



高等学校机电类专业“十三五”规划精品教材

机械工程测试技术

JIXIE GONGCHENG CESHI JISHU



主编 祝志慧 冯耀泽



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



高等学校机械类专业“十三五”规划精品教材

机械工程测试技术

JIXIE GONGCHENG CESHI JISHU

主 编 祝志慧 冯耀泽

副主编 梁秀英 文友先 李 敏 彭 妍 吴继春

常州大学图书馆
藏书章



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书根据机械工程相关专业的特点和要求进行编写,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。全书围绕测试系统的组成,讲述了常用传感器的原理、测试系统的特性分析、信号分析与处理、信号转换与调理、测试技术在机械工程中的应用、现代集成测试系统及虚拟仪器。本书可作为机械电子工程、机械设计制造及其自动化和其他机械类、非机械类专业的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程测试技术/祝志慧,冯耀泽主编. —武汉:华中科技大学出版社,2017.6
ISBN 978-7-5680-2516-4

I. ①机… II. ①祝… ②冯… 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(2017)第 052688 号

机械工程测试技术

Jixie Gongcheng Ceshi Jishu

祝志慧 冯耀泽 主编

策划编辑:袁 冲(211272956@qq.com)

责任编辑:王 莹

责任校对:何 欢

封面设计:抱 子

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)
武汉市东湖新技术开发区华工科技园

电话:(027)81321913

邮编:430223

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:12.25

字 数:311千字

版 次:2017年6月第1版第1次印刷

定 价:29.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言



测试技术是检测和处理各种信息,涉及传感器技术、数据处理、仪器仪表、计算机技术等学科领域的一门综合技术,是信息技术的基础,在科学研究、工业生产、医疗卫生、文化教育等领域都起着相当重要的作用。

随着科学研究与工程测试技术的发展,对各种物理量进行测量与试验的要求越来越广泛,这种状况极大地推动了测试技术的发展。而每一次新的测量理论、测量方法、测试设备的出现,也促进了其他学科与工程技术的发展。因此,测试技术已经成为从事科学研究与工农业生产的技术人员必须掌握的基础知识,被列为机械类专业本科生必修的专业基础课程。

本书着重介绍测试技术的基本原理、方法、系统组成,以及对测试信号的分析 and 数据处理方法。为了适应今后科学技术的发展,本书强调基础理论和基本知识的重要性,针对机械工程测试与信号的特点,侧重于讲解基础知识与项目设计实例,使读者能够很好地掌握机械工程中对相关信号的测试、分析和处理方面的知识,并能应用所学知识解决实际问题,为进一步学习和研究奠定必要的基础。

全书共6章,第1章为常用传感器原理,主要阐述了常用传感器的基本原理与应用。第2章为测试系统的特性分析,包括测试系统的静态特性和动态特性。第3章为信号分析与处理,包括时域分析,频域分析和数字信号的分析与处理。第4章为信号转换与调理,包括电桥、调制与解调、滤波器等内容。第5章为测试技术在机械工程中的应用,包括应力(应变)、扭矩、流量测试及应用,机械振动测试及应用,位置、位移的测量。第6章为现代集成测试系统及虚拟仪器,介绍各种测试仪器的特点及功能。

本书由华中农业大学的祝志慧、冯耀泽担任主编,由华中农业大学的梁秀英,武昌工学院的文友先、李敏、彭妍及湘潭大学的吴继春担任副主编。本书第1章由冯耀泽、吴继春编写,第2章由李敏编写,第3章由彭妍编写,第4章由梁秀英编写,第5章由祝志慧、文友先编写,第6章由祝志慧编写,全书由祝志慧负责统稿。

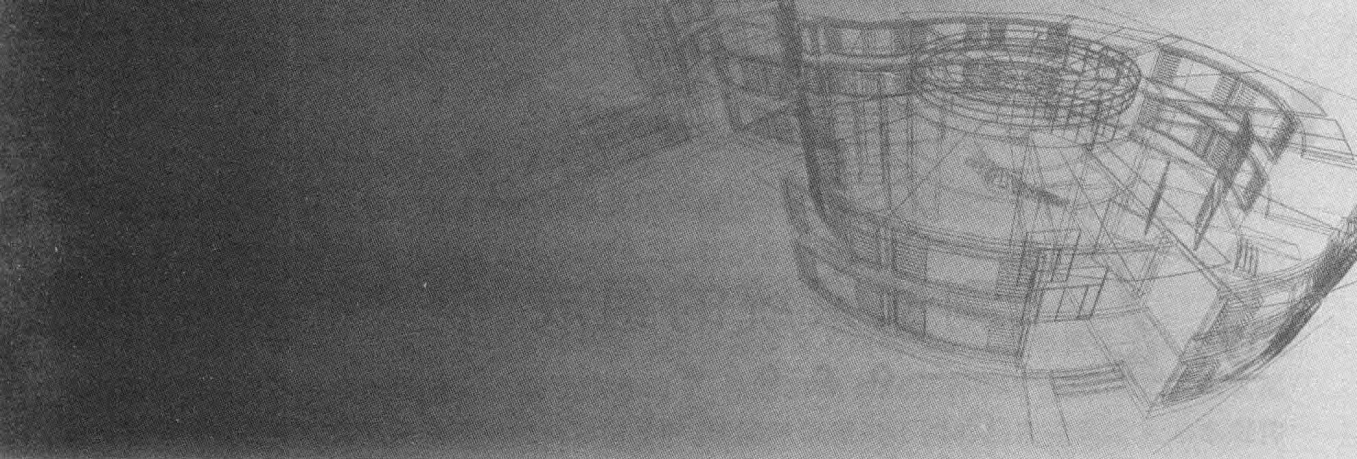
本书在编写过程中参阅了同行业的专家学者和一些院校的教材、资料和文献,在此向文献作者致以诚挚的谢意。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,承望广大读者批评指正!

编 者

目录

绪论	1
0.1 测试技术的内容	1
0.2 测试系统的组成	2
0.3 测试系统在机械工程中的作用和地位	3
0.4 测试系统的发展趋势	4
第1章 常用传感器的原理	6
1.1 概述	6
1.2 能量控制型传感器	10
1.3 能量转换型传感器	20
1.4 光电传感器	31
1.5 半导体传感器	41
1.6 新型传感器	47
第2章 测试系统的特性分析	60
2.1 概述	60
2.2 测试系统的标定	63
2.3 测试系统静态特性的测定	63
2.4 测试系统动态特性的测定	66
2.5 不失真测试的条件	76
2.6 组成测试系统应考虑的因素	77
2.7 项目设计实例	82
第3章 信号分析与处理	84
3.1 信号的分类与描述	84
3.2 信号的时域分析	89
3.3 信号的频域分析	93
3.4 数字信号分析与处理基础	112
3.5 项目设计实例	118

第 4 章	信号转换与调理	123
4.1	电桥	123
4.2	调制与解调	130
4.3	滤波器	139
4.4	项目设计实例	142
第 5 章	测试技术在机械工程中的应用	145
5.1	对应力(应变)、扭矩、流量的测量及应用	145
5.2	机械振动测试及应用	161
5.3	位置、位移的测量	165
5.4	项目设计实例	175
第 6 章	现代集成测试系统及虚拟仪器	177
6.1	现代集成测试系统的组成	177
6.2	现代集成测试系统的特点	178
6.3	虚拟测试技术	179
6.4	智能仪器	184
6.5	网络化测试仪器	186
参考文献		189



绪 论

测试是人们认识客观世界的手段之一,是科学研究的基本方法。人类所从事的各种活动,几乎都与测试技术息息相关。测试技术属于信息科学的范畴,是实验科学的一部分,也是信息技术的三大支柱技术(测试控制技术、计算机技术和通信技术)之一,主要研究各种物理量的测量原理及测试信号的分析 and 处理方法。

0.1 测试技术的内容

测试是测量和试验的简称,是为了获取被测对象基本属性与内在运行规律等有用信息,而对被测对象的物理、化学、工程技术等方面的参量、特性进行数值测定的工作,是取得被测对象定性或定量信息的一种基本方法和途径。

信息是客观事物的时间与空间特性,是无所不在、无时不存的。人们为了某些特定的目的,需要从浩如烟海的信息中把有用的部分提取出来,以观测事物某一本质的问题。信息通过各种测试手段以“信号”的形式表现出来,供人们观测和分析,所以信号是某一特定信息的载体。

信息、信号、测试与测试系统之间的关系可以表述为:测试的目的是获取信息,信号是信息的载体,测试是通过测试系统得到被测参数的信息并以信号的形式表现出来的技术手段。

从广义的角度来讲,测试技术涉及试验设计、模型试验、传感器、信号加工与处理、误差理论、控制工程、系统辨识和参数估计等内容;从狭义的角度来讲,测试技术是指选定激励方式下,所进行的信号检测、变换、处理、显示、记录及电量输出的数据处理工作。

0.2 测试系统的组成

现代测试技术对非电量的检测多采用电测法,即首先通过传感器将非电量转换为电量,然后经过放大、调理、传输、采集、分析处理等环节,将被测参量以数据或图表的形式显示或记录下来。虽然测试对象不同,所用的检测方法和仪器也不同,但是归纳起来,一个完整的测试系统一般由传感器、信号转换与调理电路、信号分析与处理装置、数据显示与记录仪器等模块组成。测试系统的原理与构成可用图 0.1 所示的框图来描述。



图 0.1 测试系统的原理与构成框图

传感器是测试系统中的第一个环节,用于从被测对象获取有用的信息,并将有用信息转换为适合测量的变量或信号。例如,当采用弹簧秤测量物体受力时,其中的弹簧便是一个传感器或者敏感元件,它将物体所受的力转换成弹簧的变形——位移量。又如,当测量物体的温度时,可采用以水银为媒介的温度计作为传感器,将热量或温度的变化转换成汞柱液位亦即位移的变化。同样,也可以采用热敏电阻来测温,此时温度的变化被转换为电参量——电阻率的变化。再如,在测试物体振动时,可以采用磁电式传感器,将物体振动的位移或振动速度通过电磁感应原理转换成电压变化量。由此可见,对于不同的被测物理量要采用不同的传感器,这些传感器的工作原理所依据的物理反应也是千差万别的。对于一个测试任务来说,首要的一步就是能够有效地从被测对象拾取能用于测试的信息,因此传感器在整个测试系统中的作用十分重要。

信号转换与调理电路对传感器输出的信号做进一步的加工和处理,包括对信号的转换、放大、滤波及一些专门的处理。这是因为从传感器出来的信号通常十分微弱,一般为毫伏级或毫安级,而且往往除有用信号外还夹杂有各种有害的干扰和噪声,因此在做进一步处理之前必须将干扰和噪声滤除掉。另外,传感器输出的信号往往具有光、机、电等多种形式,而对信号的后续处理往往都采取电的方式和手段,因而有时必须把传感器输出的信号进一步转换为适宜于电路处理的电信号。通过信号的调理,最终希望获取便于传输、显示和记录以及可做进一步后续处理的信号。

信号分析与处理装置接收来自信号转换与调理环节的信号,并对其进行各种运算、滤波、分析。例如,进行金属切削机床主电动机功率测试时,主电动机的三相交流输入信号经三相隔离采样电路后,形成三相电流,三相电压信号的共地跟踪电压信号,在单片机控制下由 A/D 转换器对其进行多点同步采样,采样得到的数据由 DSP 器件按电工原理计算出被测信号的三相有功功率(数字量),然后将其输出到显示与记录设备,或通过进一步的分析来实现对金属切削过程的监控。

数据显示和记录仪器将调理和处理过的信号用便于人们观察和分析的介质和手段进行记录或显示。目前,常用的显示方式包括模拟显示、数字显示和图像显示。常用的记录仪有笔式记录仪、高速打印机、绘图仪、数字存储示波器、磁带记录仪等。

图 0.1 所示的各个方框中的环节都是通过传感器以及不同的测试仪器和装置来实现的,它们构成了测试系统的核心部分。但需要注意的是,被测对象和观察者也是测试系统的组成部分。这是因为在用传感器从被测对象获取信号时,被测对象通过不同的连接或耦合方式也对传感器产生了影响和作用;同样,观察者通过自身的行为和方式也直接或间接地影响着系统的传递特性。因此,在评估测试系统的性能时必须考虑这两个因素的影响。

测试系统是用来测试被测信号的,被测信号经系统的加工和处理之后在系统的输出端以不同的形式输出。系统的输出信号应该真实地反映原始被测信号,这样的测试过程被称为“精确测试”或“不失真测试”。如何实现一个精确的或不失真的测试?系统各部分应具备什么样的条件才能实现精确测试?这正是现代测试技术所要研究的一个主要问题。

0.3 测试系统在机械工程中的作用和地位

0.3.1 测试系统在机械工程中的作用

在工程技术领域,测试技术的作用有如下几个方面。

① 通过测量生产过程中的有关工艺参数,对生产过程的运行情况进行监控,使之保持在最佳的工作状态;或者对生产设备在运转过程中的有关技术参数进行测量,并对测试结果进行分析,判断设备的工作状态。

② 将生产过程中各种工艺参数的测量结果与要求的数值进行比较,并且根据偏差的范围要求进行反馈,以对工艺参数进行调整和控制,保证生产过程的要求。

③ 根据对工艺过程参数和设备性能参数测试结果的分析评价,找出存在的问题,并提出改进工艺过程和设备性能的措施。在改进措施实施以后,是否达到了改进的效果,仍需进行测试来分析和评定。这些测试结果是工艺过程参数以及设备性能参数进一步改进设计的基础。

④ 通过测试技术手段研究机械系统的响应特性和系统参数以及进行载荷识别,为机械系统的动态设计提供依据。

0.3.2 测试技术在机械工程中的地位

人类从事的社会生产、经济交往和科学研究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地描述自然界。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,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的,可以认为,测试技术能达到的水平,在很大程度上决定了科学技术的发展水平。

同时,测试技术也是工程技术领域中的一项重要技术。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。在自动化生产过程中常常需要用多种测试手段来获取多种信息,来监督生产过程和机器的工作状态并达到优化控制的目的。

在广泛应用的自动控制系统中,测试装置已成为控制系统的重要组成部分。在各种现代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。测试技术已经成为保证现代装备系统的日常监护、故障诊断和有效安全运行不可缺少的重要手段。

0.4 测试系统的发展趋势

伴随着信息技术的飞速发展,现代测试系统在国防工业领域内的地位越来越突出。现代测试系统在装备现代化建设和国民经济持续协调发展过程中均占有重要地位,已经成为装备现代化建设的先行官、国民经济发展的基石。

进入 21 世纪,现代测试系统进入“通用、标准、开放、可扩展”的持续发展阶段,在通用化、快速测试、高精度、小型化、平台化、网络化以及测试数据的管理智能化方面均获得深度发展。

0.4.1 测试系统的通用化

纵观测试系统的发展历程,从某种意义上可以说是不断追求通用性的过程。面对复杂多样的测试需求,如何提升测试系统的通用性,达到持续降低测试系统的开发和维护成本的目的,是一直以来困扰测试系统发展的主要方面。测试系统的通用化已经成为测试系统发展的必然趋势,其中涉及的关键技术包括合成仪器技术、公共测试接口标准化技术、以软件为核心的柔性重构技术。

0.4.2 测试系统的快速高精度化

随着信息化的快速发展,被测件的测试需求不仅复杂性显著提高,而且往往需要结合被测件的实际使用,进行快速精确的多功能多参数综合测试评估。提高测试系统的测试效率并进行快速高精度的测试,一直是测试系统的发展目标之一,目前看来,其主要技术热点包括并行测试技术、高速数据通信技术、高精度系统校准技术。

0.4.3 测试系统的小型化

小型化测试设备具有便携、适应性强等特点,一直备受外场测试与现场维护保障的关注。长期以来,对测试系统小型化的需求一直非常迫切。伴随着微电子技术的快速发展,测试系统小型化趋势越来越突出。在国内,仪器设备制造技术已经处于跨越式发展阶段,特别是 PXI、USB 等模块化仪表设备和综合测试仪器的快速发展,极大地减小和降低了仪表设备的体积和生产成本,同时也促进了测试系统的小型化发展。目前,基于 PXI 体系架构的测试系统已经广泛应用,基于综合测试仪器甚至更小型化的便携式或手持式的测试系统也必将出现并进入市场、得到应用。

0.4.4 测试系统的网络化

网络通信技术的快速发展不仅给装备信息化提供了技术支撑,而且为测试系统的组建注入了新的技术活力。近年来,不仅传统的有线以太网技术日益成熟,而且 WiFi、ZigBee、RFID 与蓝牙等各种无线组网技术也被广泛应用,这就使得测试信息的高速传输、高效处理成为可能。基于有线或无线网络的测试系统不受地域分布限制,“以网络为中心”甚至“以云为中心”进行柔性部署,借助高速网络通道提供测试信息服务,突破高速、协同与并行等测试技术瓶颈,具备组建灵活、便携可移动且性价比高等诸多优点,因而得到了快速发展与推广部署。目前,“网络就是测试系统”,测试系统的网络化日趋明显,众多组网测试系统已经在电子装备的生产制造与使用维修过程中得到了推广应用。

0.4.5 测试数据的智能化管理与重用

伴随着测试系统的推广使用,必然会产生大量的测试数据,这其中的诸多数据信息可以作为共用资源或基础支持数据,应用于被测试对象全生命周期的数据共享与挖掘利用。从这些组织分散、模式多变的测试数据中获取有价值的知识信息,对技术人员和管理人员而言均具有非常重要的意义。从现状来看,用户利用测试系统所收集来的测试数据多数仅仅是形成了测试报表或测试报告。随着测试数据量的逐渐增加以及用户对数据进行分析利用需求的日益迫切,以报表输出为主的传统的数据处理方式很难满足用户对知识信息的获取需求。因此,采用统一的信息格式、规范化的信息交互方式以及标准化的信息接口,借助计算机软件所开展的智能化测试数据管理,越来越受到重视。这样,测试数据的智能化管理与重用也逐渐成为测试系统的发展趋势之一。

当前,测试技术正朝着小型化、通用化、网络化以及测试数据的智能化管理与重用方向发展,测试技术的发展涉及传感器技术、微电子技术、控制技术、计算机技术、信号处理技术、精密机械设计理论等众多技术领域,因此现代科学技术的快速发展为测试技术的进步奠定了坚实的基础,只有不断加强测试技术的研究和开发力度,才能提高我国的测试技术水平,拓宽测试技术的应用领域,不断为我国科学研究和工程技术发展提供技术服务和有力支撑。



复习思考题

- (1) 简述一个测试系统的基本组成及各环节的基本功能。
- (2) 结合机械工程中的实例,谈谈测试系统所处的地位及作用。
- (3) 简述测试系统的发展趋势。

第

章

常用传感器的原理

1.1

概述

工程测量中,通常把作用于被测对象并能按一定方式将其转换成同种或其他量值输出的器件称为传感器。传感器是测量系统的一部分,它把被测对象,如力、位移、温度等物理量转换为易测信号或易传输信号,传送给测试系统的调理环节。因而也可以把传感器理解为能将被测对象转换为与之对应的、易检测、易传输或易处理信号的装置。

1.1.1 组成

通常,传感器是由敏感元件和转换元件组成的(见图 1.1)。敏感元件指传感器中能直接感受被测对象并输出与被测对象成确定关系的其他量(一般为非电量)的部分,如应变式压力传感器的弹性膜片就是敏感元件,它将被测压力转换成弹性膜片的变形。转换元件指传感器中能将敏感元件响应的被测对象转换为适于传输或测量的可输出信号(一般为电信号)的部分,如应变式压力传感器中的应变片就是转换元件,它将弹性膜片在压力作用下的变形转换成应变片电阻值的变化。如果敏感元件直接输出电信号,则这种敏感元件同时也是转换元件,如压电传感器在外力作用下产生电荷输出。

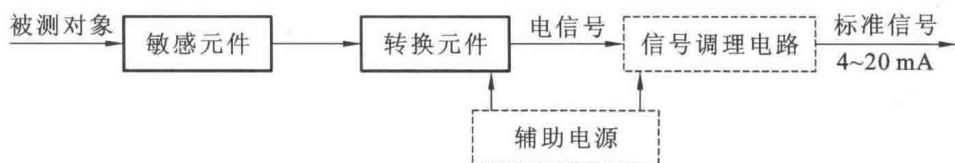


图 1.1 传感器组成框图

由于传感器输出的电信号一般较微弱,而且是非线性的并存在各种误差,为了便于信号的处理,传感器还需要配以适当的信号调理电路,将传感器输出的信号转换成便于传输、处理、显示、记录 and 控制的有用信号,常用的调理电路有电桥、放大器、振荡器、阻抗变换电路、补偿电路等。由于集成电路技术的发展,信号调理电路集成化后,常与传感器组合在一起,构成可直接输出信号的一体化传感器,这是目前传感器技术的主要趋势。

1.1.2 分类

传感器的种类繁多、原理各异,其检测对象几乎涉及各种参数,往往一种物理量可用多种类型的传感器来测量,而同一种传感器也可测量多种物理量。

传感器有多种分类方法,按被测物理量的不同,可分为位移传感器、力传感器、温度传感器等;按传感器工作原理的不同,可分为机械式传感器、电气式传感器、光学式传感器、流体式传感器等;按信号变换特征可概括分为物性型传感器与结构型传感器;按敏感元件与被测对象之间的能量关系,可分为能量转换型传感器与能量控制型传感器;按输出信号分类,可分为模拟式传感器和数字式传感器等。

物性型传感器是依靠敏感元件材料本身物理性质的变化来实现信号转换的传感器。例如利用石英晶体压电效应的压力测力计、利用水银的热胀冷缩变化的水银温度计。

结构型传感器是依靠传感器结构参数的变化而实现信号转换的。例如,电容式传感器依靠极板间距离或介质变化引起电容量的变化。

能量转换型传感器(亦称无源传感器)的输入能量直接来自被测对象,例如热电偶温度计和弹性压力计等,这种情况下,传感器与被测对象之间的能量交换必将导致被测对象状态发生变化而引起测量误差。

能量控制型传感器(亦称有源传感器)是从外部供给传感器能量并使之工作的,而外部供给能量的变化由被测对象来控制。例如,电阻应变计中电阻接于电桥上,电桥工作能量由外部供给,而由被测对象变化引起电阻变化来控制电桥输出。电阻温度计、电容式测振仪等均属于此种类型。

另一种传感器是以外信号(由辅助能源产生)激励被测对象,传感器获取的信号是被测对象对激励信号的响应,它反映了被测对象的性质或状态。例如,超声波探伤仪、X射线衍射仪、 γ 射线测厚仪等。

1.1.3 选用原则

如何根据测试目的和实际条件,合理选用传感器,是测试过程中经常会遇到的问题,因此本节就合理选用传感器的一些注意事项进行简要介绍。

1) 灵敏度

一般来讲,传感器灵敏度越高越好。灵敏度越高,传感器所能感知的变化量越小,此时,当被测量稍有微小变化时,传感器就有较大的输出。然而也应考虑到,灵敏度越高,与测量信号无关的外界干扰也越容易混入。这时就要求系统具有高信噪比,即传感器本身噪声小,且不易从外界引入干扰。当被测量是矢量时,要求传感器在该方向灵敏度越高越好,而在其他方向灵敏

度越低越好。在测量多维矢量时,还应要求传感器的交叉灵敏度越低越好。

2) 响应特性

在所测频率范围内,传感器的响应特性必须满足不失真测量条件。此外,实际传感器的响应总是有一定的延迟,但总希望延迟时间越短越好。一般来讲,利用光电效应、压电效应等的物性型传感器,响应较快,可工作频率范围宽。而结构型,如电感、电容、磁电式传感器等,往往由于结构中的机械系统惯性的限制,其固有频率低,可工作频率较低。特别的,在动态测量中,传感器的响应特性对测量结果有直接影响,在选用时应充分考虑到被测物理量的变化特点(如稳态、瞬变、随机过程等)。

3) 线性范围

任何传感器都有一定的线性范围,在线性范围内输出与输入成比例关系。线性范围越宽,则表明传感器的工作量程越大。传感器工作在线性区域内,是保证测量精度的基本条件。例如,机械式传感器中的测力弹性元件,其材料的弹性极限是决定测力量程的基本因素。当超过弹性极限时,测试结果将产生线性误差。

然而,任何传感器都不容易保证其绝对线性,在允许的前提下,可以在其近似线性区域内应用。例如,变隙型电容、电感传感器,均采用在初始间隙附近的近似线性区域内工作。因此选用时必须考虑被测物理量的变化范围,令其线性误差在允许范围以内。

4) 可靠性

可靠性是仪器、装置等产品在规定的条件下和时间内完成规定功能的能力,是传感器和一切测量装置的生命。而完成规定的功能是指产品的性能参数(特别是主要性能参数)均处在规定的误差范围内。

为了保证传感器的高可靠性,须事先选用设计、制造良好,使用条件适宜的传感器;使用过程中,应严格规定使用条件,应特别注意工作环境因素(如温度、湿度、灰尘、油污及电磁干扰等)对传感器特性的影响,同时也要充分考虑长时间使用情况下传感器物性参数的改变。

5) 精确度

传感器的精确度表示传感器的输出与被测量真值一致的程度。传感器处于测试系统的输入端,其能否真实地反映被测量值,对整个测试系统具有直接影响。然而,在追求传感器精确度的同时,还应考虑到经济性,即应从测试目的出发来选择能满足测试需求的成本适宜的传感器。具体来讲,首先应了解测试目的,判断是定性分析还是定量分析。如果是属于相对比较型的定性试验研究,只需要获得相对比较值即可,无须要求绝对值,那么应要求传感器精密度高。如果是定量分析,必须获得精确量值,则要求传感器有足够高的精确度。例如,为了研究超精密切削机床运动部件的定位精确度、主轴回转运动误差、振动及热变形等,往往要求测量精确度在 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 范围内,欲测得这样的量值,必须采用高精度的传感器。

6) 测量方法

传感器在实际条件下的工作方式,例如,接触式与非接触式测量、在线与非在线测量等,也是选用传感器时应考虑的重要因素。工作方式不同,对传感器的要求也不同。

在机械系统中,运动部件的测量(例如回转轴的运动误差、振动、扭力矩的测量),往往需要非接触式测量。因为对部件的接触式测量不仅易造成对被测系统的影响,且有许多实际困难,

诸如测量头的磨损、接触状态的变动、信号的采集等,这些问题都不易妥善解决,也易造成测量误差。采用电容式、涡流式等非接触式传感器,则会很方便。

在线测试是与实际情况更接近一致的测试方式,特别是自动化过程的控制与检测系统,必须在线测试是比较困难的,对传感器及测试系统都有一定特殊要求。例如,在加工过程中,若要实现表面粗糙度的检测,以往的光切法、干涉法、触针式轮廓检测法都不能运用,取而代之的是激光检测法。实现在线测试的新型传感器的研制,也是当前测试技术发展的一个方向。

7) 其他

选用传感器时除了应充分考虑以上一些因素外,还应尽可能兼顾结构简单、体积小、重量轻、价格便宜、易于维修、易于更换等条件。

1.1.4 发展趋势

一方面,传感器技术在科学研究、工农业生产、日常生活等许多方面发挥着越来越重要的作用;另一方面,人们的应用需求对传感器技术又提出了越来越高的要求,推动着传感器技术不断向前发展。总体来说,传感器技术的发展趋势表现在以下六个方面。

1. 传感器性能的改善

传感器产生的信号多为微弱信号且易掺杂干扰信号,因此可以采用不同技术从原理上放大信号,从统计学的角度对信号进行预处理或者直接采用相关技术抑制各种干扰以及增加传感器稳定性等。这些技术包括差动技术、平均技术、补偿与修正技术、屏蔽、隔离与干扰抑制技术以及稳定性处理等。

2. 开展基础理论研究

对新原理、新材料、新工艺的研究将促成更多品质优良的新型传感器的诞生,如光纤传感器、液晶传感器、以高分子有机材料为敏感元件的压敏传感器、微生物传感器等。各种仿生传感器和检测超高温、超低温、超高压、超高真空等极端参数的新型传感器,也是今后传感器技术研究和发展的重要方向。

3. 传感器的集成化

传感器的集成化分为两种情况:一是具有同样功能的传感器的集成化,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一个面的测量,如利用电荷耦合器件形成的固体图像传感器来进行文字或图形识别;二是不同功能的传感器的集成化,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,常见的如温湿度传感器将温度和湿度的检测功能集成在一起。除了传感器自身的集成化外,还可以把传感器和相应的测量电路集成化,这有助于减少干扰、提高灵敏度和方便使用。

4. 传感器的智能化

传感器与微处理器、模糊理论与知识集成等技术的结合,使传感器不仅具有检测功能,还具有信息处理、逻辑判断、自我诊断以及“思维”等人工智能,这就是传感器的智能化。传感器的智能化

表现为它用微处理器作控制单元,利用计算机可编程的特点,使仪表内各个环节自动地协调工作,使传感器兼有检测、判断、数据处理和故障诊断功能,从而将检测技术提高到一个新的水平。

5. 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融合的强烈应用需求,传感器的网络化得以快速发展,主要表现为两个方面:一是其能较好地解决现场总线的多样性问题;二是以 IEEE 802.15.4 (ZigBee)为基础的无线传感器网络技术得以迅速发展,它是物联网发展的关键技术之一,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,在众多领域具有广泛的应用前景。

6. 传感器的微型化

随着 MEMS 技术的迅速发展,微传感器得以迅速发展。微传感器利用集成电路工艺和微组装工艺,基于各种物理效应将机械、电子元件集成在一个基片上。与宏传感器相比,微传感器的结构、材料、特性乃至所依据的物理作用原理均可能发生改变,微传感器由于具有体积小、重量轻、功耗低和可靠性高等非常优越的技术指标而被广泛使用。

1.2 能量控制型传感器

能量控制型传感器,也称有源传感器,是由外部供给能量使传感器工作的,并且由被测量来控制外部供给能量的变化。根据敏感元件的不同,可将能量控制型传感器分为电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器等。

1.2.1 电阻式传感器

电阻式传感器种类繁多,应用广泛,常用来测量力、位移、应变、扭矩、加速度等,其基本原理是将被测信号的变化转换成传感元件电阻值的变化,再经过转换电路将电阻值的变化转换成电压信号输出。下面以当前常见的电阻应变式和半导体应变式两种电阻式传感器为例进行介绍。

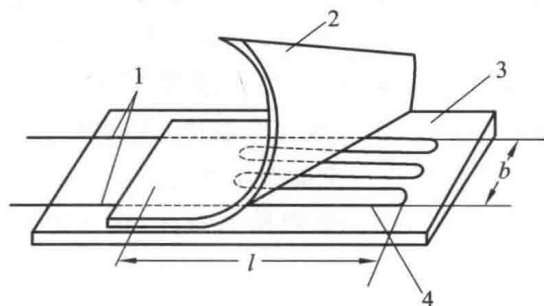


图 1.2 电阻应变片的基本结构

1—引线;2—覆盖层;3—基片;4—电阻丝

1. 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器的核心元件是电阻应变片。当被测件或弹性敏感元件受到被测量作用时,将产生位移、应力和应变,粘贴在被测件或弹性敏感元件上的电阻应变片就会将应变转换成电阻的变化。这样,通过测量电阻应变片电阻值的变化,可以测得被测量的大小。

1) 电阻应变式传感器的结构与分类

图 1.2 所示为一种电阻应变片的结构。电阻

应变片是用直径为 0.025 mm、具有高电阻率的电阻丝制成的。为了获得高的阻值,将电阻丝排成栅状,称为敏感栅,并粘在绝缘基片上。敏感栅上面粘贴具有保护作用的覆盖层。电阻丝的两端焊接引线。

根据敏感栅的材料和制造工艺的不同,电阻应变片分为丝式、箔式和膜式三种,如图 1.3 所示。

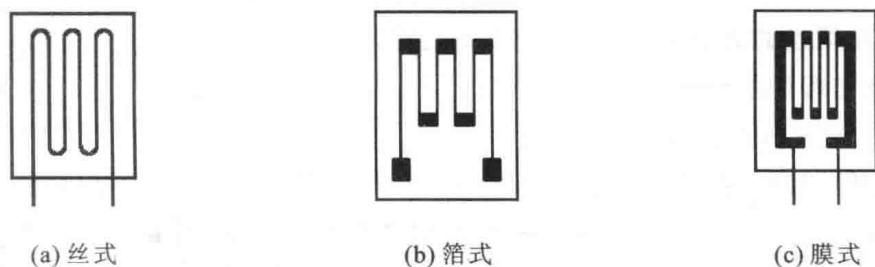


图 1.3 电阻应变片

2) 电阻应变式传感器的工作原理

金属导体在外力作用下产生机械变形(伸长或缩短)时,其电阻值会随着变形而发生变化,这种现象称为金属的电阻应变效应。以金属丝应变片为例,若金属丝的长度为 l ,横截面积为 A ,电阻率为 ρ ,其未受力时的电阻为 R ,根据欧姆定律,有:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1-1)$$

当金属丝发生变形时,其长度 l ,横截面积 A 及电阻率 ρ 均会发生变化,导致金属丝电阻 R 变化。当各参数以增量 dl , dA 和 $d\rho$ 变化时,则所引起的电阻增量为:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial l} dl + \frac{\partial R}{\partial A} dA + \frac{\partial R}{\partial \rho} d\rho \quad (1-2)$$

式中, $A = \pi r^2$, r 为金属丝半径。

将 $A = \pi r^2$ 代入式(1-2),有:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} - 2 \frac{dr}{r} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1-3)$$

式中, $\frac{dl}{l} = \epsilon$ 为金属丝的轴向应变; $\frac{dr}{r}$ 为金属丝的径向应变。

由材料力学知识可知:

$$\frac{dr}{r} = -\mu \frac{dl}{l} = -\mu \epsilon \quad (1-4)$$

式中, μ 为金属丝材料的泊松比。

将式(1-4)代入式(1-3),整理得:

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu)\epsilon + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1-5)$$

$$\text{令 } S_0 = \frac{dR/R}{\epsilon} = (1 + 2\mu) + \frac{d\rho/\rho}{\epsilon} \quad (1-6)$$

式中, S_0 称为金属丝的灵敏度,其物理意义是单位应变所引起的电阻相对变化。