

普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材

非电量 电测技术基础

桑海峰 主编

黄静 李飞 宋辉 副主编

**Fundamentals of Non-electrical
Measurement Techniques**

清华大学出版社

普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材

非电量 电测技术基础

**Fundamentals of Non-electrical
Measurement Techniques**

桑海峰 主编
黄静 李飞 宋辉 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据工科仪器仪表类及其相近专业本科生对测量、仪表和测试技术等的培养要求,阐述了非电量电测系统的各个环节,包括信息的获取以及信号的传输、转换和处理。主要内容包括非电量电测系统的基本知识,传感器的定义、作用、组成、分类等,常用传感器的工作原理、结构组成、测量电路以及应用实例分析。并结合 CSY-3000 型传感器实验平台设计了 10 个典型的传感器实验。本书在撰写和内容选取上主要是针对普通高等院校仪器仪表类及其相近专业本科生的特点,侧重基础原理及实际应用,同时也适当阐述了该领域的新技术、新产品和发展趋势。

本书可作为普通高等院校仪器仪表、电子信息、自动化等专业的教材,也可作为从事检测技术工作的工程技术人员参考用书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

非电量电测技术基础/桑海峰主编. —北京:清华大学出版社,2017
(普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材)
ISBN 978-7-302-48515-5

I. ①非… II. ①桑… III. ①非电量测量—高等学校—教材 IV. ①TM938.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 232057 号

责任编辑:许 龙 刘远星

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:保定市中华美凯印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:16

字 数:385 千字

版 次:2017 年 9 月第 1 版

印 次:2017 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:45.00 元

产品编号:076555-01

前言

FOREWORD

随着工业生产和现代科学技术的飞速发展,为了保证生产线上的设备或系统处于最佳运行状态,提高产品合格率,就需要实时地检测各种过程参数和物理量,而非电量又占绝大部分。电测技术在测量中具有明显的优势,所以非电量电测技术在测试系统中得到广泛的应用。本书主要针对普通高等院校仪器仪表类及其相关专业本科生的特点,注重基本原理与实践相结合而编写。

本书的特点是从基本概念、基本原理出发,从定性和定量的角度详细阐述了常用传感器的工作原理及输入/输出特性,并给出了典型的测量电路。另外,针对每种工作原理的传感器选择了多个工程应用实例进行分析,同时结合 CSY-3000 型传感器平台设计了 10 个典型的动手实验来提升学生的动手能力,每章设有思考题与习题。本书注重基础,不涉及设计制造及相关专业的其他课程(如电子线路、计算机组成原理与接口技术、单片机技术等)内容重复的知识点。

全书共分为 12 章。第 1 章绪论,介绍了传感器的基本概念和发展趋势;第 2 章介绍了非电量电测技术的基本知识;第 3~12 章按工作原理分别介绍了典型传感器的基本原理、结构、测量电路以及实例分析,包括电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、电涡流式传感器、压电式传感器、电动势式传感器、光电式传感器、温度传感器、气敏及湿敏传感器和智能传感器与软传感器等。

本书内容通俗易懂,注重基本概念、基本原理的理解,注重培养学生解决实际问题的能力。本书可作为普通高等院校仪器仪表类及其相近专业本科生教材,也可供从事自动检测、控制技术等有关工作的工程技术人员参考。书中各章节内容有一定的独立性,可供其他专业根据需要选用。

本书由桑海峰担任主编,黄静、李飞、宋辉任副主编,参编人员有武红娇、王传正、吕应宇等。

由于非电量电测技术涉及的学科众多、知识面广泛,而我们学时有限,书中难免存在局限和不妥之处,恳请读者指正。

编 者
2017 年 4 月

目录

CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 非电量电测系统的组成	1
1.2 传感器发展现状与趋势	3
1.3 本课程内容以及与其他课程的关系	4
第2章 非电量电测技术的基本知识	5
2.1 测量的基本知识	5
2.1.1 测量的定义	5
2.1.2 测量的基本方法	6
2.1.3 测量误差及其分类	7
2.1.4 精度	9
2.2 测量系统的输入输出特性	10
2.2.1 测量系统的静态特性	11
2.2.2 测量系统的静态误差	15
2.2.3 测量系统的动态特性	17
2.3 传感器的分类和性能指标	22
2.3.1 分类	22
2.3.2 性能指标	23
思考题与习题	24
第3章 电阻式传感器	25
3.1 电阻应变式传感器	25
3.1.1 应变效应	25
3.1.2 金属电阻应变片结构与材料	26
3.1.3 半导体压阻效应	27
3.1.4 应变片种类	28
3.1.5 弹性敏感元件及基本特性	29
3.2 测量电桥	30
3.2.1 直流电桥	30
3.2.2 交流供电电桥	35

3.2.3	电阻应变片的温度误差及其补偿	37
3.3	电位器式电阻传感器	38
3.3.1	线绕式电位器	39
3.3.2	其他形式的电位器	41
3.3.3	应用	41
3.4	电阻应变式传感器应用	42
3.4.1	电阻应变仪	42
3.4.2	相敏检波器	42
3.4.3	力传感器(测力与称重)	43
3.5	实验——应变片单臂、半桥、全桥性能实验	45
	思考题与习题	49

第4章	电容式传感器	50
4.1	传感器原理及结构形式	50
4.2	传感器静态特性	51
4.2.1	变间隙式	51
4.2.2	变面积式	53
4.2.3	变介电常数	53
4.3	电容式传感器测量电路	55
4.3.1	变压器电桥	55
4.3.2	差动脉冲调宽电路	56
4.3.3	运算放大器式电路	58
4.3.4	二极管双 T 形电路	58
4.3.5	调频电路	59
4.4	电容式传感器设计问题	60
4.5	电容式传感器应用举例	63
4.5.1	自平衡电桥电路油箱液位测量	63
4.5.2	电容式压力传感器	64
4.5.3	电容板材在线测厚仪	65
4.6	实验——电容式传感器的位移实验	65
	思考题与习题	68

第5章	电感式传感器	69
5.1	自感型传感器	69
5.1.1	变磁阻式电感式传感器	69
5.1.2	差动式电感式传感器	71
5.2	电感式传感器测量电路	72
5.2.1	交流电桥	72
5.2.2	紧耦合电感臂电桥	73

5.3 互感型电感式传感器	75
5.3.1 结构及工作原理	75
5.3.2 测量电路	76
5.3.3 零点残余电压	79
5.4 应用举例	80
5.5 实验——差动变压器的性能实验	81
思考题与习题	83

第6章 电涡流式传感器	84
6.1 工作原理	84
6.1.1 基本工作原理	84
6.1.2 等效电路及阻抗特性	85
6.2 电涡流的分布和强度	85
6.2.1 电涡流的分布	85
6.2.2 电涡流强度	86
6.3 电涡流式传感器的设计	87
6.3.1 线圈几何尺寸与传感器灵敏度、非线性的关系	87
6.3.2 被测材料形状和大小对传感器测量的影响	87
6.4 测量电路	88
6.5 电涡流式传感器应用	89
6.6 实验——电涡流式传感器位移实验	91
思考题与习题	93

第7章 压电式传感器	94
7.1 压电效应	94
7.1.1 概念	94
7.1.2 压电效应分析	95
7.2 压电材料简介	99
7.2.1 石英晶体	99
7.2.2 压电陶瓷	100
7.2.3 压电元件结构形式	101
7.3 压电式传感器的测量电路	101
7.3.1 压电式传感器等效电路	101
7.3.2 测量电路	103
7.4 压电式传感器应用	105
7.4.1 压电式测力传感器	105
7.4.2 压电式加速度传感器	106
7.4.3 压电式超声传感器	106
7.4.4 压电式流量计	109

7.5 实验——压电式传感器测振动实验	110
思考题与习题	111

第8章 电动势式传感器

8.1 磁电式传感器	112
8.1.1 工作原理	112
8.1.2 结构	113
8.1.3 传感器的输出特性	114
8.1.4 测量电路	114
8.1.5 应用	116
8.2 霍尔传感器	117
8.2.1 霍尔元件的工作原理及结构	117
8.2.2 霍尔元件特性	120
8.2.3 集成霍尔器件	123
8.2.4 霍尔传感器的应用	125
8.3 实验——霍尔传感器测转速实验	128
思考题与习题	129

第9章 光电式传感器

9.1 外光电效应及其器件	130
9.1.1 外光电效应	130
9.1.2 光电管	131
9.1.3 光电倍增管	132
9.2 内光电效应及器件	134
9.2.1 内光电效应	134
9.2.2 内光电效应器件	134
9.3 光电式传感器应用举例	142
9.4 电荷耦合器件	145
9.4.1 CCD 的结构和工作原理	145
9.4.2 线型和面型 CCD 图像传感器	147
9.4.3 CCD 的特性参数	149
9.5 光纤传感器	151
9.5.1 光纤结构和传输原理	151
9.5.2 光纤的性能	152
9.5.3 光纤传感器的分类和器件组成	153
9.5.4 光纤传感器应用举例	154
9.6 实验——光纤位移传感器测位移特性实验	156
思考题与习题	158

第 10 章 温度传感器	159
10.1 热电偶	159
10.1.1 热电效应	159
10.1.2 热电偶基本定律	161
10.1.3 热电偶的材料与结构	163
10.1.4 热电偶的冷端温度补偿	165
10.1.5 热电偶的选择、安装使用和校验	167
10.1.6 热电偶测温电路	169
10.2 热电阻	170
10.2.1 常用热电阻	171
10.2.2 热电阻主要种类	171
10.2.3 热电阻的测温接线方式与安装方法	172
10.3 热敏电阻	174
10.3.1 热敏电阻的特点与分类	174
10.3.2 热敏电阻的基本参数	175
10.3.3 主要特性	176
10.3.4 热敏电阻的应用	178
10.4 集成温度传感器	180
10.4.1 集成温度传感器测温原理	180
10.4.2 集成温度传感器信号输出方式	181
10.4.3 典型集成温度传感器	182
10.5 实验——集成温度传感器温度特性实验	187
思考题与习题	190
第 11 章 气敏及湿敏传感器	191
11.1 气敏传感器	191
11.1.1 半导体型气体传感器	192
11.1.2 其他类型气敏传感器	196
11.1.3 气敏传感器的应用	198
11.2 湿敏传感器	200
11.2.1 湿度的概念	200
11.2.2 湿敏传感器的特性参数	201
11.2.3 湿敏传感器的分类及工作原理	203
11.2.4 湿敏传感器检测电路	208
11.2.5 湿敏传感器应用	210
11.3 实验一——气敏传感器	213
11.4 实验二——湿敏传感器	214
思考题与习题	215

第 12 章 智能传感器与软传感器	216
12.1 智能传感器	216
12.1.1 智能传感器的定义与功能	216
12.1.2 智能传感器的发展形式与特点	218
12.1.3 智能传感器实现的途径	219
12.1.4 智能传感器应用实例	221
12.2 软传感器	234
12.2.1 软传感器的概念	234
12.2.2 软仪表的工作原理	235
12.2.3 软仪表在工业中的应用	239
思考题与习题	242
参考文献	243

绪 论

化学家门捷列夫指出：“科学是从测量开始的。”科学家钱学森指出：“信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术，测量技术是关键和基础。”我国“863”计划的倡议者、“两弹一星”功臣王大珩院士指出：“仪器不是机器，仪器是认识和改造物质世界的工具，而机器只能改造却不能认识物质世界”“科学技术是第一生产力，而现代仪器设备则是第一生产力的三大要素之一”。1980年以来，有38人因仪器研制而获得诺贝尔奖。

信息获取是通过仪器来实现的。仪器是对物理量、工程量和生物量等进行观测、测量、计量、监测及控制的重要手段。在工农业生产、科学研究、国防建设及国民经济的各部门中，经常需要检测各种参数和物理量，获取被测对象的定量信息，以便进行监视和控制，使设备或系统处于最佳运行状态，并保证生产的安全、经济及高质量。

在被测物理量中，非电量占了绝大部分，如机械量（位移、速度、加速度、力、振动等），热工量（压力、温度、湿度、流量、液位等），成分量（浓度、化学成分含量等）和状态量（颜色、透明度、裂纹等）。虽然这些非电量可以用机械、气动等方法测量，但是电测技术具有一系列明显的优点，尤其随着微电子技术和计算机技术的飞速发展，其优势就更突出了。因而促使人们研究用电测的方法来测量非电量，形成了“非电量电测技术”的测试技术。电测技术的主要优点概况如下：

- （1）测量仪表结构简单，使用方便，测量的准确度和灵敏度高；
- （2）测量仪表可以灵活地安装在需要进行测量的地方，可实现自动记录，并可以与微处理器构成智能仪器，实现实时数据处理、误差分析等功能；
- （3）测量仪表可实现远距离、无接触测量，测量范围广；
- （4）测量反应速度快，即适用于静态测量又适用于动态测量。

1.1 非电量电测系统的组成

非电量电测系统的任务是把待测非电量转换成电信号（电压、电流、频率等），然后通过电测技术进行测量。因此，非电量电测系统一般包括传感器，信号调节与转换电路，信号显

示、记录,信息分析处理等部分,其结构如图 1-1 所示。

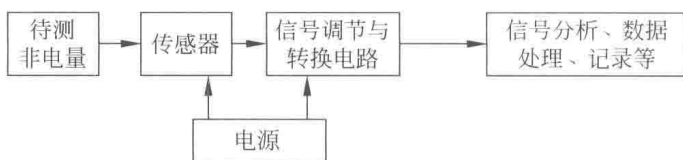


图 1-1 非电量电测系统结构框图

传感器是将外界信息按照一定的规律转换成电量的装置,是一种获得信息的手段。它在非电量电测系统中占有重要的地位,是实现自动检测和自动控制的首要环节,它获得信息的准确与否,关系到整个测量系统的精度。可以说,没有精确可靠的传感器,就没有精确可靠的自动检测和控制系统。

那么,什么是传感器呢?

在日常生活中,我们使用着各种各样的传感器:

- (1) 电冰箱、电饭煲中的温度传感器;
- (2) 空调中的温度和湿敏传感器;
- (3) 抽油烟机中的燃气泄漏传感器;
- (4) 电视机和影碟机中的红外遥控器;
- (5) 照相机中的光传感器;
- (6) 汽车中燃料计和速度计等,不胜枚举。

传感器不仅给我们的生活带来许多便利和帮助,也为人类的社会文明提供更多科学的物质条件。举一个更形象的例子,就是人体系统,我们通过五官:眼(视觉)、耳(听觉)、鼻(嗅觉)、皮肤(触觉)、舌(味觉)来感知外界信息,然后将这些信息传送给大脑,大脑把这些信号分析处理传递给肢体。如果用机器完成这一过程,计算机相当人的大脑,执行机构相当人的肌体,传感器相当于人的五官。传感器又是人体感官的延长,有人又称传感器为“电五官”,它作为替代补充人的感觉器官功能,传感器为人类客观定量认识世界起到重要作用。

广义的传感器定义为一种能把特定的信息(物理、化学、生物)按一定规律转换成某种可用信号输出的器件和装置。狭义的传感器定义为能把外界非电量转换成电信号输出的器件。

传感器通常由直接响应于被测量的敏感元件和产生可用信号输出的转换元件以及相应的电子线路所组成。

信号调节与转换电路是能把传感元件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理和控制的有效电信号的电路,在非电量电测系统中电桥电路是传感器输出接口中用得最为广泛的基本电路,它有两种工作方式:平衡电桥和不平衡电桥。在传感器应用中主要是不平衡电桥,不平衡电桥的输出电压决定于桥臂阻抗对其初始值的变化,单激励电压的变化或不精确也会影响电桥的输出,从而造成测量误差。为了使激励电压稳定,电桥电压一般采用恒压源或恒流源激励,并在电路中采取抑制共模电压的措施。另外,几乎所有的传感器都会受到温度的影响而产生温度误差,所以在电桥电路中都需采用一定的温度补偿措施。

信号放大是信号处理电路的一个重要环节,由于输出信号通常非常微弱,系统中有很大的干扰和噪声,所以为了能提取到有用的信号都需要信号放大电路,一般对放大器要求精度高、漂移小、线性度好、抗干扰能力强、反应速度快。常用的放大器种类包括直接耦合放大

器、调制式放大器和自动稳零式放大器。

在整个测量系统中有许多非线性环节,而非线性输出会对后续的数据处理带来不便,所以一般都需要采取某些措施,把本来是非线性的输入、输出特性,在全部或局部测量范围内呈现线性关系。解决非线性问题的办法包括:减小测量范围,在局部范围内将非线性特性近似处理为线性特性;采用非线性刻度;增设非线性校正环节。

信号的显示与记录装置是测量系统的最后环节,按显示方式可分为模拟式和数字式。模拟式装置是以模拟量来显示或记录被测量的,它的特点是仪表功耗小,能反映信号极性,湿度性能也较好,使用广泛。但它的运动机构有相当大的惯性,故一般只用于静态和稳态测量,不作动态和高频测量。常用的模拟式装置包括笔式记录仪、光线示波器、自动平衡记录仪、磁带记录仪等。数字式装置是将反映被测物理量变化的模拟信号,经模/数转换器转换为数字信号,再经译码、驱动及显示器件,将测量结果以十进制数字形式显示,常用的显示器件是发光二极管和液晶显示器,在大系统计算机测试中则可使用屏幕显示。

1.2 传感器发展现状与趋势

近年来,全球传感器市场一直保持快速增长,目前,从全球总体情况看,美国、日本、德国等少数经济发达国家占据了传感器市场70%以上份额,发展中国家所占份额相对较少。未来,随着中国、印度、巴西等发展中国家经济的持续增长,对传感器的需求也将大幅增加,但发达国家在传感器领域具有技术和品牌等优势,这种优势在未来几年内仍将保持,因此,全球传感器市场分布状况并不会得到明显的改变。

中国传感器的市场近几年一直持续增长,应用四大领域为工业及汽车电子产品、通信电子产品、消费电子产品专用设备。国内传感器产业发展面临的主要问题:一是企业规模较小,高端产品严重依赖进口,其中传感器芯片进口占比高达90%;二是技术水平总体偏低,很多企业都是引用国外的元件进行加工,自主创新困难;三是产品结构不合理,品种、规格、系列不全;四是产业化水平较低,产业配套不足。

近年来,传感器技术新原理、新材料和新技术的研究更加深入、广泛,新品种、新结构、新应用不断涌现。其中,“五化”成为其发展的重要趋势。

一是智能化,两种发展轨迹齐头并进。一个方向是多种传感功能与数据处理、存储、双向通信等的集成,可全部或部分实现信号探测、变换处理、逻辑判断、功能计算、双向通信,以及内部自检、自校、自补偿、自诊断等功能,具有低成本、高精度的信息采集、可数据存储和通信、编程自动化和功能多样化等特点。另一个方向是软传感技术,即智能传感器与人工智能相结合,目前已出现各种基于模糊推理、人工神经网络、专家系统等人工智能技术的高度智能传感器,并已经在智能家居等方面得到利用。

二是可移动化,无线传感网技术应用加快。无线传感网技术的关键是克服节点资源限制(能源供应、计算及通信能力、存储空间等),并满足传感器网络扩展性、容错性等要求。该技术被美国麻省理工学院(MIT)的《技术评论》杂志评为对人类未来生活产生深远影响的十大新兴技术之首。

三是微型化,MEMS传感器研发异军突起。随着集成微电子机械加工技术的日趋成

熟, MEMS 传感器将半导体加工工艺(如氧化、光刻、扩散、沉积和蚀刻等)引入传感器的生产制造,实现了规模化生产,并为传感器微型化发展提供了重要的技术支撑。

四是集成化,多功能一体化传感器受到广泛关注。传感器集成化包括两类:一种是同类型多个传感器的集成,即同一功能的多个传感元件用集成工艺在同一平面上排列,组成线性传感器(如 CCD 图像传感器);另一种是多功能一体化,如几种不同的敏感元器件制作在同一硅片上,制成集成化多功能传感器,集成度高、体积小,容易实现补偿和校正,是当前传感器集成化发展的主要方向。

五是多样化,新材料技术的突破加快了多种新型传感器的涌现。新型敏感材料是传感器的技术基础,材料技术研发是提升性能、降低成本和技术升级的重要手段。除了传统的半导体材料、光导纤维等,有机敏感材料、陶瓷材料、超导、纳米和生物材料等成为研发热点,生物传感器、光纤传感器、气敏传感器、数字传感器等新型传感器加快涌现。

随着材料科学、纳米技术、微电子等领域前沿技术的突破以及经济社会发展的需求,四大领域可能成为传感器技术未来发展的重点。

一是可穿戴式应用。以谷歌眼镜为代表的可穿戴设备是最受关注的硬件创新。谷歌眼镜内置多达 10 余种传感器,包括陀螺仪传感器、加速度传感器、磁力传感器、线性加速传感器等,实现了一些传统终端无法实现的功能,如使用者仅需眨一眨眼睛就可完成拍照。当前,可穿戴设备的应用领域正从外置的手表、眼镜、鞋子等向更广阔的领域扩展,如电子肌肤等。

二是无人驾驶。在该领域,谷歌公司的无人驾驶车辆项目开发取得了重要成果,通过车内安装的照相机、雷达传感器和激光测距仪,以每秒 20 次的间隔,生成汽车周边区域的实时路况信息,并利用人工智能软件进行分析,预测相关路况未来动向,同时结合谷歌地图来进行道路导航。

三是医护和健康监测。国内外众多医疗研究机构,包括国际著名的医疗行业巨头在传感器技术应用于医疗领域方面已取得重要进展。一些研究机构在能够嵌入或吞入体内的材料制造传感器方面已取得进展。

四是工业控制。GE 公司在《工业互联网:突破智慧与机器的界限》报告中提出,通过智能传感器将人机连接,并结合软件和大数据分析,可以突破物理和材料科学的限制,并将改变世界的运行方式。

1.3 本课程内容以及与其他课程的关系

非电量电测技术包括信息获取、转换和处理等所需的仪器和测试,它涉及的学科范围比较广泛,而且发展迅速。编写本书的目的是在有限篇幅内介绍这一学科典型代表内容和基础理论知识,为读者进一步学习本学科前沿内容打下一定的基础。本书内容首先介绍非电量技术的一些基本特性、测量误差方面的基本知识,然后重点讲解将非电量转换成电量的典型传感器工作原理、结构及其测量电路,最后介绍信号的转换、分析和处理以及测量系统的接口技术。

与本课程直接相关的基础课程包括数学、物理学、工程力学、电工学、电子学、自动控制理论、数字技术、计算机技术等。

非电量电测技术的基本知识

2.1 测量的基本知识

2.1.1 测量的定义

测量是在有关理论的指导下,用专门的仪器或设备,通过实验和必要的数据处理,求得被测量的值。也可以说,测量就是通过实验装置(仪器)将被测量与同性质的单位标准量进行比较以确定被测量与标准的倍数关系,而获得定量的数值。测量是按照某种规律,用数据来描述观察到的现象,即对事物作出量化描述。测量是对非量化实物的量化过程。

测量的目的是为了在限定时间内,尽可能准确收集被测对象的未知信息,以便掌握被测对象的参数,进而控制生产过程。对于测量存在四个要素。

(1) 测量对象:一般为几何量,包括长度、高程、面积、形状、角度、表面粗糙度以及形位误差等。由于几何量的特点是种类繁多,形状又各式各样,因此对于它们的特性、被测参数的定义以及标准等都必须加以研究和熟悉,以便进行测量。

(2) 计量单位:我国国务院于1977年5月27日颁发的《中华人民共和国计量管理条例(试行)》第三条规定中重申:“我国的基本计量制度是米制(即公制),逐步采用国际单位制。”1984年2月27日正式公布中华人民共和国法定计量单位,确定米制为我国的基本计量制度。在长度计量中单位为米(m),其他常用单位有毫米(mm)和微米(μm)。在角度测量中以度($^{\circ}$)、分($'$)、秒($''$)为单位。

(3) 测量方法:指在进行测量时所用的按类叙述的一组操作逻辑次序。对几何量的测量而言,则是根据被测参数的特点,如公差值、大小、轻重、材质、数量等,并分析研究该参数与其他参数的关系,最后确定对该参数如何进行测量的操作方法。

(4) 测量的准确度:指测量结果与真值的一致程度。由于任何测量过程总不可避免地会出现测量误差,误差大说明测量结果离真值远,准确度低,因此,准确度和误差是两个相对的概念。由于存在测量误差,任何测量结果都是以一近似值来表示。

2.1.2 测量的基本方法

测量方法是指人们认识自然界事物的一种手段,测量方法多种多样。下面介绍一些基本测量方法。

1. 直接测量和间接测量

按是否直接测量被测参数,可分为直接测量和间接测量。

直接测量:一般指可用各种仪器对被测量直接测量获得结果。例如用卡尺、比较仪测量。

间接测量:指利用与被测量有确定函数关系的几个物理量进行直接测量后,通过函数关系获得结果。

显然,直接测量方法比较直观,测量过程简单而迅速,是工程技术中采用得比较广泛的测量方法。间接测量方法手续较烦琐,花费时间也较多,一般在直接测量很不方便、误差较大及缺乏直接测量仪器等情况下才采用。大多数用在实验室,但工程中有时也用。

2. 绝对测量和相对测量

按量具量仪的读数值是否直接表示被测尺寸的数值,可分为绝对测量和相对测量。

绝对测量:读数值直接表示被测尺寸的大小。如用游标卡尺测量。

相对测量:读数值只表示被测尺寸相对于标准量的偏差。如用比较仪测量轴的直径,需先用量块调整好仪器的零位,然后进行测量,测得值是被测轴的直径相对于量块尺寸的差值,这就是相对测量。一般说来相对测量的精度比较高些,但测量比较麻烦。

3. 接触测量和非接触测量

按被测表面与量具量仪的测量头是否接触,分为接触测量和非接触测量。

接触测量:测量头与被接触表面接触,并有机机械作用的测量力存在。如用千分尺测量零件。

非接触测量:测量头不与被测零件表面相接触,非接触测量可避免测量力对测量结果的影响。如利用投影法、光波干涉法测量等。

4. 单项测量和综合测量

按一次测量参数的多少,分为单项测量和综合测量。

单项测量:对被测零件的每个参数分别单独测量。

综合测量:测量反映零件有关参数的综合指标。如用工具显微镜测量螺纹时,可分别测量出螺纹实际中径、牙型半角误差和螺距累积误差等。

综合测量一般效率比较高,对保证零件的互换性更为可靠,常用于成品零件的检验。单项测量能分别确定每一参数的误差,一般用于工艺分析、工序检验及被指定参数的测量。

5. 主动测量和被动测量

按测量在加工过程中所起的作用,分为主动测量和被动测量。

主动测量:工件在加工过程中进行测量,其结果直接用来控制零件的加工过程,从而及时防止废品的产生。

被动测量：工件加工后进行的测量。此种测量只能判别加工件是否合格，仅限于发现并剔除废品。

6. 静态测量和动态测量

按被测零件在测量过程中所处的状态，分为静态测量和动态测量。

静态测量：测量相对静止。如千分尺测量直径。

动态测量：测量时被测表面与测量头模拟工作状态中作相对运动。

动态测量方法能反映出零件接近使用状态下的情况，是测量技术的发展方向。

2.1.3 测量误差及其分类

1. 误差的定义

每一个物理量都是客观存在，在一定的条件下具有不以人的意志为转移的客观大小，人们将它称为该物理量的真值。真值通常是一个未知量，一般说的真值是指理论真值、约定真值、相对真值。理论真值也称绝对真值，例如三角形内角和为 180° ，圆周角为 360° 。约定真值也称规定真值，是一个接近真值的值，它与真值之差可忽略不计，例如国际千克基准 1kg 。实际测量中以在没有系统误差的情况下，足够多次的测量值之平均值作为约定真值。相对真值是指当高一级标准器的指示值即为下一等级的真值，此真值称为相对真值。

进行测量是想要获得待测量的真值。然而测量要依据一定的理论或方法，使用一定的仪器，在一定的环境中，由具体的人进行。由于实验理论上存在着近似性，方法上难以很完善，实验仪器灵敏度和分辨能力有局限性，周围环境不稳定等因素的影响，待测量的真值是不可能测得的，测量结果和被测量真值之间总会存在或多或少的偏差，这种偏差就叫做测量值的误差。

2. 误差的表示形式

误差的表示形式可分为绝对误差和相对误差。

1) 绝对误差

某量值的测得值 a 和真值 A 之间的差值，通常称为绝对误差 Δ 。

$$\Delta = a - A \quad (2-1)$$

绝对误差是一个具有确定的大小、符号及单位的量，给出了被测量的量纲，其单位与测得值相同。

在实际使用时，为方便消除系统误差，常使用修正值 c 。修正值的定义：为了消除固定的系统误差用代数法而加到测量结果上的值。其表达式为

$$c \approx A - a \quad (2-2)$$

由式(2-1)与式(2-2)可以看出，修正值与误差大小近似相等，但符号相反。另外，修正值本身还有误差。

例如，用某电压表测量电压，电压表的示值为 226V （测得值），查该表的检定证书，得知该电压表在 220V （真值）附近的误差为 5V （绝对误差），被测电压的修正值为 -5V ，则修正后的测量结果为 $226\text{V} + (-5\text{V}) = 221\text{V}$ 。