



国际电气工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

测量仪表 与测量技术

(原书第2版)

**Introduction to
Instrumentation and
Measurements
(Second Edition)**

(美) Robert B. Northrop 著

曹学军 刘艳涛 等译

张 伟 梁书剑

刘艳涛 贾永源 校

肖凤亭 曹学军

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

测量仪表与测量技术

(原书第2版)

(美) Robert B. Northrop 著

曹学军	刘艳涛	张伟	梁书剑	
王海燕	周富相	胡福良	付勇	
刘力	张海华	杜建卫	李永祯	译
李梦雅	曹学文	许树琴	韩利红	
王菡	孔昭煌	李军海	李洪冬	
刘艳涛	贾永源	肖凤亭	曹学军	校



机械工业出版社

本书内容涉及测量系统的基础知识、基本原理、设计方法与应用实例,选材时间跨度大、覆盖面广,充分反映了现代测量理论以及集成电路、光子式传感器、微型传感器、信号调整、噪声、数字接口和数字信号处理(DSP)等最新技术成果在测量仪表中的应用。此外,本书涉及地球物理学仪表、化学仪表和光学仪表等诸多领域,能够反映出现代技术对测量系统的影响。

本书既可作为科研院所、高等工科院校等相关专业的教材或教学参考书,也可作为测量仪表设计、制造、检测与维修人员等的技术指南或工具书。

Copyright © 2005 by Taylor & Francis Group, LLC.

Simplified Chinese translation edition published by China Machine Press.

All Rights reserved.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有,侵权必究。

本书封底贴有 Taylor & Francis 集团防伪标签,无标签者不得销售。

本书版权登记号:图字 01-2007-3008 号

图书在版编目(CIP)数据

测量仪表与测量技术:原书第2版/(美)诺斯洛普(Northrop, R. B.)著;曹学军等译.——北京:机械工业出版社,2009.5
(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文:Introduction to Instrumentation and Measurements (Second Edition)

ISBN 978-7-111-26225-1

I. 测… II. ①诺…②曹… III. ①测量仪器②测量学 IV. TH761 P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 019536 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:刘星宁 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 封面设计:马精明 责任印制:洪汉军

北京外文印刷厂印刷

2009 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·44 印张·906 千字

0001—2500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-26225-1

定价:98.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379764

封面无防伪标均为盗版

译者序

现代技术的发展,特别是现代电子技术与制造工艺的发展,催生并推动着测量仪表与测量技术的不断更新与快速发展,使其在机械、电子、测控、自动化等领域以及国防部门中获得大量应用;高等工科院校机械、测量或仪表等专业的在校学生以及从事测量仪表与测量技术科研、生产、应用等工作的工程技术人员迫切需要一本能够适应和反映测量仪表与测量技术剧变的专业教科书和技术参考资料。鉴于此,机械工业出版社及时引进了本书的英文原版,可谓与时俱进。

本书共分11章,第1章介绍测量系统的基本概念;第2章介绍模拟信号调整;第3章深入讨论噪声和串扰给测量结果带来的影响;第4章和第5章分别介绍了传统的直流平衡测量法和交流平衡测量法;第6章主要介绍传感器;第7章给出了传感器在物理量测量中的应用;第8章描述了基本的电气测量;第9章主要对测量系统的数字接口进行分析;第10章介绍数字信号调整;第11章给出了测量系统的设计实例。本书逻辑层次清晰,图文并茂,数学分析突出。本书具有以下特色:

系统性:本书参考资料选材的时间跨度从20世纪50年代一直延续至今,既详细介绍了测量系统的基础知识,又介绍了测量系统的应用与设计实例,覆盖面极广,充分反映了现代测量理论和最新技术成果在测量仪表中的应用。通过阅读本书,可以帮助读者既了解测量系统的发展,又能充分学习现代测量理论和最新技术成果。

实用性:本书阐述了常用的测量系统的原理和 design 方法,介绍了测量系统新技术及其设计实例,概念原理讲解与应用实例介绍相辅相成,并配有习题,既利于教学,又便于自学。通过阅读本书,可以帮助读者具备测量系统方面的基础知识和应用设计能力。

先进性:本书是作者 Robert B. Northorp 在康涅狄格大学长期任教时教学经验的结晶。书中对现代集成电路、光子式传感器、微型传感器、信号调整、噪声、数字接口和数字信号处理(DSP)等现代技术的讨论,涉及地球物理学仪表、化学仪表和光学仪表等诸多领域,能够反映出现代技术对测量系统的影响。通过阅读本书,有助于理解和应用这些给测量仪表和技术领域带来变化的新成果,使读者对现代仪器的新动向、新技术的发展有所了解,帮助读者具备足够的能力去使用和设计各种新式传感器、信号调整系统和仪表测量系统。

需要指出的是,阅读本书需要一定的高等数学基础和较多的学科先验知识。

本书由曹学军副教授负责审校、定稿、排版,刘艳涛副教授负责本书的译校。

本书共有11章,各章初译的执笔人为:第1、2、3章为周富相译;第4章为

杜建卫译；第5章为刘力译；第6章和第7章7.1~7.5节为王海燕译；第7章7.6~7.8节为付勇译；第8、9章及前言为胡福良译；第10章为张海华译；第11章为张伟译；词汇表为刘艳涛译；目录、参考书目及后记等为曹学军整理；总参通信训练基地贾永源、梁书剑、肖凤亭、王茵、孔昭煜、李宝海、李洪冬，国防科技大学电子科学与工程学院的李永祯，河北科技大学经济管理学院韩利红，河北北方学院的李梦雅，以及曹学文、许树琴、王淑静、曹振声、刘致敬、王月英、张涛、曹雅鑫、王志平、王月梅、刘寒冰、王莉莎、雷兵、沈志刚、王莉丽、郑娜莎、王振刚、温连斌、赵金芳、曹雅洁、田宸、王鹏、苗燕飞、汪常明也参与了部分章节翻译工作和资料收集整理工作。总参通信训练基地有关业务部门和领导对本书的翻译出版也给予了大力支持。

需要说明的是，本书是译者在忠实于原书的基础上翻译的，书中观点并不代表译者本人及其所在单位的观点。

我们相信，本书的翻译出版对推动测量仪表与测量技术的发展具有一定的促进作用。

由于测量系统相关的理论、技术发展迅速，加之译者水平和时间有限，译文中的错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

译者

2009年5月

前言

为什么写本书

本书比较适合用于为那些工程技术人员了解现代仪表测量(I & M)理论和技术而开设的课程中。由于书中提供的材料足够开设两个学期课程,因此授课者可以灵活地选择专题内容和深度来满足学习人员的兴趣需求以及所开设课程的要求。同时由于书中内容涉及面非常广阔,因此它也可以作为参考书籍为在职工程技术人员和对现代仪表测量技术感兴趣的科学家提供一定参考。

我们为什么要开设仪表测量的课程?在过去的10年或者更长时间里,在美国很多学校的电子工程系中已经停止开设相关仪表测量理论研究和实践操作的课程。而在此期间,我们却看到新技术给测量手段带来了崭新的且令人可喜的发展,看到了新的测量标准的出台,同时也看到连贯性教学的缺乏,为理解和应用这些新成果带来阻碍。在实验室中,操作一台仪表并不简单等同于理解那些仪表设计中所采用的物理和电子原理以及仪表的使用范围。显然,我们需要在课堂教学中获得新的仪表测量技术知识,这些知识可以让我们具备足够的能力去使用和设计各种传感器、信号调整系统和仪表测量系统。本书正好满足这种需求。

作者在康涅狄格大学电子及计算机工程系承担一年级和二年级电子仪表课程的教学长达40余年,本书就是作者长时间以来的教学经验的结晶。

很明显,在40年中,随着电子工程技术的发展,仪表测量领域发生了巨大的变化。由于现代技术发展非常迅速,以至于很难找到一本时新的教科书用于课堂教学之中。为了找到一本更加贴近实际教学的书,作者经过多年的努力,经历了多次挫折,最后还是下定决心编写这本书。它不仅包括传统的仪表测量概念,还包括很多关于现代集成电路、光子式传感器、微型传感器、信号调整、噪声、数字接口和数字信号处理(DSP)的资料,以供读者参考。

适用对象

本书适用于那些已经学习了主要电子工程专业课程或其他同等课程的读者。阅读本书前,读者必须掌握基本的线性电路理论(例如,读者必须掌握戴维南(Thevenin)和诺顿(Norton)定理、基尔霍夫(Kirchoff)定律、叠加原理、受控源知识、理想运算放大器模型,而且应该能够利用环路和节点方程来描述直流和交流稳态电路)。系统课程的绪论部分应该让读者能够熟练地利用时域和频域的方法来分析线性动态系统,每个线性动态系统都可以用一些简化的、线性的微分或差分方程来分析,这些内容包括状态矢量空间、傅里叶(Fourier)变换、拉普拉斯(Laplace)变换、 z 变换、转换方程、系统的静态频率响应特性以及博德(Bode)

曲线。通过学习物理学或电子工程专业相关电磁场的课程,读者应该具备基本的电磁场知识,熟悉电感、电容和电阻等元件,熟悉电磁波的特性、麦克斯韦(Maxwell)方程、馈电线路和极化等知识。通过对电子学的学习,读者应该熟悉双极结型晶体管(BJT)、结型场效应晶体管(JFET)、二极管、光敏晶体管和它们的简化线性电路模型。

内容概述

本书最大的特点就是内容覆盖面非常广阔,并且始终突出用高水准的数学方法来分析各种细节,而不是一本“图片书”。我们已经假定读者能够使用基本类型的电子仪表,包括示波器以及在电子工程专业和物理起步实验中已经出现的测量器材。

下面将对本书各章所涉及的内容作一个简要的介绍。

第1章“测量系统”,主要介绍比较基础的知识。本章将举例说明测量系统的构成、传感器的动态特性、信号调整,以及数据的显示和存储等内容。同时也将对测量误差进行讨论,包括准确性和精确度的含义、误差范围等。另外,本章还对电压和欧姆测量中采用的最新(1990)量子规范进行了分析,这其中当然也包括其他电学和物理学中的规范。

第2章“模拟信号调整”。本章将从系统的角度分析调整各种类型传感器模拟信号输出的方法,其中包括运算放大器、微分器、自恢复电路和独立放大器等。同时也将分析动态滤波器中运算放大器的应用以及微分放大器、功率放大器、相位鉴别器等器件的应用方法。将深入讨论漂移电压、偏差电流、输入阻抗、变换速率和增益带宽等因素给测量带来的误差影响。另外,本章还有一部分内容介绍如何用运算放大器来测量非线性信号。

第3章将深入讨论噪声和串扰给测量结果带来的影响。在此,将采用一种具有开创性但又十分严谨的方法,这种方法利用一种单边的噪声电压和电流功率密度谱来描述仪表和测量系统内部噪声对测量的影响。同时本章内容还涉及噪声因素和波形以及利用输出信噪比来评估测量系统的性能,并给出了计算被测量(QUM)噪声抑制结果的实例。另外,本章还讨论了如何减小串扰给测量结果带来的影响。

第4章和第5章将分别介绍传统的直流平衡测量法和交流平衡测量法。第4章将对单臂电桥、双臂电桥和电位差计进行分析;第5章将对经常用于电感、 Q 值、电容和 D 值测量的交流电桥进行分析。另外,一些新的技术资料也被添加到第5章中,例如一些资料描述和分析了利用安德森(Anderson)电流环路来读取传感器输出的方法。

第6章主要用于介绍传感器的内部结构,涉及了绝大部分传感器的类型及内部结构。需要读者特别注意的是对光纤传感器、光电传感器以及那些特殊的化学式和电离式传感器的介绍。另外,本章对Sagnac效应和简易光导纤维陀螺仪也进行了介绍。

第6章内容包括很多关于传感器新的介绍和分析资料,这些传感器都基于大磁阻效应和各向异性磁阻效应。本章还对热电红外传感器、线性极化光旋度的各种测量方法,光电倍增器以及片状通道光电倍增器进行了介绍。最后还增加了电子鼻的相关资料,电子鼻可以用于发现具有爆炸性的有机混合物。

第7章“物理量测量中传感器的应用”。本章将对机械陀螺仪、测角仪和加速度计进行详细分析,包括微型加速度计和陀螺仪的相关资料。同时还涉及多普勒(Doppler)效应在超声波测速仪和激光多普勒测速仪中的应用,并对全球定位系统(GPS)、光干涉仪、用于物质检测的分光光度测定法、声致发光技术以及细胞谐振技术进行了详细的介绍。

第8章“基本的电气测量”。本章主要介绍了测量各种电学量的经典方法以及一些新兴的技术,例如法拉第(Faraday)磁光电表、霍尔效应场强计和功率表。同时本章还涉及存储电荷和静电场的测量方法。

第9章主要对测量系统的数字接口进行分析。本章从介绍简化的混淆和量子化定理开始,逐步分析自举电路、数/模转换器(DAC)和类型繁多的模/数转换器(ADC),同时还对数据传输进行了介绍。引入的新资料中涉及利用高频振动减小量子噪声的方法、 $\Delta-\Sigma$ 型ADC、通用串行总线(USB)技术。另外,本章还对虚拟仪表技术和PXI系统进行了介绍。

由于现代测量实践中,测量数据均由计算机进行处理和存储,所以编写了第10章“数字信号调整导论”,这部分内容适合于那些熟悉该领域的读者。本章将介绍 z 变换以及它在频域内过滤离散数字信号的应用,并给出了在时域和频域内对有限脉冲响应(FIR)、无限脉冲响应(IIR)数字滤波器以及数值积分和数值微分例程的分析实例。另外,本章还介绍和讨论了快速离散傅里叶变换以及光谱数据显示窗分辨率的影响。最后本章还介绍了插入离散数字序列的测试样本应用以及估计数据丢失点的方法。

第11章“测量系统设计实例”。本章主要介绍了由作者及其学生开发的4个较为复杂的测试系统,用以阐明测量系统的设计理念。

- 1) 用于测量葡萄糖浓度的自恢复式微型偏光计;
- 2) 用于检测和定位地下电力电缆、高压电力电缆局部放电的系统;
- 3) 一种基于激光测速和测距的测量系统的设计;
- 4) 一种用于探测隐藏物品的电容式传感器的设计。

☞ 习题

第1~10章后面都留有一些习题,这些习题都是从作者在康涅狄格大学承担仪表测量教学任务期间积累的大量经验中提取出来的,这些习题都是可以解答的,它们可以用于学生的自我检测。

☞ 参考文献

本书采用的参考文献具有较大的时间跨度,从20世纪50年代一直到现在。我

们有很多捷径去回顾原有的论文和专题文章，它们可以指导读者在仪表测量这个特殊的领域走得更远，从而达到一个新的境界。

我们对书中的每一章都进行了必要修正，以反映出现代技术的发展。另外，很多全新的资料也被添加到每一章中，涉及地球物理学仪表、化学仪表和光学仪表，一些材料具有突出的代表性，它们是：

- 1) 用于调整远程阻容式传感器输出信号的安德森电流环路技术（第4章）。
- 2) 光学偏光计的设计及其在偏振响应式传感器中的应用（第6章）。
- 3) 利用光电倍增器和片状通道光子传感器进行光子测量（第6章）。
- 4) 气体状态的分析，脊椎动物的嗅觉系统、各种化学式传感器以及复杂气味的特征提取技术（第6章）。

- 5) 利用 Sagnac 效应测量机械装置的角速率（第6章）。

- 6) 微型的、块状振荡式和盘状振荡式的速度陀螺仪；汉弗莱（Humphrey）喷气式陀螺仪的分析；传统的摆锤系统和液体测角仪的分析；微型集成式加速度计的分析（第7章）。

- 7) 全球定位系统和不断改善其精确性的各种方法（第7章）。

- 8) 利用光子进行物质检测的技术（第7章）；离散的、非离散的傅里叶变换分光镜、声致发光技术以及表皮细胞响应技术。

- 9) 高频振动、 $\Delta-\Sigma$ 型 ADC、数据采集卡、USB 设备、虚拟仪表和 PXI 系统（第9章）。

本书的编辑和出版，得到了许多人的帮助。特别感谢我的妻子，她为本书的编辑和出版付出了巨大的努力。感谢我的同事，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。感谢我的学生，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。感谢我的家人，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。

本书的编辑和出版，得到了许多人的帮助。特别感谢我的妻子，她为本书的编辑和出版付出了巨大的努力。感谢我的同事，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。感谢我的学生，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。感谢我的家人，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。

本书的编辑和出版，得到了许多人的帮助。特别感谢我的妻子，她为本书的编辑和出版付出了巨大的努力。感谢我的同事，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。感谢我的学生，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。感谢我的家人，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。

本书的编辑和出版，得到了许多人的帮助。特别感谢我的妻子，她为本书的编辑和出版付出了巨大的努力。感谢我的同事，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。感谢我的学生，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。感谢我的家人，他们为本书的编辑和出版提供了许多宝贵的意见和建议。

目 录

译者序

前言

第1章 测量系统	1
1.1 引言	1
1.2 测量系统的结构	1
1.2.1 传感器的动态特性	3
1.2.2 信号调整小结	5
1.3 测量误差	6
1.3.1 过失误差	6
1.3.2 系统误差	6
1.4 测量标准	11
1.4.1 电气标准	11
1.4.1.1 电位差	12
1.4.1.2 电阻	15
1.4.1.3 电流和电荷	20
1.4.1.4 电容	23
1.4.1.5 电感	24
1.4.2 时间和频率	26
1.4.3 物理标准	27
1.4.3.1 质量	27
1.4.3.2 长度	28
1.4.3.3 温度	29
1.4.3.4 国际单位制的基本单位	29
1.5 本章小结	29
习题	30
第2章 模拟信号调整	33
2.1 引言	33
2.2 差动放大器	33
2.2.1 差动放大器特性分析	33

2.2.2	共模抑制比	34
2.2.3	共模抑制比、 A_D 和 A_C 的测量	35
2.2.4	内阻不平衡对共模抑制比的影响	35
2.3	运算放大器	38
2.3.1	运算放大器的分类	39
2.3.2	利用运算放大器设计基本的宽带放大器	40
2.3.2.1	同相放大器	41
2.3.2.2	反相放大器及加法器	42
2.3.3	电流反馈型运算放大器	43
2.4	利用普通运算放大器构成模拟有源滤波器	47
2.4.1	引言	47
2.4.2	模拟有源滤波器结构	48
2.4.2.1	受控源有源滤波器	48
2.4.2.2	四次有源滤波器	50
2.4.2.3	通用阻抗变换器有源滤波器	53
2.4.2.4	高阶有源滤波器	55
2.4.3	运算放大器积分器和微分器	56
2.4.4	小结	58
2.5	测量放大器	58
2.5.1	采用运算放大器构成的测量放大器	58
2.5.2	隔离放大器	61
2.5.3	自动调零型放大器	63
2.5.4	绝对隔离方案	65
2.5.5	小结	65
2.6	利用运算放大器和特殊函数模型进行非线性模拟信号处理	65
2.6.1	引言	65
2.6.2	精密绝对值电路	66
2.6.3	多功能转换器	68
2.6.4	真有效值直流转换器	68
2.6.5	平方根电路和除法器电路	71
2.6.6	峰值检测器和跟踪-保持电路	72
2.6.7	对数比和三角函数集成电路	75
2.6.8	小结	77
2.7	电荷放大器	77
2.7.1	用作压电传感器的电荷放大器	77
2.7.2	用作积分电量计的电荷放大器	79

2.7.3 小结	80
2.8 相敏检波器	80
2.8.1 双边带抑制载波调制	81
2.8.2 利用模拟乘法器解调 DSBSCM 信号	82
2.8.3 其他相敏检波器设计	82
2.8.4 锁定放大器	83
2.8.4.1 引言	83
2.8.4.2 利用锁定放大器提高的信噪比计算	85
2.8.5 小结	89
2.9 本章小结	89
习题	90
第3章 测量中的噪声和相干干扰	98
3.1 引言	98
3.2 电路中的随机噪声	98
3.2.1 概率密度函数	99
3.2.2 功率密度谱	99
3.2.3 信号调整系统中的噪声源	102
3.2.3.1 电阻器噪声	102
3.2.3.2 有源器件的两源噪声模型	104
3.2.3.3 JFET 中的噪声	104
3.2.3.4 BJT 中的噪声	106
3.3 高斯噪声通过线性滤波器的传播	107
3.4 放大器的宽带噪声因数和噪声系数	108
3.5 点噪声因数和点噪声系数	110
3.6 放大器 F_{spot} 的变压器优化设计和输出信噪比	112
3.7 级联的有噪声放大器	113
3.8 具有噪声限制的给定信号调整系统中分辨率的计算	114
3.8.1 有噪声反相运算放大器最小可分辨交流输入电压的计算	114
3.8.2 有白色和 $1/f$ 噪声的最小可分辨直流电流的计算	115
3.8.3 为获得变压器耦合可调放大器特定的输出信噪比, 最小可分辨交流输入信号的计算	117
3.8.4 在给定 SNR_0 条件下计算单臂电桥中最小的 $\Delta R/R$	118
3.8.5 给定已知 e_{na} 和 i_{na} 的简单反相运算放大器, 确定其最大输出信噪比的条件	119
3.9 目前用于测量信号调整系统中的低噪声放大器	120

3.10 相干干扰及其最小化	121
3.10.1 相干干扰源	121
3.10.1.1 相干干扰的直接静电耦合	122
3.10.1.2 相干干扰的直接磁感应	123
3.10.1.3 接地环路	124
3.10.2 相干干扰的解决方法	125
3.10.2.1 电力线低通滤波器	125
3.10.2.2 瞬变电压抑制器	126
3.10.2.3 在同轴电缆中通过磁耦合感应的相干干扰	127
3.10.2.4 同轴电缆屏蔽单独接地以阻止接地环路干扰	130
3.10.2.5 采用纵向扼流圈或中和变压器衰减共模相干干扰	131
3.10.2.6 通过实验检验电缆和接地方案以获得最小的噪声耦合	132
3.10.2.7 电路的接地	134
3.10.2.8 铁氧体磁环和旁路电容器	135
3.10.2.9 利用隔离变压器和光耦合器阻断接地环路	135
3.10.2.10 光耦合器	135
3.10.2.11 采用保护和屏蔽方法减小共模相干干扰	135
3.10.3 减小相干干扰技术小结	140
3.11 本章小结	141
习题	142
第4章 直流零位测量法	147
4.1 引言	147
4.2 单臂电桥分析	148
4.3 双臂电桥分析	150
4.4 安德森恒流环	151
4.4.1 引言	151
4.4.2 用于传感器组的安德森环	153
4.4.3 小结	158
4.5 电位差计	158
4.6 本章小结	159
习题	160
第5章 交流零位测量法	164
5.1 引言	164
5.2 电感等效电路	164

5.3 电容等效电路	165
5.4 交流单臂电桥	167
5.5 交流电桥	168
5.5.1 测量电容的电桥	168
5.5.1.1 电阻比电桥	168
5.5.1.2 西林电桥	169
5.5.1.3 并联电容电桥	169
5.5.1.4 德绍蒂电桥	170
5.5.1.5 维恩电桥	171
5.5.1.6 换向电容电桥	172
5.5.2 测量电感和互感的电桥	173
5.5.2.1 麦克斯韦电桥	173
5.5.2.2 并联电感电桥	174
5.5.2.3 海氏电桥	174
5.5.2.4 欧文电桥	175
5.5.2.5 安德森电桥	176
5.5.2.6 海维赛德互感电桥	176
5.5.2.7 海德维勒互感电桥	177
5.5.3 零位法测量晶体管小信号跨导和反馈电容	178
5.6 本章小结	180
习题	180
第6章 传感器	183
6.1 引言	183
6.2 传感器种类	183
6.3 电阻式传感器	183
6.3.1 电阻式温度传感器	184
6.3.2 电阻应变仪	186
6.3.3 光电导体	187
6.3.4 电阻式相对湿度传感器	191
6.3.5 利用阻值变化判定位置或角度	193
6.3.6 巨磁阻效应传感器	194
6.3.7 各向异性磁致电阻传感器	197
6.4 电动势传感器	203
6.4.1 热电偶和热电堆	203
6.4.2 光电池	206

6.4.3	压电传感器	208
6.4.4	热电传感器	212
6.4.5	输出电压与 $d\Phi/dt$ 成正比的传感器	216
6.4.5.1	可变磁阻留声机拾音器	216
6.4.5.2	电力学加速度计	217
6.4.5.3	线速度传感器	218
6.4.6	利用磁场和电荷移动实现电动势输出的传感器	219
6.4.6.1	法拉第效应流量计	219
6.4.6.2	霍尔效应传感器	221
6.5	可变磁耦合式传感器	224
6.5.1	线性可变差动变压器	224
6.5.2	同步器和分解器	226
6.6	可变电容式传感器	229
6.7	光纤传感器	230
6.7.1	磁光电流传感器	231
6.7.2	测量光学传感器线性偏振光输出旋光度的方法	234
6.7.3	光纤磁阻传感器	243
6.8	光电倍增管和相关的电子倍增器件	248
6.8.1	引言	248
6.8.2	光电倍增管的应用	250
6.8.3	单通道光电倍增管	252
6.8.4	微通道板光电倍增管	253
6.8.5	小结	254
6.9	电离辐射传感器	255
6.9.1	盖革-米勒计数管	256
6.9.2	固态晶体辐射传感器	258
6.9.3	闪烁计数器	260
6.10	电化学传感器	261
6.10.1	pH 值和离子选择电极	261
6.10.2	极谱式电极	264
6.10.3	燃料电池电极	264
6.11	电子鼻	266
6.11.1	人造鼻的可行性	266
6.11.2	嗅觉系统的解剖和生理知识	266
6.11.3	脊椎动物嗅觉的化学感受系统	267
6.11.4	用于气体状态分析的传感器	270

6.11.5 电子鼻的分辨特性	280
6.11.6 本节小结	281
6.12 机械-光学传感器	281
6.12.1 光编码盘	281
6.12.2 利用 Sagnac 效应测量角速度的方法	283
6.12.3 激光多普勒测速仪	285
6.13 本章小结	291
习题	292
第7章 物理量测量中传感器的应用	303
7.1 引言	303
7.2 测量角加速度、角速度和角位移	303
7.2.1 测量角加速度	303
7.2.1.1 利用强迫式机械陀螺仪测量角加速度	303
7.2.1.2 简易惯性轮式弹簧阻尼器角加速度计	304
7.2.1.3 伺服角加速度计	306
7.2.2 利用机械陀螺仪测量角速度	306
7.2.2.1 机械速度陀螺仪	309
7.2.2.2 Sagnac 效应光纤陀螺仪	311
7.2.2.3 振动块速度陀螺仪	314
7.2.2.4 汉弗莱喷气式陀螺仪	316
7.2.2.5 振荡盘式速度陀螺仪	320
7.2.3 利用转速计测量角速度	324
7.2.4 利用陀螺仪测量角坐标	329
7.2.5 利用倾斜仪测量角坐标	332
7.2.6 测量轴的角坐标	335
7.3 测量线加速度、线速度、线位移和线性位置	336
7.3.1 线加速度计	336
7.3.1.1 基本的牛顿加速度计	336
7.3.1.2 伺服加速度计的设计	338
7.3.1.3 压电传感器式加速度计	339
7.3.1.4 微机械 IC 加速度计	340
7.3.2 线速度的测量	341
7.3.2.1 液体流速的测量	342
7.3.2.2 其他测量流速和流量的方法	346
7.3.3 线性位置的测量	355

7.3.3.1	利用全球定位系统确定物体线性位置	358
7.3.3.2	利用光干涉仪测量 Δx	367
7.3.3.3	用超声波和 EM 辐射测量锁相的速率和范围	379
7.4	力和转矩的测量	385
7.4.1	力的测量	386
7.4.2	转矩的测量	389
7.5	压力测量	393
7.5.1	高压传感器	393
7.5.2	低压传感器	400
7.6	利用光子检测特定物质	405
7.6.1	引言	405
7.6.2	色散分光光度法	407
7.6.3	非色散光谱仪	414
7.6.4	傅里叶变换红外光谱仪	418
7.6.5	单泡和多泡声致发光	423
7.6.5.1	单泡声致发光	423
7.6.5.2	多泡声致发光	426
7.6.5.3	小结	427
7.6.6	表面等离子体振子谐振	427
7.7	温度的测量	432
7.7.1	温度标准	432
7.7.2	常用测量温度的方法	433
7.7.2.1	机械式温度传感器	433
7.7.2.2	电子温度传感器	435
7.8	本章小结	444
习题		445
第8章	基本的电气测量	451
8.1	引言	451
8.2	直流电压的测量	451
8.2.1	机电式直流电压表	452
8.2.1.1	D'Arsonval 直流电压表	452
8.2.1.2	电容式(静电式)电压表	456
8.2.1.3	功率计型电压表	458
8.2.2	直流电子电压表	459
8.3	静电场和带电界面电压的测量	463