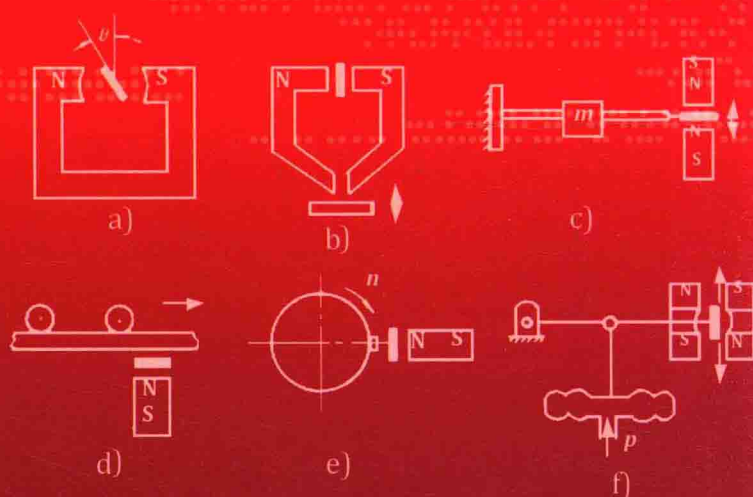


应用型本科汽车类专业规划教材

汽车工程 测试技术

麻友良 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

应用型本科汽车类专业规划教材

汽车工程测试技术

主 编 麻友良

副主编 丁礼灯 席 敏

机械工业出版社

本书内容主要包括测试技术概述、测量技术基础、测量误差分析及数据处理、信号分析基础、传感器原理、测量电路原理、非电量测量及计算机测试系统等。本书在测试技术基础理论方面把握必需和够用的原则,对测试技术应用方面的知识则较为系统全面,以便给读者在测量仪器和测量方法的选用、测量过程和测量结果与数据的处理等方面提供尽可能多的帮助。

本书可作为车辆工程、汽车服务工程、交通运输、机械与自动化、汽车维修、汽车技术服务与营销及其他非电类专业本科和高职高专学生学习工程测试技术课程的教材,也可作为工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车工程测试技术/麻友良主编. —北京:机械工业出版社, 2016. 8
应用型本科汽车类专业规划教材
ISBN 978-7-111-53832-5

I. ①汽… II. ①麻… III. ①汽车-测试技术-高等学校-教材
IV. ①U467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 138186 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:赵海清 责任编辑:赵海清 丁 锋
责任校对:刘秀芝 刘怡丹 封面设计:路恩中
责任印制:乔 宇
北京富生印刷厂印刷
2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·10.75 印张·246 千字
0001—3000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-53832-5
定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前言

工程测试技术是现代社会工程领域中的一门基础性技术,从其目的和效用看,工程测试技术实际上是如何获取信息的技术。在当今信息时代,人们的日常生活、商品流通、生产制造、交通运输、电子通信、生物工程、军事技术及宇宙科学等领域都离不开测试技术,因此,工程测试技术已成为工科学生必修的基础课程。本书以工程测试技术在汽车领域的应用为主要内容,介绍了汽车工程测试技术的基本理论和基本技术。

本书可作为车辆工程、汽车服务工程、交通运输、汽车维修工程等专业的测试技术课程教材,在内容组织上以相关专业学生构建专业知识结构所必需与够用为原则,力求知识面系统全面、深度适宜。教材共分八章,各章的主要内容如下。

第一章 概论:信息与信号、测量与检测等的定义;机械工程领域中信息的表达形式;测量的类型及测试技术的现状与发展。

第二章 测试技术基础:测试系统的基本组成及对测量装置的基本要求,测试系统的静态特性和动态特性;频率响应、阶跃响应在系统动态分析中的实际意义。

第三章 测量误差分析与数据处理:误差的基本概念及随机误差的基本特征;随机误差的计算方法、标准误差的含义和在误差分析中的作用;系统误差、粗大误差的特征,系统误差和粗大误差来源及发现与消除方法;测量数据的处理与表示方法。

第四章 信号分析基础:动态信号的基本类型;傅里叶级数与傅里叶积分对动态信号分解的物理意义;时域、频域的概念及在时域、频域中信号物理量的含义,周期信号、非周期信号及随机信号的分析方法。

第五章 传感器:传感器的类型与发展概况;各类传感器的结构特点、工作原理及适用的检测物理量。着重介绍电阻应变式传感器原理、电涡流式传感器的类型与原理、电容类传感器的类型与测量原理、压电式传感器的测量原理及等效电路、磁电式传感器的类型与工作原理以及热电式传感器的测量原理。

第六章 测量电路:测量电路的作用与基本类型;各类电桥的作用、直流电桥的电路原理,交流电桥的平衡条件,平衡电桥的测量原理;滤波电路的作用与类型;实际滤波器与理想滤波器的差别、实际滤波器的基本参数;放大器的作用与原理,载波放大和相敏检波的作用与原理。



第七章 测试技术的应用：力、位移、转速、温度等物理量测量的基本概念及基本原理；测量力、位移、转速、温度等物理量的传感器原理。

第八章 计算机测试技术简介：计算机测试系统的组成与特点；智能仪器的组成、类型与特点；虚拟仪器的概念与特点；网络化仪器的组成与特点等。

在编写本书时，考虑了非电类专业专科教学的需要，高职高专院校师生使用本教材时可根据教学大纲和教学时数等实际情况，对教学内容进行适当的增减。

本书由武汉科技大学麻友良教授主编，丁礼灯、席敏任副主编，参加编写的有麻友良（第一章、第三章、第五章、第七章）、丁礼灯（第二章、第四章第一节～第三节）、席敏（第四章第四节、第六章）、张进（第八章第一节、第二节）、金杭（第八章第三节）、丁华斌（第八章第四节）等。

在编写本书过程中，我们参阅了大量的书籍和资料，从中得到了许多的启发和帮助，借此向这些作者表示感谢。

由于水平所限，书中难免会有不妥和错误之处，恳望读者予以指正。

编 者

目录

前言

第一章 概论..... 1

第一节 工程测试技术的基本概念..... 1	1
一、信息与信号..... 1	1
二、测量与测试..... 4	4
三、检测与检测技术..... 4	4
第二节 测量对象信息的表达形式与测量方法... 5	5
一、测量对象信息的表达形式..... 5	5
二、测量方法..... 6	6
第三节 测试技术的现状与发展..... 7	7
一、传感器技术的现状与发展..... 8	8
二、测试技术的应用领域与发展概况..... 9	9
思考题..... 11	11

第二章 测试技术基础..... 12

第一节 测试系统的基本组成与要求..... 12	12
一、测试系统的基本组成..... 12	12
二、测试系统的基本要求..... 13	13
第二节 测试系统的输出特性..... 14	14
一、测试系统的静态特性..... 15	15
二、测试系统的动态特性..... 16	16
思考题..... 26	26

第三章 测量误差分析与数据处理..... 27

第一节 误差的基本概念..... 27	27
一、误差的表示方法..... 27	27
二、误差的来源..... 28	28
三、误差的分类..... 29	29
四、精度的表示方法..... 29	29
第二节 随机误差的基本特征及计算方法... 30	30
一、随机误差统计直方图..... 30	30

二、随机误差的分布与特征..... 31	31
三、标准误差与概率积分..... 32	32
四、随机误差的计算方法..... 33	33
五、误差传递函数..... 36	36
第三节 系统误差..... 38	38
一、系统误差的分类..... 39	39
二、系统误差对测量结果的影响..... 39	39
三、系统误差的发现..... 40	40
四、系统误差的消除..... 43	43
五、粗大误差的发现与消除..... 44	44
第四节 测试数据的处理及表示方法..... 45	45
一、有效数字..... 45	45
二、测试数据的表示方法..... 46	46
三、一元线性与非线性回归..... 48	48
思考题..... 55	55

第四章 信号分析基础..... 57

第一节 信号分析概述..... 57	57
一、信号分析的作用与方式..... 57	57
二、测试信号的分类..... 57	57
第二节 周期信号分析..... 59	59
一、周期信号的傅里叶级数..... 59	59
二、周期信号的数字特征（平均值、 均方值、相关函数）..... 62	62
第三节 非周期信号分析..... 63	63
一、非周期信号的傅里叶积分..... 63	63
二、非周期信号的能量谱密度和相关函数... 65	65
第四节 随机信号分析..... 66	66
一、随机信号的基本概念..... 66	66
二、随机信号的均值、均方值和均方差... 66	66
三、随机信号的概率密度函数..... 67	67

四、随机信号的相关函数与功率谱密度函数	68	一、信号的调制	116
思考题	69	二、信号的解调	117
第五章 传感器	71	思考题	119
第一节 概 述	71	第七章 测试技术的应用	120
一、传感器组成及类型	71	第一节 力的测量	120
二、传感器的基本要求与特性标定	73	一、力的测量原理	120
第二节 电阻类传感器	73	二、测力传感器	122
一、电位计(变阻器)式传感器	74	三、压力的测量	124
二、电阻应变式传感器	77	四、转矩的测量	126
三、其他电阻类传感器	80	第二节 位移的测量	128
第三节 电感类传感器	82	一、位移测量的特点与类型	128
一、自感式电感传感器	82	二、测位移传感器	128
二、互感式电感传感器	84	三、位移测量示例	131
三、电涡流式传感器	86	第三节 转速的测量	133
第四节 电容类传感器	87	一、转速的测量方法	133
一、变极板间隙式电容传感器	87	二、测转速传感器	134
二、变极板面积式电容传感器	88	第四节 温度的测量	137
三、变介电常数式电容传感器	90	一、温度的测量原理	137
第五节 发电类传感器	92	二、测温度传感器	138
一、压电式传感器	92	思考题	146
二、光电式传感器	93	第八章 计算机测试技术简介	147
三、磁电式传感器	96	第一节 计算机测试系统的组成	147
四、热电式传感器	97	一、计算机测试系统的构成与特点	147
五、霍尔效应式传感器	98	二、多路模拟开关	148
思考题	100	三、模/数转换与数/模转换	149
第六章 测量电路	101	四、采样保持	150
第一节 电桥	101	第二节 智能仪器	151
一、直流电桥	101	一、智能仪器概述	151
二、交流电桥	104	二、智能仪器的功能模块	152
三、变压器电桥	106	第三节 虚拟仪器	155
四、平衡式电桥	107	一、虚拟仪器概述	155
第二节 滤波器	107	二、虚拟仪器的基本组成	156
一、理想滤波器	107	三、LabVIEW 虚拟仪器开发系统	158
二、实际滤波器	108	第四节 网络化测试系统	159
第三节 放大器	111	一、网络化测试系统概述	159
一、运算放大器	112	二、基于现场总线技术的网络化测控系统	160
二、电压放大器	113	三、基于 Internet 的网络测控系统	161
三、电荷放大器	115	思考题	162
第四节 调制与解调	116	参考文献	164

第一章

概 论

第一节 工程测试技术的基本概念

在工程上,采用测试仪器或测量工具进行测量,其目的就是要获取相关的信息(被测对象的某个数据),因此,工程测试技术也就是如何获取信息的技术。

一、信息与信号

1. 信息

(1) 信息的定义 提起“信息”,大家是再熟悉不过了,因为在日常生活和工作中,我们经常与“信息”打交道,现代社会也被称之为信息社会。例如,我们会耳闻目睹“交通信息”“气象信息”“招聘信息”等,此外,大学里有“信息与传媒”“电子信息工程”等带着“信息”字眼的学院或系,并且有“信息与计算科学”“电子与信息工程”等与信息相联系的专业。“信息”虽然是现代人最熟悉的名词之一,但信息究竟是什么?至今尚无统一的定义。

目前比较明确和一致的认识是,将信息定义为“事物运动的状态和方式”,这里的“事物”和“运动”是广义的。该定义从正面回答了什么是信息,即“信息就是事物运动的状态和方式”。人们认识了“事物运动的状态与方式”,也就获取了信息。

控制论创始人之一,美国科学家维纳(N, Wiener)在1948年出版的《控制论—动物和机器中的通信与控制问题》一书中指出,“信息就是信息,不是物质,也不是能量”,这将信息与物质和能量区分开来。

信息论的奠基人,美国科学家山农(C. E. Shannon)在“通信的数学理论”一文中,把信息定义为“熵的减少”。熵是不定性程度的度量,因此,信息是用来“减少或消除不定性”的。该定义从信息的效用角度,帮助人们更好地认识信息,减少信息究竟是什么的疑问。

(2) 信息的性质 从以上信息的定义,我们对信息有了初步的认识,下面通过了解信息的基本性质来进一步认识信息。



1) 信息可识别性。信息可以通过人的感官直接识别,比如,看到某人脸部表情,可识别其表现出的喜、怒、哀、乐;信息可以通过测量等方法间接识别,比如,通过汽车发动机转速表的示值,可识别发动机转速的高低。

2) 信息可转换性。信息可以有多种表现方式,各种表现方式可以互相转换,比如,某生产状况信息可以用语言、文字、图像和图表等不同的方式来表示;信息可以转换为计算机代码、广播和电视等电信号,而代码、电信号又可转换为语言、文字、图像等。

3) 信息可存储性。人的大脑神经细胞可以记忆许多东西,即人脑储存有信息;计算机可通过存储器(内存、硬盘)及磁盘、光盘存储信息;录音机、照相机及录像机可通过磁带、存储卡存储信息。

4) 信息可传输性。人与人之间可通过语言、表情、动作等传递信息;社会信息可通过报纸、电视、广播传输;测试过程可借助机械、声、光、电等传递信息。

信息的这些基本性质决定了信息具有共享性和永恒性,只要物质世界存在,信息就无所不在、取之不尽,信息永不会枯竭。

(3) 信息的作用 与物质和能量一样,信息也是一种资源,是人类生活、生产及进一步发展所不可或缺的。

物质向人类活动提供各式各样的材料,能量向人类活动提供各种形式的动力,而信息提供给人类的则是无穷无尽的知识 and 智慧。

为更好理解信息的作用,我们通过两个实例来说明物质、能量和信息这三种资源的相互关系及信息在这三者中所起的作用。

1) 导弹防御系统。导弹防御系统通过雷达监视防御空间,当有敌方导弹入侵时,雷达就将所监测到的目标位置、运动状态和方向转换为电信号,并通过通信系统传递给防御控制中心,控制中心对雷达系统提供的电信号进行分析处理后,得到了目标的坐标、方位、运动速度、加速度等参数,并计算出拦截导弹的发射参数,然后输出控制信号,控制武器系统发射拦截导弹。导弹发射后,控制中心又根据雷达发回的误差信息及时调整导弹的飞行参数,直到拦截成功。在这个导弹防御系统中,物质(雷达、计算机、导弹等)和能量(雷达系统、控制中心、导弹及导弹发射系统工作所需的能量),在信息(敌方导弹飞行参数和拦截导弹飞行参数)的配合下完成了导弹拦截,信息在这里起到了“灵魂”的作用。

2) 汽车发动机电子控制系统。汽车发动机电子控制系统根据各相关传感器的电信号计算得到发动机转速、负荷、温度及其他相关的参数,并输出控制信号,控制喷油器、电子点火器等执行器工作,将发动机的空燃比、点火时间调整至最佳状态,以充分发挥发动机的动力性,降低油耗和排气污染。在这个汽车发动机电子控制系统中,同样说明了信息与物质和能量是三位一体、相辅相成的关系,以及信息的“灵魂”作用。

2. 信息系统

信息系统包括信息的发布、信息的传输及信息的接收。信息系统可以用广义的通信系统来表示,如图 1-1 所示。

信源:即信息的来源,许多信息需要经过转换,并由信息发送器发送出去。

信道:即信息的传送通道,信息经信道传送过程中,可能会受到噪声的干扰。



图 1-1 广义通信系统组成

信宿：即信息的接收者，为了能够接收信息或提高接收信息的能力，通常需要进行信息的转换，由信息接收器接收。

无线通信系统、测试系统、自动控制系统等均可看成是一个信息系统。

(1) 无线通信系统 无线通信系统的信源、信道和信宿说明如下。

对无线通信系统来说，人的大脑思维活动是信源，通过语言发出信息，语言通过拾音器转换为电信号，再经调制后从天线发射出去。

拾音器、调制器与天线系统组成了信息的发送器。电波通过空气传播，空气就是无线通信系统的信道。

接收端的天线接收电波，并经解调、滤波、放大等处理后，再由扬声器转换为声音，被接听者（信宿）感知。接收天线、解调、滤波、放大等电路及扬声器等组成了信息的接收器，使人能听到远方传来的声音，并经大脑的思维分辨，获得相应的信息。

(2) 测试系统 在测试系统中，被测对象的状态参量或状态变化参量由传感器转变为电信号，并输入测量电路（中间变换器），测量电路对输入的电信号进行处理后输送给显示器（或记录仪、计算机等），显示（或记录）相应的参量，供人读取以获得被测对象的状态或状态变化信息。

在这个测试系统中，被测对象是信源，传感器是信息的转换器，测量电路及传输线路是信道，显示器（记录仪、计算机等）是信息的接收器，测量者是信宿。

(3) 自动控制系统 在自动控制系统中，被控对象的状态参量或状态变化参量由传感器转变为电信号，经信号处理电路对电信号进行相应的处理后输送到控制器，控制器对输入的电信号进行计算分析与比较，以获得被控对象的相关信息，并输出控制信号，经驱动电路控制相应的执行器工作，将被控对象的状态参量调整到设定的值。

在这样一个自动控制系统中，被控对象是信源，传感器是信息转换器，传感器信号处理电路和传输导线是信道，控制器是接收信息的信宿，而控制器与执行器之间的线路及执行器驱动电路则是这个“信息系统”中的逆向信道。

3. 信号

前面已多次提到了“电信号”。在日常生活中我们也会接触到许多信号。在城市街道的交叉路口上，可以看到交通信号灯发出的通行信号（绿灯亮）或停止通行信号（红灯亮）；行驶的汽车会发出该车转向信号（转向灯闪光）、制动信号（制动灯亮起）等。显然，从信号中我们可以获得相关的信息。那么信号与信息有什么区别和联系呢？

从前面信息的定义中可知，信息不是物质，也不是能量，信息是非物理性的。信号实际上是信息的载体，它具有物理性，具有能量。比如，汽车转向灯闪光所发出的转向信号使我们得到了该汽车要转向这个信息，而转向灯是物质，转向灯发出的闪光是一种光能，由灯泡消耗电能所获得。



二、测量与测试

1. 测量

(1) 测量的定义 我们经常会与“测量”打交道,比如,体检时需要测量一下身高体重、血压等,在化学实验室测量化学试剂的酸碱度,电工实验用万用表测量电路的电流或电压,生病时医生护士会给我们测量体温。我们对“测量”一词是再熟悉不过了,但要用文字确切地表述什么是测量,可能会答不上来。实际上,对测量的解释有几种不同的说法。

定义之一:测量就是利用仪器、工具,采用一定的方法从对象中获取定性或定量的“数据”(信息)的过程。

定义之二:测量是将被测量与标准量比较,得到被测量相对于标准量倍数的过程。

定义之三:测量是人们借助于仪器、工具等扩展获取信息的渠道、提高感知信息的能力的有效手段。

从上述对测量的不同定义中,我们对什么是测量有了比较明确的认识:测量的目的是要从被测对象(信源)获取所需的信息;测量需要使用工具和仪器,采用适当的方法;通过测量增加了获取信息的渠道,提高了感知信息的能力。

(2) 测量的过程与结果 人们通过一个具体的测量过程得到一个测量的结果,并从测量的结果中获得相关的信息。

1) 测量过程。测量过程包括选择、比较、读数和感知。以测量电压过程为例,选择:根据测量对象选择交流电压表或直流电压表,并调整好适当的量程;比较:测量时,电压表指针摆动或显示数字,这实际上就是与标准量“伏特”进行比较的过程;读数:从电压表的示值读取数据;感知:这是人类大脑的思维过程,根据读取的数据判断电压的高低、电路是否有故障等。对于有些测量,其感知过程可能需要对数据进行适当的分析处理才能获得明确的信息。

2) 测量结果。测量结果包括数值的大小和测量单位,数值的大小大都以数字表示,也可能是曲线(如示波器显示电压波形)、图形(显示器显示直方图、比例图等)。

2. 测试

通常我们将具有研究性、探索性、论证性的测量过程叫作测试。测试不包括简单的测量,比如,用卷尺量一下桌子的高度、用电压表测一下电路的电压等测量过程都不称之为测试。

测试过程通常需要对测量结果进行分析处理,以获得更为明确的信息,从而达到试验的目的。

三、检测与检测技术

1. 检测

检测如同测试,也包括测量及测量结果的分析处理。一些测试技术教材以“检测技术”命名。如果一定要区别检测与测试有什么区别的话,“检测”则更侧重于以检查为目的的测量,因此,一些测量过程称其为“检测”比“测试”要合理些。比如,用于汽车故障诊断



的测量通常称其为“检测”而不是“测试”。专门用于对汽车进行安全性、排放情况及性能测量的车间称之为“汽车检测站”，如果叫“汽车测试站”听起来就会觉得有点不顺耳了。

2. 检测技术

检测（测试）是为了获取相关的信息，因此检测技术（测试技术）就是如何获取信息的技术。现代测试技术主要包括三个方面。

1) 信息的转换技术。从被测对象中获取的信息往往不容易识别，需要将其转换为容易识别、分析和处理的物理量（通常是电信号），这就是传感器技术，它在测试技术中最为关键。

2) 信号处理技术。对传感器输出的电信号进行处理，使其成为方便显示和记录的信号，并要求信号处理过程不产生失真。

3) 信息显示技术。将从被测对象中获取的信息以某种方式显示出来，或通过计算分析显示更为明确的信息。

第二节 测量对象信息的表达形式与测量方法

一、测量对象信息的表达形式

人类表达信息的形式有语言、动作、发出某种声音（哭、笑、喊、叹等）和面部表情等，世间万物表达信息的形式千千万万。在这里，我们只是对工程测量中所要遇到的测量对象其信息表达形式做一归纳。

1. 以机械量表达的信息

(1) 位移及位移速度方面的信息表示 被测对象的位移、线速度、角速度、线加速度和角加速度等，表达被测对象空间位移、移动（转动）的速度及速度变化的信息。

(2) 几何形态方面的信息表示 被测对象的长度、厚度、直径、间距和倾角等，表达被测对象的几何形态、空间位置等信息。根据这些基本信息，通过计算分析可得到被测对象的面积、体积、形状和空间位置分布等信息。

(3) 力及力的作用方面的信息表示 被测对象的力、应力、应变、力矩、重量、功率和振动等，表达被测对象受（施）力大小及方式等信息。

2. 以热工量表达的信息

(1) 温度与压力方面的信息表示 被测对象的温度、压力、压差等，表达被测对象的温度、压力的大小及温度和压力对应关系等信息。

(2) 气态和液态流动信息表示 被测对象的流量、流速、容量和流态等，表达气态或液态被测对象的流动情况及占有空间大小等信息。

3. 以电工量表达的信息

(1) 电路电压与电流方面的信息 被测对象的电压、电流、阻抗和功率等，表达被测对象电路结构、电功率输入与输出等信息。

(2) 电信号动态变化方面的信息 被测对象的频率、相位、波形和频谱等，表达被测

电信号的变化周期、滞后情况、频率成分等信息。

(3) 电磁场方面的信息 被测对象的磁场强度、电场强度、磁导率等,表达被测对象产生磁场(电场)的强度或受磁场(电场)影响的程度、磁路磁阻情况、磁通量等信息。

4. 以物性成分表达的信息

(1) 物态及化学成分方面的信息 被测对象的气态、液态、固态及化学成分等,表达被测对象的物态、化学成分及物态和化学成分改变情况等信息。

(2) 物性成分方面的信息 被测对象的浓度、黏度、密度等,表达被测对象的物性成分及物性改变情况等信息。

(3) 酸碱度、颜色及表面粗糙度等方面的信息 被测对象的酸碱度、颜色、表面粗糙度等,也可表达被测对象物性及物性变化情况等信息。

5. 以状态表达的信息

(1) 机械状态方面的信息 被测对象处于某种机械状态所表达的信息。

(2) 异常 被测对象出现某种异常现象所表达的信息。

二、测量方法

不同的测量对象,使用不同的测量工具和测量设备,测量方法也有多种。下面通过不同的分类方法来概括各种测量方法。

1. 按被测对象所处的状态分

(1) 静态测量 被测对象的被测参量在测量的时间内不变或变化很缓慢(其变化可以忽略)的测量过程为静态测量。比如,用温度计测量体温属于静态测量;用激光干涉仪监测建筑物的缓慢沉降也是一种静态测量。

(2) 动态测量 被测对象的被测参量随时间和(或)空间变化的测量过程为动态测量。比如,用示波器测量汽油发动机的点火电压是一种动态测量;用雷达监测飞行物的方位、飞行速度与方向等也是动态测量。

2. 按被测参量是否转换分

(1) 直接测量 用预先标定好的仪器对被测对象进行测量,直接读取被测量的测量方法称为直接测量,如图 1-2 所示。



图 1-2 直接测量

用电压表测量电路中的电压属于直接测量,汽车修理中用百分表测量发动机气缸直径也是直接测量。直接测量的特点是简便、直观、速度快,适用于现场观测和被测对象为稳态情况下的测量,不适于动态测量,可测量的范围较小。

(2) 间接测量 间接测量是指用传感器将被测量转换为另一种物理量的测量方法,间接测量的一般过程如图 1-3 所示。

间接测量通常通过传感器将被测量转化为电量,再经中间(测量)电路对电信号进行处理后由显示器或记录仪等显示或记录测量结果。这种也被称之为电测技术的测量方法具有



图 1-3 间接测量

如下优点。

- ① 可以对被测参量进行连续自动的记录。
- ② 电参量可以远距离传送，便于远距离测量和控制。
- ③ 可实现动态参量甚至瞬态参量的测量。
- ④ 可与计算机联机，进行数据的自动运算分析和处理。

3. 按测量与显示方式不同分

(1) 偏位式 测量时，以偏离零位的数值来反映被测量。这种测量方法其仪表内并没有标准量具，而是以标准量进行标定的刻度和根据被测量大小摆动相应角度的指针。偏位式测量方法的特点是简便、速度快，因此被广泛地应用于工程测量中。偏位式测量方法其精度取决于仪表系统标定的准确性，实现高精度的测量相对较为困难。

(2) 零位式 测量时，使测量系统平衡（使指针指向 0），用已知的标准量表示被测量。零位式测量方法其仪表内部设有标准量具，其精度取决于标准量的精度，因而容易实现高精度的测量，但在测量中需进行调平衡操作，测量过程较为复杂，花费时间相对较长。一些零位式测量装置设置了自动调平衡系统，但受反应速度的限制，只适用于被测量不变或缓慢变化的测量。

(3) 微差式 微差式是综合了偏位式和零位式的一种测量方法。测量时，先使被测量与测量装置内部的标准量取得大体的平衡，不平衡的微小差别则用偏位方式指示，其测量值为标准量值加微差示值。微差式测量方法反应速度较零位式快，测量精度较偏位式高。

4. 按是否接触被测对象分

(1) 接触式测量 测量工具或测量仪器的测量探头、传感器等与被测对象接触的测量。比如，用温度计测量体温、将温度传感器伸入发动机冷却液中测量发动机温度、用万用表测量电路中的电压或电阻等，均属接触式测量。

(2) 非接触式测量 测试装置的传感器与被测对象有一定的空间距离的测量。比如，用电涡流式测厚仪测量钢板的厚度、用雷达监测飞机的方位和飞行速度等均属非接触式测量。

第三节 测试技术的现状与发展

测试技术与科学研究、工程实践密切相关，凡是需要了解“事物运动状态与方式”并做定性或定量描述时均离不开测试。现代科学技术的发展离不开测试技术，而科学技术的发展又对测试技术提出了更高的要求，现代科学技术的发展本身又促进了测试技术的完善和不断提高。

现代科学技术迅猛发展对测试技术的促进作用主要体现在两个方面，一是传感器技术的完善与提高，二是计算机技术在测试技术领域的广泛使用。

一、传感器技术的现状与发展

在测试系统中,传感器的作用是将被测对象的状态和方式(被测物理量)转化为电量(信号),它是测试系统的基础。传感器技术是现代测试技术发展水平的重要体现。

早期的传感器技术以结构型传感器为主,其基本特征是以结构的部分变化或变化后引起场(力场、电场、磁场)的变化来反映被测量。比如电容式传感器和电感式传感器,其信号转换形式为:被测量的变化(移动)→传感器结构的部分变化→电场(或磁场)变化→电容量(或电感量)变化→测量电路的电压或电流变化,电压或电流的变化反映了被测量的改变。

结构型传感器能够转换的被测量极为有限,物性型传感器的出现和迅速发展,才使测试技术有了今天的重要地位。物性型传感器利用敏感材料本身的物性随被测量的改变而变化的特性将被测量转变为相应的电信号。根据其敏感材料敏感特性的不同,物性型传感器有热敏、光敏、压敏、磁敏、湿敏、声敏、色敏、味敏和化学敏等。

有了物性型传感器,使得测试技术的应用领域和可测试的对象变得非常广泛。虽然敏感材料的种类有限,但由敏感材料构成的传感器可以有很多。这是因为同一种敏感材料可以用于转换不同的被测物理量,即使是转换同一种被测物理量也可以用作不同的用途。比如,压敏元件可做成振动传感器、压力传感器、测力传感器等;又如,以热敏材料做成的温度传感器在汽车上可用作发动机温度传感器、排气温度传感器、空调蒸发器温度传感器、车内温度传感器和车外温度传感器等。

测试技术进一步发展的关键是传感器技术的发展,现代传感器技术发展主要体现在如下三个方面。

(1) 新的敏感材料的开发与应用 新敏感材料有新型晶体、陶瓷、高分子材料、超导体、光导纤维、液晶、生物功能材料、凝胶和稀土金属等,以及被称为“智能材料”的形状记忆合金、具有自增殖能力的生物体等。这些敏感材料的开发与使用,不仅使可测量的范围扩大了,也使传感器的集成化、小型化、更高性能及智能化成为可能。

此外,随着材料性能控制技术的逐渐成熟,原来以敏感材料的特性设计传感器的思路将会转变为按传感器的要求来合成所需的敏感材料。这样,传感器测量范围的扩大、性能的提高将更加迅速。

(2) 结构小型化、更轻便 如前所述,新的敏感材料的出现,使得传感器从结构型转向了物性型。随着电子技术、微加工技术和集成化工艺等的发展,集成化传感器开发应用成为热点之一。新型传感器结构向着小型化、轻便及器件与电路一体化的方向发展,使其适用性得到进一步提高。

(3) 高精度、智能化 随着科学技术的发展和对测试技术要求的提高,对传感器则提出了更高精度和智能化的要求。集成化传感器可以是同一功能的敏感元件排列成不同的阵列,以适应高精度和不同被测量的需要;也可以是不同功能的敏感元件集成在一起,组成可同时测量不同参量的传感器;或者是传感器与测量电路集成在一起,使传感器具有信号处理、温度补偿等自动调整功能。



二、测试技术的应用领域与发展概况

1. 测试技术应用领域

在技术研究与开发、自动化生产、产品质量与性能检验等都需要用测试技术来获取信息、传输信息、显示与储存信息。测试技术的应用范围相当广泛，我们将其归纳为四个方面。

(1) 产品的质量和性能评价 在产品的生产过程中，通过对部件或半成品的检测，以剔除不合格的部件或半成品，确保产品的质量；一些产品出厂前的最后一道工序是对产品质量是否合格、性能是否达标进行检测，以确保出厂的是合格产品；有关的质检部门对某些产品进行抽查，或对某个有争议的产品进行检测，以对该产品的质量和性能做出评价。

(2) 生产线或设备的自动控制 自动生产线上，通过测量取得与运行条件有关的信息，实现生产线的自动运行控制；具有自动控制功能的设备，则是通过测试手段获得被控制对象的相关状态参数，实现设备的自动控制功能。

(3) 判断设备或部件的故障 一些设备运行是否正常、有无故障出现，需要通过测量某些状态参量，并与标准量进行比较后才能做出准确的判断；某些设备的部件需要用专门的检测设备，通过测量获得相关的检测参数才能判断该部件是否有故障。

(4) 科研验证实验 在科学研究中，通常需要通过实验过程测得相关的数据，以取得未知的信息，或论证研究方案、研究结果的正确与否。

2. 测试技术类型

为适应不同的测试对象、满足不同的测试要求，测试设备和测试方法多种多样。除了用测试装置接触被测对象进行测量的普通测试方法外，测试技术还有如下几种类型。

(1) 非接触检测技术 这是一种测试设备不接触被测对象的测量方法。非接触式测量可实现因距离远而无法接触被测对象的测量，比如用雷达测试系统监测飞机的飞行情况；可对运动的被测对象进行测量，比如用车速监测仪检测道路上行驶车辆的车速、用光电式测矩仪检测转动轴的转矩等。非接触式检测方法不但可用于远距离测量和运动对象的测量，还具有测量操作简单、测量速度快等优点。其缺点是达到高精度的测量较为困难。

(2) 无损检测技术 检测部件内部结构或损伤情况但对部件不造成损伤的测量方法。无损检测技术通过磁力探伤、核磁共振等方法将被测对象内部相关的信息显现出来，以实现无损检测。

(3) 在线检测技术 测试系统连续工作，对工作过程中的被测量对象进行不间断的监测。自动生产线、自动控制设备中通过在线检测以实现自动控制。

(4) 多功能检测技术 检测设备综合多项测试功能，可同时或按步骤进行多个被测参量的测量。比如，汽车检修中使用的发动机不解体检测仪，可用于发动机转速、功率、点火电压和点火提前角等多项检测，这不但使检测方便迅速，还可对各检测参量进行综合分析，以获得所需的检测结果。

(5) 智能化检测技术 智能化的检测系统能进行自动校正，信号转换方式能自动切换，可根据需要自动对测量参数进行统计分析，能自动按设定的程序完成所需的检测。



(6) 仿生物检测技术 根据某些生物原理设计的检测方法,以满足生物工程中的一些测量和其他领域某些较为特殊被测量的测量。

3. 测试技术的发展

现代测试技术发展的另一个显著特点是计算机技术融入了测试系统。计算机作为测试系统的重要组成部分,承担了系统的信号采集、分析和处理及其他的重要工作,使得测试系统同时进行多个测试项目变得非常简单,确保多项目同时测量的实时性、同步性也很容易。

计算机测试技术的发展主要体现在测试系统硬件的发展和实验仪器系统软件环境的发展,多功能的综合测试系统、自动测控系统、智能化仪器、虚拟仪器及网络化仪器已成为现代测试技术发展的主要趋势。

(1) 综合测试系统 由计算机测试系统组成的综合测试系统如图 1-4 所示。该测试系统可对多个被测参量进行同步测量,并能进行实时信号分析和数据处理。

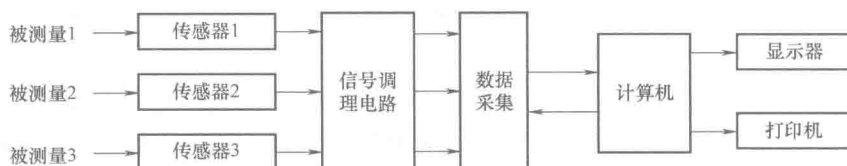


图 1-4 综合测试系统

(2) 自动测控系统 以计算机为控制中心的自动控制系统如图 1-5 所示。该系统通过传感器将被控对象的状态参量转换为相应的电信号,并输送给计算机,实现对被控对象运行状态的实时监测;计算机根据传感器输入的信号判断出被控设备的运行状态,需要时,输出控制指令,通过执行器调整被控设备的运行状态。



图 1-5 自动测控系统

(3) 新型仪器开发应用 计算机硬件与传统测量仪器的完美结合,及计算机软件资源的开发利用,使得智能化仪器、虚拟仪器及网络化仪器得到了迅速的发展。

智能化仪器能够完成一些需要人类智慧才能完成的工作,比如量程的选择、零位校正、数据的存储与处理、显示方式等由仪器中的微处理器自动控制。所谓虚拟仪器是带有数据采集卡的计算机利用软件在显示器上显示某种仪器的虚拟面板,并在计算机程序的控制下进行数据采集、运算、分析和处理,完成仪器测量的全过程。网络化仪器则是将计算机、高档外设和通信线路等硬件资源以及大型数据库、程序、数据和文件等软件资源纳入网络,以实现资源共享的测试系统。

测试技术未来的发展将是新型传感器进一步开发应用、计算机测试系统越来越多地应用于综合检测设备和自动控制设备、新型仪器更加成熟并被广泛使用。