪	(295)
9.12	频谱分析仪	(296)
	建议读物	(298)
	习题	(299)

## 第 2 部分 机械量测量应用技术

第 10 章	计数、单位时间事件及时间间隔的确定	(305)
10.1	引言	(305)
10.2	计数器的使用	(305)
10.2.1	电子计数器	(305)
10.2.2	单位时间事件计	(306)
10.2.3	时间间隔计	(306)
10.3	频闪观测仪	(307)
10.4	频率标准	(309)
10.4.1	电子振荡器	(309)
10.4.2	固定频率振荡器	(310)
10.4.3	可变频率振荡器 (VFO)	(310)
10.4.4	复杂波形振荡器	(310)
10.5	通过比较方法直接应用频率标准	(310)
10.5.1	通过置换和比较进行时间标定	(311)
10.5.2	采用电子开关作时间标定	(312)
10.5.3	用Z调制确定频率 (主要用于瞬态输入)	(313)
10.6	采用李萨如图确定频率和相位关系	(313)
10.7	频率源的标定	(317)
10.8	外差式频率测量法	(318)
10.9	角运动测量	(318)

建议读物 .....	(319)
习题 .....	(320)
参考文献 .....	(321)
<b>第 11 章 位移及尺寸测量 .....</b>	<b>(322)</b>
11.1 引言 .....	(322)
11.2 尺寸测量中的问题 .....	(323)
11.3 块规 .....	(324)
11.4 组装块规堆 .....	(325)
11.5 平板 .....	(327)
11.6 温度问题 .....	(327)
11.7 块规与专用附件结合使用 .....	(328)
11.8 使用比较器 .....	(328)
11.9 光学方法 .....	(330)
11.10 单色光 .....	(330)
11.11 光学平晶 .....	(332)
11.12 单色光和光学平晶的应用 .....	(332)
11.13 光学平晶和单色光源用于尺寸比较 .....	(335)
11.14 干涉仪 .....	(336)
11.15 测量显微镜 .....	(337)
11.15.1 固定刻度显微镜 .....	(338)
11.15.2 游丝显微镜 .....	(338)
11.15.3 移动式 and 移动台式显微镜 .....	(339)
11.15.4 活动镜筒式显微镜 .....	(340)
11.15.5 聚焦 .....	(340)
11.16 光学工具和长光程干涉测量 .....	(340)
11.17 全场位移测量 .....	(342)
11.18 位移传感器 .....	(343)
11.19 差动变压器 .....	(343)
11.20 表面粗糙度 .....	(346)
建议读物 .....	(349)
习题 .....	(350)
参考文献 .....	(353)
<b>第 12 章 应变和应力的测量和分析 .....</b>	<b>(354)</b>
12.1 引言 .....	(354)
12.2 应变测量 .....	(356)
12.3 电阻型应变片 .....	(356)
12.4 金属电阻应变片 .....	(358)
12.5 粘贴式金属应变片的选择和安装要素 .....	(359)
12.6 金属型应变片的电路 .....	(361)

12.7	应变片的镇流电路 .....	(361)
12.8	应变片电桥电路 .....	(362)
12.8.1	具有双臂和四臂敏感的电桥 .....	(363)
12.8.2	电桥常数 .....	(364)
12.8.3	导线-金属丝误差 .....	(364)
12.9	简单的恒流应变片电路 .....	(364)
12.10	温度补偿 .....	(365)
12.10.1	邻臂补偿应变片 .....	(365)
12.10.2	温度自补偿 .....	(366)
12.11	标定 .....	(366)
12.12	商用应变测量系统 .....	(368)
12.12.1	基本指示器 .....	(368)
12.12.2	与阴极射线示波器一起使用的电桥和放大器 .....	(369)
12.12.3	多通道记录系统 .....	(369)
12.13	应变片切换 .....	(370)
12.14	应变片用在旋转轴上 .....	(372)
12.15	应力-应变关系 .....	(373)
12.15.1	简单的单轴应力情形 .....	(373)
12.15.2	双轴应力情形 .....	(374)
12.16	应变片定向和结果解释 .....	(378)
	串联应变片 .....	(382)
12.17	特殊问题 .....	(383)
12.17.1	横向灵敏度 .....	(383)
12.17.2	塑性应变和后屈服应变片 .....	(383)
12.17.3	电阻型应变片的疲劳应用 .....	(384)
12.17.4	低温应用 .....	(384)
12.17.5	高温应用 .....	(384)
12.17.6	蠕变 .....	(385)
12.17.7	残余应力测定 .....	(385)
12.18	全场方法 .....	(385)
12.18.1	光测弹性 .....	(385)
12.18.2	莫尔技术 (The Moiré Technique) .....	(387)
12.19	小结 .....	(390)
	建议读物 .....	(390)
	习题 .....	(390)
	参考文献 .....	(396)
<b>第 13 章</b>	<b>力和力矩的测量 .....</b>	<b>(398)</b>
13.1	引言 .....	(398)
13.2	测量方法 .....	(400)

13.3	机械称重系统 .....	(400)
13.3.1	分析天平 .....	(401)
13.3.2	多杠杆系统 .....	(401)
13.3.3	摆式测力机构 .....	(403)
13.4	弹性传感器 .....	(404)
13.4.1	标定调节 .....	(407)
13.4.2	检验环 .....	(407)
13.5	应变片测力计 .....	(409)
13.6	压电测力计 .....	(412)
13.7	冲击称重 .....	(412)
13.8	液压和气压系统 .....	(414)
13.9	转矩测量 .....	(416)
13.9.1	机械测功计和液压测功计 .....	(416)
13.9.2	电测功计 .....	(418)
13.10	传动式测功计 .....	(420)
	建议读物 .....	(421)
	习题 .....	(421)
	参考文献 .....	(422)
<b>第 14 章</b>	<b>压力的测量 .....</b>	<b>(424)</b>
14.1	引言 .....	(424)
14.2	静压力和动压力 .....	(425)
14.3	压力测量系统 .....	(426)
14.4	压力测量传感器 .....	(427)
14.5	重力型传感器 .....	(427)
14.6	弹性型传感器 .....	(431)
14.7	弹性膜片 .....	(432)
14.7.1	扁平型金属膜片 .....	(433)
14.7.2	波纹型膜片 .....	(434)
14.8	和膜片一起使用的二次传感器 .....	(434)
14.8.1	和扁平型膜片一起使用的电阻应变片 .....	(434)
14.8.2	电感型 .....	(434)
14.8.3	压电型压敏元件 .....	(435)
14.8.4	其他类型的二次传感器 .....	(435)
14.9	应变片压敏元件 .....	(436)
14.10	高压测量 .....	(438)
14.11	低压测量 .....	(439)
14.11.1	麦克劳德压力计 (McLeod Gage) .....	(439)
14.11.2	热导率压力计 .....	(440)
14.11.3	电离压力计 .....	(441)



14.12	压力测量系统的动态特性	(442)
14.12.1	充气系统	(442)
14.12.2	充液系统	(443)
14.13	标定方法	(444)
14.13.1	静压法	(444)
14.13.2	稳态方法	(445)
14.13.3	瞬态方法	(446)
14.14	小结	(448)
	建议读物	(448)
	习题	(448)
	参考文献	(452)
<b>第 15 章</b>	<b>流体流量的测量</b>	<b>(454)</b>
15.1	引言	(454)
15.2	流体特性	(455)
15.3	阻塞式流量计	(457)
15.3.1	不可压缩流体的阻塞式流量计	(458)
15.3.2	文丘里管特性	(459)
15.3.3	流量喷嘴特性	(459)
15.3.4	孔板特性	(460)
15.3.5	文丘里管、流量喷嘴和节流孔板之间的相对优点	(462)
15.4	用于可压缩流体的阻塞式流量计	(464)
15.5	阻塞式流量计性能的可预测性	(467)
15.6	可变面积流量计	(467)
15.7	其他流量计	(468)
15.7.1	涡轮流量计	(468)
15.7.2	磁流量计	(469)
15.7.3	脉冲产生方法	(470)
15.8	流体速度的测量	(471)
15.9	压力探测器	(471)
15.9.1	不可压缩流体	(472)
15.9.2	可压缩流体	(472)
15.9.3	总压力探测器	(473)
15.9.4	静压探测器	(475)
15.9.5	方向敏感探测器	(475)
15.10	热风速计	(476)
15.11	散射测量	(479)
15.11.1	激光多普勒风速计	(480)
15.11.2	超声风速计	(482)
15.12	流量测量装置的标定	(483)