

机械工程测试技术

◎ 吴松林 赵冲 王宁 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

全书共8章,主要内容包括:绪论,测试信号分析,测试系统基本特性,能量型传感器,物性型传感器,智能传感器及智能测试系统,工程测试仪器、仪表,测试系统及其设计。每章后附有复习思考题。

本书可作为高等院校及高职高专院校的专业基础课教材,也可供其他相关专业(如力学、化工机械等)及相关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术 / 吴松林, 赵冲, 王宁主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-5682-6580-5

I. ①机… II. ①吴… ②赵… ③王… III. ①机械工程-测试技术-高等学校-教材
IV. ①TG806

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 301227 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 13

字 数 / 305千字

版 次 / 2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

定 价 / 51.00元

责任编辑 / 高 芳

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

Preface

《机械工程测试技术》是专业基础课教材。本书针对机械工程测试工作中的共性问题展开讨论,以测试技术涵盖的经典内容为重点,适当介绍新技术、新的应用,力求使读者能全面地理解和掌握。

作为机械类专业学生必修课程,在长期的教学实践中,编者在教材编写和试验室建设等方面积累了一定的经验。近年来,国家对传感器及测试技术类的课程体系进行了改革,更新了教学内容及教学大纲。本书在此基础上,以应用型本科教育为前提,以强化工程实际应用为目的,突出了培养学生工程实践能力的理念,注意反映测试技术发展的新成果和新动向。

本书主要介绍了与机械工程相关的测试技术的基本概念、基础理论和应用技术。围绕测试系统的组成,讲述了常用传感器的原理与应用、测试信号分析与处理、机械工程中常见量的测试等内容。

本书在力求应用性、实用性的同时,还侧重学生能力的培养,是机械、自动化、测试仪器及仪表等专业的必修课教材。

本书由吴松林、赵冲和王宁担任主编。具体编写分工为:赵冲、王宁、吴松林编写第1章,赵冲、吴松林、赵松编写第2章、第3章及第4章,王宁、赵松、段金英编写第5章,尹睿和王小博编写第6章及第7章,宋宇和王小博编写第8章和附录。全书由仝崇楼及王引卫担任主审,吴松林、赵冲负责总纂定稿。

本书在编写过程中得到《教育部-百科荣创产学研合作协同育人-传感器与检测技术教学内容与课程体系改革项目》的资助。同时得到张毅、王小博等老师的大力支持和帮助,在此一并感谢。

由于编者水平有限,书中内容难免有疏漏之处,还请读者批评指正。

编者

1.3 测试信号处理	18
1.3.1 采样定理	20
1.3.2 时域分析法	22
1.3.3 频域分析法	25
第2章 测试系统基本特性	27
2.1 测试系统的基本要求	27

目 录

Contents

第 1 章 绪论	(1)
1.1 测试技术基础	(1)
1.1.1 基本概念	(1)
1.1.2 测试技术的作用	(4)
1.2 测试系统的组成	(4)
1.2.1 测试工作的基本内容	(4)
1.2.2 测试系统的组成	(4)
1.2.3 传感器基础知识	(5)
1.2.4 测试技术的发展趋势	(6)
1.3 测量误差与测量标准	(8)
1.3.1 测量误差	(8)
1.3.2 测量标准	(11)
1.3.3 系差的消除方法	(12)
1.3.4 系统误差的估计方法	(12)
1.3.5 测量数据的线性化与变换	(13)
第 2 章 测试信号分析	(17)
2.1 信号与测试系统	(17)
2.2 信号的描述	(18)
2.2.1 信号的定义	(18)
2.2.2 信号的类型	(18)
2.2.3 随机信号的数字特征	(18)
2.3 数字信号处理	(20)
2.3.1 采样定理	(20)
2.3.2 时域分析法	(22)
2.3.3 频域分析法	(25)
第 3 章 测试系统基本特性	(27)
3.1 测试系统的基本要求	(27)

3.2	测试系统的静态特性	(28)
3.2.1	静态标定	(28)
3.2.2	灵敏度	(29)
3.2.3	线性度	(29)
3.2.4	迟滞与重复性	(30)
3.2.5	分辨率	(31)
3.2.6	量程与测量范围	(31)
3.3	测试系统的动态特性	(31)
3.3.1	线性系统的描述	(32)
3.3.2	测试系统的传递特性	(33)
3.3.3	频率响应函数	(33)
3.3.4	传感器的动态特性分析	(34)
第4章	能量型传感器	(38)
4.1	电位器式传感器	(38)
4.1.1	电位器式传感器的工作原理和结构	(39)
4.1.2	电位器式传感器的应用	(40)
4.2	电阻应变式传感器	(41)
4.2.1	电阻应变片的工作原理	(41)
4.2.2	电阻应变片的种类与结构	(42)
4.2.3	电阻应变片的测量电路	(44)
4.2.4	电阻应变式传感器的应用	(47)
4.3	电感式传感器	(50)
4.3.1	自感式电感传感器	(50)
4.3.2	互感式电感传感器	(52)
4.3.3	电涡流式传感器	(53)
4.3.4	电感式传感器的应用	(55)
4.4	电容式传感器	(56)
4.4.1	电容式传感器的工作原理和结构	(56)
4.4.2	电容式传感器的类型与特性	(56)
4.4.3	电容式传感器的特点	(59)
4.4.4	电容式传感器的应用	(60)
第5章	物性型传感器	(63)
5.1	压电式传感器	(63)
5.1.1	压电式传感器的工作原理	(64)
5.1.2	压电式传感器的测量转换电路	(67)
5.1.3	压电式传感器的应用	(69)
5.2	超声波传感器	(72)

5.2.1	超声波物理基础	(72)
5.2.2	超声波传感器原理与结构	(76)
5.2.3	超声波传感器的应用	(77)
5.3	光电式传感器	(80)
5.3.1	光电效应与光电元件	(81)
5.3.2	光电转换电路	(86)
5.3.3	光电传感器的应用	(87)
5.4	光纤传感器	(90)
5.4.1	光纤的概念及传光原理	(90)
5.4.2	光纤传感器原理与类型	(93)
5.4.3	光纤压力传感器的应用	(95)
5.5	热电式传感器	(99)
5.5.1	热电效应	(99)
5.5.2	热电偶工作原理与种类	(99)
5.5.3	热电偶的应用	(103)
5.6	数字式位置传感器	(106)
5.6.1	位置测量的方式	(106)
5.6.2	数字式角编码器	(108)
5.6.3	光栅传感器	(112)
第6章	智能传感器及智能测试系统	(119)
6.1	概述	(119)
6.1.1	智能传感器的概念	(120)
6.1.2	智能传感器的功能	(120)
6.1.3	智能传感器的特点	(121)
6.1.4	智能传感器的分类	(122)
6.1.5	智能传感器的数据采集	(123)
6.1.6	智能传感器的数据处理技术	(124)
6.2	智能传感器的实现方法	(124)
6.2.1	传感器和信号处理装置的功能集成化	(124)
6.2.2	新的检测原理与信号处理的智能化相结合	(125)
6.2.3	研制人工智能材料	(125)
6.3	智能传感器设计	(125)
6.3.1	总体结构设计	(126)
6.3.2	敏感元件设计	(126)
6.3.3	传感器工艺设计	(127)
6.3.4	软件设计	(127)
6.4	智能传感器的应用及其发展	(128)

6.4.1	智能传感器应用实例	(128)
6.4.2	新型智能传感器	(131)
6.4.3	智能传感器的发展前景	(132)
第7章	工程测试仪器、仪表	(134)
7.1	模拟式仪器仪表	(134)
7.1.1	动圈式仪器	(134)
7.1.2	平衡式记录仪器	(136)
7.1.3	电动单元组合仪器	(137)
7.2	数字式仪表	(138)
7.2.1	数字式仪表的分类与构成	(138)
7.2.2	数字式面板仪器	(139)
7.3	智能仪器	(142)
7.3.1	智能仪器的组成	(142)
7.3.2	智能仪器的功能特点	(143)
7.3.3	智能仪器的发展趋势	(144)
7.4	虚拟仪器及网络化测控系统	(145)
7.4.1	虚拟仪器的发展	(145)
7.4.2	虚拟仪器的组成	(146)
7.4.3	网络化测试技术及测控系统	(148)
第8章	测试系统及其设计	(152)
8.1	测试系统的设计	(152)
8.1.1	测试系统设计的基本原则	(152)
8.1.2	测试系统设计的一般步骤	(153)
8.1.3	测试系统抗干扰设计	(155)
8.2	计算机测试系统概述	(156)
8.2.1	计算机测试系统的基本概念与组成	(157)
8.2.2	计算机测试系统的发展历程	(158)
8.2.3	计算机测试系统的功能特点	(159)
8.3	计算机测试系统测量信号预处理	(160)
8.3.1	模拟量输入通道的基本组成与类型	(160)
8.3.2	数字量输入通道	(163)
8.3.3	频率信号的预处理	(165)
8.4	计算机测试系统测量数据的预处理	(166)
8.4.1	数字滤波	(166)
8.4.2	系统误差的校准	(169)
8.5	典型测试系统设计实例	(170)
8.5.1	高速机车轴温测试系统	(170)

8.5.2 基于 GSM 网络的工业氯气远程监测系统 (175)

附 录 (180)

 附录 A 常用传感器的性能及选用 (180)

 附录 B 中华人民共和国法定计量单位 (182)

 附录 C 本书涉及的部分计量单位 (184)

 附录 D 热电偶分度表 (185)

参考文献 (192)

测试目的与测试范围	<p>明确测试目的和测试范围</p> <p>明确测试方法和测试程序</p> <p>明确测试设备及测试环境</p>
测试条件	<p>明确测试所需的设备、仪器、试剂及材料</p> <p>明确测试所需的软件、程序</p> <p>明确测试所需的测试方法</p> <p>明确测试所需的测试标准</p> <p>明确测试所需的测试环境</p> <p>明确测试所需的测试人员</p>
测试方法	<p>明确测试方法、步骤、程序</p> <p>明确测试结果的计算方法</p> <p>明确测试结果的表示方法</p>
测试报告	<p>明确测试报告的内容和格式</p> <p>明确测试报告的编写方法和要求</p> <p>明确测试报告的审核和批准程序</p>

1.1 测试技术基础

1.1.1 基本概念

测量、计量和测试是密切相关的技术术语。测量是指确定被测对象的量值的过程。测量是计量的基础。计量的目的是实现量值的统一和量值的溯源性。计量的对象是量。因此，研究测量、计量和测试的统一和溯源性是计量的重要任务。计量的内容包括计量理论、计量技术、计量管理、计量标准、计量器具、计量检定、计量校准和计量管理等。测量的对象是量值的测量，或者是指测量为测量和测试的统称。

第1章

绪论

知识单元与知识点	<ul style="list-style-type: none">■测试技术的相关基础知识■测试系统的结构■测量误差与测量标准
能力培养	<ul style="list-style-type: none">▶理解检测技术、测量、误差及其相关的概念▶理解检测系统的组成、基本功能▶理解测量方法的基本类型▶掌握不同类型误差的分析处理法▶理解传感器的作用和组成▶了解生产实际中主要类型传感器的应用
重、难点	<ul style="list-style-type: none">◆重点：传感器的定义、分类、结构，在测试系统中的地位及作用◆难点：测量方法、误差类型及其处理
学习要求	<ul style="list-style-type: none">☆了解测试技术中传感器的重要性及其发展☆熟练掌握传感器的定义、组成与分类、测量方法、误差类型及其处理方法☆掌握传感器的分类和误差处理方法☆了解检测系统的基本特性

1.1 测试技术基础

1.1.1 基本概念

测量、计量和测试是密切相关的技术术语。测量是以确定被测对象的量值为目的的全部操作。如果测量的目的是实现测量单位统一和量值准确传递，则这种测量被称为计量。因此，研究测量、保证测量统一和准确的学科被称为计量学。具体来讲，计量的内容包括计量理论、计量技术与计量管理，这些内容主要体现在计量单位、计量基础（标准）、量值传递和计量管理等。测试则是具有试验性质的测量，或者可以理解为测量和试验的综

合。由于测试和测量密切相关，在实际使用中往往并不严格区分测试与测量。一个完整的测试过程必定涉及被测对象、计量单位、测试方法和测量误差。

1. 测量的概念

测量是将被测量与同种性质的标准量进行比较，从而获得被测量大小的过程。因此，测量也就是以确定被测量的大小或取得测量结果为目的的一系列操作过程。它可表示为

$$y = mx$$

$$m = \frac{y}{x} \quad (1-1)$$

式中 x ——被测量值；

y ——标准量，即测量单位；

m ——比值（纯数），含有测量误差。

2. 测量的方法

能够实现被测量与标准量相比较而获得比值的方法，称为测量方法。

(1) 根据获得测量值的方法可分为直接测量、间接测量和组合测量。

①直接测量是在使用仪表或传感器进行测量时，测得值直接与标准量进行比较，不需要经过任何运算，直接得到被测量数值的测量方法。例如，电压表测量某一元件的电压就属于直接测量。直接测量的优点是测量过程简单而快速，其缺点是测量精度一般不是很高。

②间接测量是指在使用仪表或传感器进行测量时，先对与被测量有确定函数关系的几个量进行直接测量，然后再将直接测得的数值代入函数关系式，经过计算得到所需结果的测量方法。例如，要测量一个三角形的面积，必须先测量出一条边长，再测量出对应的高，然后利用公式计算出三角形的面积。显然，间接测量比较复杂，花费时间较长，一般用在直接测量不方便，或者缺乏直接测量手段的场合。但其测量精度一般要比直接测量的精度高。

③组合测量是指在一个测量过程中同时采用直接测量和间接测量两种方法进行测量的测量方法。组合测量是特殊的精密测量方法，测量过程长而且复杂，多适用于科学试验或某些特殊的场合。

(2) 根据测量方式可分为偏差式测量、零位式测量与微差式测量。

①偏差式测量是指用仪表指针的位移（即偏差）决定被测量值的测量方法。偏差式测量过程简单、迅速，但测量结果的精度较低。

②零位式测量是指用指零仪表的零位反映测量系统的平衡状态，在测量系统平衡时，用已知的标准量决定被测量值的测量方法。例如，天平测量物体的质量、电位差计测量电压等都属于零位式测量。零位式测量的优点是可以获得比较高的测量精度，但是测量过程长而且复杂，其不适用于测量快速变化的信号。

③微差式测量是综合了偏差式测量与零位式测量优点的测量方法。它是将被测量与已知的标准量进行比较得到差值后，再用偏差法测得该差值。用这种方法测量时，不需要调

整标准量,而只需测量两者的差值。并且由于标准量误差很小,因此,总的测量精度仍然很高。反应快、测量精度高是微差式测量的主要优点,特别适用于在线控制参数的测量。

(3) 根据测量条件不同可分为等精度测量与不等精度测量。

①等精度测量是指在整个测量过程中,如果影响和决定误差大小的全部因素(条件)始终保持不变,例如,由同一测量者,用同一台仪器,在同样的测量方法和环境条件下,对同一被测量进行多次重复测量的测量方法。当然,在实际中极难做到影响和决定误差大小的全部因素(条件)始终保持不变,因此,一般情况下只能是近似认为是等精度测量。

②不等精度测量是指在科学研究或高精度测量中,往往在不同的测量条件下,用不同精度的仪表、不同的测量方法、不同的测量次数,以及不同的测量者进行测量和对比的测量方法。

(4) 根据被测量与时间的关系可分为静态测量与动态测量。

①静态测量是指被测量在测量过程中不随时间变化或变化缓慢,静态测量不需要考虑时间因素对测量结果的影响。

②动态测量是指被测量在测量过程中随时间变化。

另外,根据测量敏感元件是否与被测物体接触,可分为接触式测量与非接触式测量;根据测量系统是否向被测对象施加能量可分为主动式测量与被动式测量。

3. 计量

计量是为了保证量值统一和准确一致的一种测量。计量工作主要是将未知量通过准确恰当的方法,与经国家计量部门认可的标准相比较,也就是通过建立基准、标准进行量值的传递。

计量的3个主要特征:统一性、准确性和法制性。

计量的国际单位(SI制):国际单位分为基本单位和导出单位两类。基本单位是7个具有严格定义的,在量纲上彼此独立的单位作为国际单位制的基础。这7个基本单位为:米(m)、千克(kg)、秒(s)、安[培](A)、开[尔文](K)、摩[尔](mol)与坎[德拉](cd)。导出单位是由基本单位按照选定的代数式组合起来的单位。

4. 测试与检测

测试是具有试验性质的测量,即测量和试验的综合。而测试手段是仪器、仪表。由于测试和测量密切相关,在实际使用中往往并不严格区分测试与测量。

测试的基本任务是获取有用的信息,其过程为:首先通过专门的仪器、仪表和合理的试验方法获得数据,然后进行必要的信号分析与数据处理,以取得与被测对象有关的信息,最后显示结果或将结果提供给(输入)其他信息处理装置、控制系统。

在信息社会的一切活动领域中,从日常生活、生产活动到科学试验,时时处处都离不开检测。现代化的检测手段在很大程度上决定了生产、科学技术的发展水平,而科学技术的发展又为检测技术提供了新的理论基础,同时也对检测技术提出了更高的要求。

检测是对系统中各被测对象的信息进行提取、转换以及处理,即利用各种物理效应,将物质世界的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。能够自动地完

成整个检测处理过程的技术称为自动检测与转换技术。

1.1.2 测试技术的作用

人类从事的社会生产、经济交往和科学研究等活动总是与测试技术息息相关。首先，测试是人类认识客观世界的手段之一，是科学研究的基本方法。科学的基本目的在于客观描述自然界，科学定律是定量的定律，科学探索离不开测试技术，用定量关系和数学语言来表达科学规律和理论也需要测试技术，验证科学理论和规律的正确性同样需要测试技术。事实上，在科学技术领域内，许多新的科学发现与技术发明往往是以测试技术的发展为基础，也可以认为，测试技术的水平，在很大程度上决定了科学技术发展的水平。

测试也是工程技术领域中的一重要技术。例如，工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等都离不开测试技术。

在广泛应用的自动控制中，测试装置已成为控制系统的重要组成部分。在各种现代化装备系统的设计制造与运行工作中，测试工作内容已嵌入系统的各部分，并占据关键地位。

1.2 测试系统的组成

1.2.1 测试工作的基本内容

从广义的角度来讲，测试工作涉及试验设计、模型理论、传感器、信号的加工与处理（传输、调理、分析、处理）、误差理论、控制工程、系统辨识、参数估计等内容。从狭义的角度来讲，测试工作是指在选定激励的方式下检测信号，进行信号的调试和分析，以便显示、记录数据或输出信号。

1.2.2 测试系统的组成

测试系统是指由相关的器件、仪器和测试装置有机结合而成的，能获取某种信息的整体，包括信号的检测和转换、信号的调理、分析与处理、显示和记录等。传统测试系统组成如图 1-1 所示。为了准确地获得被测对象的信息，要求测试系统中每一个环节的输出量与输入量之间必须具有一一对应关系，而且其输出的变化能够准确反映其输入的变化。

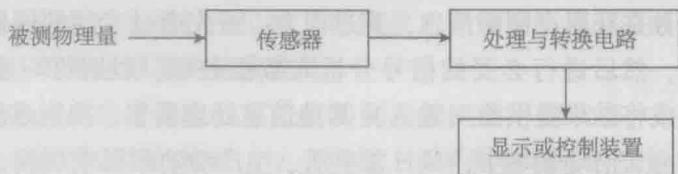


图 1-1 传统测试系统组成

传感器是将外界的信息按一定规律转换成检测信号的装置。它是实现自动检测和自动控制的重要环节，更是测试系统的核心。

目前,在测试系统中除传统结构型传感器外,大多采用物性型传感器。传统结构型传感器是以物体的变形或位移来检测被测量的;物性型传感器则是利用材料固有特性来实现对外界信息的检测,它有半导体、陶瓷类、光纤及其他新型材料。

处理与转换电路,即信号处理装置,是用来对测量信号进行处理、运算、分析,对动态测试结果做频谱分析、相关分析,并发出有关信号的装置。目前,这些工作大多采用计算机技术完成。

显示和记录部分目前有:模拟显示、数字显示、图形显示与记录仪。因为模拟量是连续变化量,所以模拟显示是利用指针对标尺的相对位置来表示读数。例如,动圈式仪表、电子电位差计等。数字显示多采用发光二极管和液晶屏等器件,以数字的形式来显示读数。前者亮度高,后者耗电少。图像显示是用 CRT(阴极射线显像管)或点阵式的 LED(发光二极管)来显示读数或被测参数的变化曲线。记录仪主要用来记录被测参数的动态变化过程。常用的记录仪有笔式记录仪、绘图仪、数字存储示波器、磁带记录仪等。

1.2.3 传感器基础知识

1. 传感器的定义

传感器是获取信息的装置,可以把物理量或化学量变换成可以利用的(电)信号的转换器件。一般,传感器的定义为:能够感受规定的被测量,并按一定规律和精度将其转换成可用输出信号的器件或装置。《传感器通用术语》(GB/T 7665-2005)将传感器定义为:传感器是包括转换部件和转换电路的敏感器件。传感器是借助检测元件接收某种形式的信息,并按一定规律将其获取的信息转换为另一种信息的装置。总之,传感器是检测系统的前置器件,它是将输入量或被检测量变换为可测量的信号。

传感器输出信号有多种形式,如电压、电流、频率和脉冲等,输出信号的形式由传感器的原理确定。一般传感器转换输出的大多是电信号。因此,传感器也可定义为:把外界输入的非电量转换为电信号的装置。所以,传感器也称为变换器、检测器或探测器等。

2. 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件与测量电路等部分组成。敏感元件和转换元件是传感器的核心。敏感元件是指传感器中直接感受被测量的部分;转换元件是指能将敏感元件的输出转换为适于传输和测量的电信号的部分;测量电路是将传感器输出的电参量转换成电能。应注意,并不是所有的传感器都能明显区分敏感元件与转换元件两个部分,而是二者合为一体。例如,气体和湿度传感器等都是将其感受的被测量直接转化为电信号,没有中间转换环节。在一般情况下,传感器的输出信号微弱,需要有信号调节与转换电路将其放大或变换为容易传输、处理、记录和显示的形式。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用,传感器的信号调节与转换可以安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在同一芯片上。因此,信号调节与转换电路及其所需电源都可以成为传感器的组成部分,如图 1-2 所示。

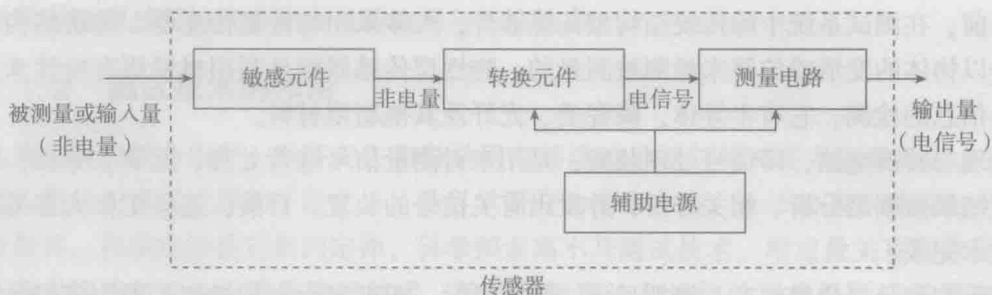


图 1-2 传感器及其组成部分

信号调节与转换电路有放大器、电桥、振荡器和电荷放大器等，它们分别与相应的传感器配合使用。

3. 传感器的分类

传感器与测试技术是知识密集、技术密集的行业，它与许多学科密切相关。有的传感器可以同时测量多种物理量，也可以同一种物理量由多种不同类型的传感器测量。因此，传感器的分类方法很多而且不统一，见表 1-1。

表 1-1 传感器的分类

分类方法	传感器类型	说明
按输入量分类	位移传感器、速度传感器、压力传感器、温度传感器等	传感器以被测物理量命名
按工作原理分类	机械式传感器、电气式传感器、辐射式传感器、流体式传感器等	以传感器工作原理命名
按物理现象分类	结构型传感器	结构参数变化为信息变换原理
	物性型传感器	物理特性变化为传感器的信息变换原理
按能量关系分类	能量转换型传感器	直接将被测量转换为输出量
	能量控制型传感器	被测量控制传感器的输出量
按输出信号分类	模拟式传感器	输出量为模拟量
	数字式传感器	输出量为数字量

4. 传感器的作用与地位

人们的社会活动主要依靠对信息资源的开发、获取、传输与处理。传感器处于研究对象与检测系统的接口位置，即检测与控制系统之首。传感器成为感知、获取与检测信息的窗口，科学研究与自动化生产过程需要的信息都要通过传感器获取，通过它转换为容易传输与处理的信号，因此，传感器的作用与地位非常重要。科学技术的发展，自动化系统的建设，都离不开传感器技术的应用。

1.2.4 测试技术的发展趋势

在测试系统中，如果没有传感器对原始信息进行精确、可靠的捕获和转换，则一切测

量和控制都是不可能实现的。近年来,随着计算机技术的发展和新材料的研发,新型或具有特殊功能的传感器不断涌现,检测装置也向着小型化、固化和智能化方向发展。测试技术的发展趋势主要体现在以下几个方面。

1. 探索新原理、开发新型传感器

为适应各行各业测量的需要,研发人员正致力于探索出新原理、开发新型物性型传感器。近代物理学的进展,如激光、红外、超声、微波、光纤、放射性同位素等新的研究成果都为检测技术开发提供了更多的依据。如利用光子滞后效应,出现了响应速度极快的红外传感器;利用约瑟夫逊效应的热噪声温度传感器,可测量 10^{-6}K 的超低温。陶瓷材料、高分子材料对新型传感器的研究和开发起到了很大的推动作用,而硅材料及其派生物是目前最成熟和开发应用最广泛的材料,如许多微型传感器都是用硅材料制作的。

2. 集成化

向着高精度、小型化和集成化方向发展是传感器技术的重要发展方向。传感器的集成化分为两种情况,一种是具有同样功能的传感器集成化,即将同一类型的单个传感元件用集成工艺在同一平面上排列起来,形成一维的线性传感器,从而使一个点的测量变成对一个面和空间的测量。例如,人们将排列成阵列的成千上万个光敏元件及扫描放大电路制作在一块芯片上,制成 CCD(电荷耦合器件)摄像机。另一种是不同功能的传感器集成化,即将具有不同功能的传感器一体化,组装成一个器件,从而使一个传感器可以同时测量不同种类的多个参数。

3. 智能化、仿生技术

传感器与微处理器集成在同一芯片上组成的智能仪表不仅具有信号检测、转换功能,同时还有记忆、存储、解析、统计处理、自诊断、自校准和自适应等功能,如美国费希尔-罗斯蒙特公司的智能差压变送器。与此同时,人类在将机器人应用于现代工业方面,已取得了一定成果,尽管传感器的开发比较缓慢,使机器人的使用受到限制,但仿生检测技术仍是当前发展的方向之一。

除此之外,随着微电子技术与计算机技术的飞速发展,检测技术与计算机的深层次结合正在引起检测仪器领域的一场新革命,一种全新的仪器结构概念使得新一代仪器(虚拟仪器)出现并走向实用化。

4. 传感器的网络化

随着现场总线技术在测控领域的广泛应用和测控网与信息网融合的强烈需求,传感器的网络化正在快速发展。这主要表现为两个方面:一方面,为了解决现场总线的多样性问题,IEEE 1451.2 工作组建立了智能传感器接口模块(STIM)标准,该标准描述了传感器网络适配器和微处理器之间的硬件和软件接口,为传感器和各种网络连接提供了条件和方便;另一方面以 IEEE802.15.4(Zigbee)为基础的无线传感器网络技术正在迅速发展,它具有以数据为中心、极低的功耗、组网方式灵活、低成本等诸多优点,在军事侦测、环境监测、智能家居、医疗健康、科学研究等众多领域具有广泛的应用前景,是目前技术研究

的热点。

1.3 测量误差与测量标准

1.3.1 测量误差

1. 测量的基本概念

测量是借助工具或技术方法,通过试验,以比较的手段,取得被测量值的过程。测量的目的是获取表征被测对象特征的某些参数的定量信息。

(1) 等精度测量。在一定条件下,重复测量称为等精度测量。

(2) 不等精度测量。在多次测量中,对测量有影响的一切条件不能完全维持不变称为不等精度测量。

(3) 真值。被测量本身所具有的真正值称之为真值。量值的真值是一个理想的概念,一般是难以求得的。但在某些特定情况下,真值又是可知的,如一个整圆周角为 360° 等。

(4) 实际值。测量误差理论指出,在排除系统误差的前提下,对于等精度测量,当测量次数无限多时,测量结果的算术平均值逼近于真值,可将它视为被测量的真值。因为测量次数是有限的,所以按有限测量次数得到的算术平均值只是统计平均值的近似值。由于系统误差不可能完全被排除,故通常只能把精度更高一级的标准仪器所测得的值作为“真值”。为了强调这一数值并非是真的“真值”,故把它称为“实际值”或“约定真值”。

(5) 示值。示值又称标真值,是由测量仪器读数装置所指示出来的被测量数值。

(6) 测量误差。用仪器进行测量时,所测量出来的数值与被测量实际值之间的差值。

任何测试系统的测量结果都有一定的误差,即精度。一般来说,不存在没有误差的测量结果,也不存在没有精度要求的测试系统。精度(误差)是一项重要的技术指标。

2. 误差的类型

(1) 按表示方法分类。

①绝对误差。绝对误差是示值与被测量真值之间的差值。被测量的真值为 A_0 ,仪器的标称值或示值为 x ,则绝对误差 Δx 为

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-2)$$

由于存在误差,无法取得真值 A_0 ,在实际应用中常用精度等级高的标准仪器的示值(作为实际值) A 代替真值 A_0 。但 A 并不等于 A_0 ,一般来说 A 总比 x 更接近于 A_0 。

所以,示值 x 与 A 之差常称为仪器的示值误差。记为

$$\Delta x = x - A \quad (1-3)$$

通常,以此值来代表绝对误差。

绝对误差一般只适用于标准仪器的校准。

与绝对误差 Δx 相等,但符号相反的值,称为修正值,常用 C 表示,即

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1-4)$$