

机械设计制造及其自动化专业本科系列教材

# 传感器与测试技术

## CHUANGANQI YU CESHI JISHU

主 编 周传德  
副主编 宋 强 文 成



重庆大学出版社  
<http://www.cqup.com.cn>

# 传感器与测试技术

主 编 周传德  
副主编 宋 强 文 成  
编 委 刘成俊 王 见 韩玉坤 尹爱军  
彭 浩 王立新 王 春 韩妹娟

重庆大学出版社

## 内容提要

本书充分吸收了编者多年的教学经验和相关教学资料的优点,着重于物理概念和工程应用的阐述,重点突出,条理清晰,内容符合教学大纲的要求。全书包括测试系统的构成、测试系统的基本特征、传感器定义及分类、常规传感器原理及应用、新型传感器原理及应用、传感器的发展趋势及选用原则、信号分析基础、信号调理、数字信号处理、振动测试、噪声测试、机械参量测试和传感器在工业中的应用等 13 章。

本书可作为高等学校机械类、自动化类及相关专业本科生的教材和参考书,也可供从事机械工程测试工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

传感器与测试技术/周传德主编. —重庆:重庆大学出版社,2009.6

(机械设计制造及其自动化本科系列教材)

ISBN 978-7-5624-4884-6

I. 传… II. 周… III. 传感器—测试技术—高等学校—教材 IV. TP212.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 083437 号

## 传感器与测试技术

主编 周传德

副主编 宋 强 文 成

责任编辑:王维朗 文 鹏 李定群 版式设计:王维朗

责任校对:张洪梅 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (营销中心)

全国新华书店经销

重庆科情印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:21.25 字数:530 千

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4884-6 定价:35.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 前言

设计、工艺和检测是机械工程三大组成部分,在工业自动化、机械制造信息化和创新型人才培养中,测试技术及相关课程起着极为重要的作用。我国自1978年将“测试技术”课程列入机械专业类教学计划以来,测试技术及测试技术课程进行了多次大面积更新,随着科学技术的飞速发展和自动化、机械工程学科的教学改革,为满足普通应用性本科新的需要,编写出版本教材。

本书共分为13章,系统地论述了测试系统及其基本特性;介绍了测试系统中传感器的结构、基本原理和典型应用,以及传感器的发展趋势、选用原则等;讲解了“信号处理”,包括测试系统中的信号调理与数据采集,信号处理和数字信号处理基础等;还专门讲述了“典型测试系统”,包括振动、噪声、机械参量、工业自动化等测试系统的构建与应用。教材从测试系统基本理论与传感器原理、特点及应用领域,信号分析方法物理含义、特点及应用,到典型测试系统的构建、应用与分析进行深入浅出的阐述,力求使读者对测试系统有一个“一体化”的完整理解。

本书由重庆科技学院周传德任主编并对全书统稿,安阳工学院宋强、重庆科技学院文成任副主编,重庆科技学院刘成俊、重庆大学王见、安阳工学院韩玉坤、重庆大学尹爱军、重庆科技学院彭浩、安阳工学院王立新、重庆科技学院王春、安阳电子信息学校韩妹娟任编委。本书是在以上教师通力合作下完成的。

本书在编写过程中吸取了相关教材和参考书的优点,力求能反映传感器与测试技术的最新发展状况。本书可作为高等院校“机械工程及自动化”“机械设计”“机械电子工程”“车辆工程”“测试技术与仪器”“能源动力”和其他相近专业的教材,也可供从事测试技术的科技人员参考。

由于编者水平有限,且时间紧迫,未能广泛汇集意见,恳切希望教师、学生和读者对本书的内容编排、材料取舍以及书中的错误、欠妥之处提出批评、指正和修改意见。

编者

2009年2月

# 目 录

第1章 测试系统的构成 .....	1
1.1 测试技术的任务和重要性 .....	1
1.2 测试系统的构成 .....	2
1.3 测试标准体系 .....	6
习题与思考题 .....	7
第2章 测试系统的基本特征 .....	8
2.1 测试系统的主要特性 .....	8
2.2 测试系统的静态特性 .....	9
2.2.1 静态传递方程与定度曲线 .....	9
2.2.2 灵敏度 .....	10
2.2.3 线性度 .....	10
2.2.4 回程误差 .....	11
2.2.5 稳定性 .....	11
2.3 测试系统的动态特性 .....	12
2.3.1 测试系统动态传递特性的时域描述 .....	12
2.3.2 测试系统动态传递特性的频域描述 .....	13
2.3.3 测试系统动态特性参数的识别 .....	14
2.4 测试系统不失真传递信号的条件 .....	18
2.5 测试系统的抗干扰 .....	19
习题与思考题 .....	22
第3章 传感器定义及分类 .....	23
3.1 传感器的定义 .....	23
3.2 传感器的组成 .....	24
3.3 传感器的分类 .....	25
习题与思考题 .....	25
第4章 常规传感器原理及应用 .....	26
4.1 电阻式传感器 .....	26
4.1.1 电位器式电阻传感器 .....	26

4.1.2	应变片式电阻传感器 .....	32
4.2	电感式传感器 .....	43
4.2.1	自感式传感器 .....	43
4.2.2	差动变压器式传感器 .....	49
4.2.3	电涡流式传感器 .....	52
4.2.4	感应同步器 .....	55
4.3	电容式传感器 .....	58
4.3.1	工作原理和结构类型 .....	58
4.3.2	转换电路 .....	63
4.3.3	电容式传感器的应用 .....	65
4.4	压电式传感器 .....	68
4.4.1	压电效应 .....	68
4.4.2	压电传感器的等效电路和测量电路 .....	70
4.4.3	压电式传感器的应用 .....	72
4.5	磁电式传感器 .....	74
4.5.1	磁电感应式传感器工作原理 .....	75
4.5.2	磁电感应式传感器基本特性 .....	76
4.5.3	磁电感应式传感器的测量电路 .....	78
4.5.4	磁电感应式传感器的应用 .....	78
4.6	热电式传感器 .....	79
4.6.1	热电偶温度传感器 .....	80
4.6.2	热电阻温度传感器 .....	86
4.6.3	热敏电阻温度传感器 .....	90
4.7	光电传感器 .....	93
4.7.1	光源与光的特性 .....	94
4.7.2	光电效应 .....	94
4.7.3	光电式传感器的类型 .....	101
4.7.4	光电编码器 .....	103
4.7.5	固态图像传感器(CCD) .....	105
4.8	霍尔式传感器 .....	107
4.8.1	霍尔效应 .....	107
4.8.2	霍尔元件结构及测量电路 .....	109
4.8.3	霍尔元件基本特性 .....	110
4.8.4	霍尔式传感器的应用 .....	112
	习题与思考题 .....	114

<b>第 5 章 新型传感器原理及应用</b> .....	116
5.1 激光传感器 .....	116
5.1.1 激光产生的原理 .....	116
5.1.2 激光的特性 .....	117
5.1.3 激光器及其特性 .....	117
5.1.4 激光探测器的应用 .....	118
5.2 光纤传感器 .....	119
5.2.1 光纤的结构 .....	120
5.2.2 传光原理 .....	121
5.2.3 光纤的种类 .....	121
5.2.4 光纤传感器分类 .....	122
5.2.5 光纤传感器的应用 .....	124
5.2.6 光纤传感器的发展趋势 .....	125
5.3 智能传感器 .....	126
5.3.1 概述 .....	126
5.3.2 智能传感器实现的途径 .....	128
5.3.3 智能传感器的发展前景 .....	131
5.4 MEMS 传感器 .....	133
习题与思考题 .....	135
<b>第 6 章 传感器的发展趋势及选用原则</b> .....	136
6.1 传感器的发展现状 .....	136
6.2 传感器的发展趋势 .....	137
6.3 传感器改善性能的途径 .....	138
6.4 传感器选用原则 .....	139
习题与思考题 .....	141
<b>第 7 章 信号分析基础</b> .....	142
7.1 信号的分类 .....	142
7.1.1 信号的概念及其描述方法 .....	142
7.1.2 信号分类 .....	143
7.2 信号分析中的常用函数 .....	145
7.2.1 正弦信号 .....	145
7.2.2 单位冲激信号( $\delta$ 函数) .....	146
7.2.3 单位阶跃函数 .....	147
7.2.4 sinc(t) 函数 .....	147
7.3 信号的时域分析 .....	148
7.3.1 均值 .....	148
7.3.2 均方值 .....	148
7.3.3 方差 .....	148

7.3.4	波形图	149
7.4	信号的幅值域分析	149
7.4.1	概率密度函数	149
7.4.2	概率分布函数	150
7.4.3	直方图分析	150
7.5	信号的频域分析	151
7.5.1	频域分析中的基本概念	152
7.5.2	周期信号的频谱	154
7.5.3	非周期信号的频谱	158
7.5.4	随机信号的频谱	167
7.5.5	频域分析的应用	170
7.6	信号的相关分析	171
7.6.1	相关函数	171
7.6.2	相关函数的性质及物理含义	172
7.6.3	随机信号的相关函数与其频谱的关系	174
7.7	卷积及卷积定理	174
7.7.1	卷积的定义	174
7.7.2	卷积定理	175
7.8	时频联合分析方法简介	177
7.8.1	短时傅里叶变换	177
7.8.2	小波分析	178
	习题与思考题	180
<b>第8章</b>	<b>信号调理</b>	<b>182</b>
8.1	放大电路	182
8.1.1	反相放大器	183
8.1.2	同相放大器	183
8.1.3	差动放大器	183
8.1.4	交流放大电路	184
8.1.5	电荷放大器	185
8.1.6	测量放大器	186
8.1.7	隔离放大器	187
8.2	电桥	187
8.2.1	直流电桥	187
8.2.2	交流电桥	190
8.3	调制与解调	191
8.3.1	调制的类型	191
8.3.2	调幅及其解调	192



8.4 滤波器	195
8.4.1 滤波器的分类	195
8.4.2 理想滤波器	196
8.4.3 实际滤波器	196
8.4.4 无源滤波器	197
8.4.5 有源滤波器	199
习题与思考题	200
<b>第9章 数字信号处理</b>	<b>202</b>
9.1 数据采集	202
9.1.1 数据采集系统的基本组成	202
9.1.2 数据采集系统的主要性能指标	204
9.1.3 采样过程与采样定理	205
9.2 离散傅里叶变换	211
9.2.1 离散傅里叶变换(DFT)	211
9.2.2 快速傅里叶变换(FFT)	212
9.3 DFT 变换过程中的问题	213
9.3.1 FFT 的谱分析极限	213
9.3.2 频率混叠现象及其抑制	214
9.3.3 信号的截断与泄漏	216
9.3.4 常用窗函数及其特性	219
习题与思考题	220
<b>第10章 振动测试</b>	<b>221</b>
10.1 振动测试方法	221
10.1.1 振动测试基本方法	221
10.1.2 测振系统的定度和校准	236
10.1.3 测试方案的制订和测试系统的选择	238
10.2 机械阻抗测试系统	242
习题与思考题	244
<b>第11章 噪声测试</b>	<b>245</b>
11.1 噪声测试方法	245
11.1.1 声学基本概念	245
11.1.2 噪声的物理度量	246
11.1.3 多声源噪声级合成、扣除和平均	248
11.1.4 噪声的频谱分析	252
11.1.5 噪声的主观评价	253
11.2 噪声测量仪器及应用	257
11.2.1 传声器	257

11.2.2	声压测量仪器 .....	259
11.2.3	声强测量 .....	261
	习题与思考题 .....	263
<b>第 12 章</b>	<b>机械参量测试</b> .....	<b>265</b>
12.1	转速、扭矩与功率测试 .....	265
12.1.1	转速测量 .....	265
12.1.2	扭矩测量技术 .....	270
12.1.3	功率测量 .....	274
12.2	应力应变测试 .....	279
12.2.1	应变测量技术 .....	279
12.2.2	应力测量 .....	284
12.3	流量压力测量 .....	285
12.3.1	流量测量概述 .....	285
12.3.2	流量测量传感器 .....	285
12.3.3	压力测量技术 .....	291
<b>第 13 章</b>	<b>传感器在工业中的应用</b> .....	<b>298</b>
13.1	传感器在工业机器人中的应用 .....	298
13.1.1	零位和极限位置的检测 .....	299
13.1.2	位移量的检测 .....	299
13.1.3	速度、加速度的检测 .....	300
13.1.4	外部信息传感器在电弧焊机器人中的应用 .....	301
13.2	传感器在 CNC 机床与加工中心中的应用 .....	303
13.2.1	传感器在位置反馈系统中的应用 .....	303
13.2.2	传感器在速度反馈系统中的应用 .....	304
13.2.3	传感器在位置检测中的应用 .....	305
13.3	传感器在三坐标测量机中的应用 .....	306
13.3.1	三坐标测量机的传感检测系统 .....	306
13.3.2	三坐标测量机的测量探头 .....	307
13.4	传感器在汽车机电一体化中的应用 .....	309
13.4.1	汽车用传感器 .....	311
13.4.2	传感器在发动机中的典型应用 .....	315
13.4.3	传感器在汽车空调系统中的应用 .....	318
13.4.4	公路交通用传感器 .....	319
13.5	传感器在炼钢转炉监测中的应用 .....	322
	习题与思考题 .....	324
	<b>参考文献</b> .....	<b>325</b>

# 第 1 章

## 测试系统的构成

### 1.1 测试技术的任务和重要性

测试是人们从客观事物中提取所需信息,借以认识客观事物,并掌握其客观规律的一种科学方法。在测试过程中,需要选用专门的仪器设备,设计合理的实验方法和进行必要的数据处理,从而获得被测对象有关信息及其量值。广义来看,测试属于信息科学的范畴。简单来说,信息的载体称为信号,信息则蕴涵于信号之中。信息总是通过某些物理量的形式表现出来,这些物理量也就是信号。例如,单自由度质量-弹簧系统的动态特性可以通过质量块的位移-时间关系来描述,质量块位移的时间历程就是信号,它包含着该系统的固有频率和阻尼比等特征参数,也就是所需要的信息。分析采集到的这些信息,就可以掌握这一系统的动态特性。

测试技术包含了测量 (measurement) 和试验 (test) 两方面的含义。机械工程测试的对象是机械系统 (包括各种机械零件、机构和部件) 及其组成部分 (包括与机械系统有关的电路、电器等)。机械工程测试过程包括测量、试验、计量、检验、故障诊断等过程。测量的基本任务有两个:①提供被测对象 (如产品) 的质量依据;②提供机械工程设计、制造、研究所需的信息。因此,设计、工艺、测试三者共同构成了机械工程的三大技术支柱,从设计、制造、运行、维修到最终报废,都与机械测试与测量密不可分。现代机械设备的动态分析设计、过程检测控制、产品的质量检验、设备现代化管理、工况监测和故障诊断等,都离不开机械测试,机械测试是实现这些过程的技术基础。同时,测试技术还是进行科学探索、科学发现和技术发明的手段。

根据信号的物理性质,可以将其分为电信号和非电信号。例如,随时间变化的力、位移、速度、加速度、温度、应力等属于非电信号,而随时间变化的电流、电压则属于电信号。这两者可以借助于换能器装置相互转换。在测试过程中常常将被测的非电信号通过相应的传感器转换成电信号,以便于传输、调理(放大、滤波)、分析处理和显示、记录等。

从机械结构动力学分析的角度看,测试技术的任务又可归结为研究系统的输入(激励)、输出(响应)、系统本身的特性(系统函数或传递函数)和它们三者之间的相互关系:

1) 已知激励、响应,求系统的动态特性(传递函数),用以验证系统特性的数学模型。在

工程模型试验方面,可进行产品的动态设计、结构参数设计和模型特征参数的研究等。

2) 已知系统的特性(传递函数)和响应(输出),求激励(输入),用以研究载荷或载荷谱。某些工程系统(如火箭、车辆、井下钻具等)的载荷(如阻力、风浪等)很难直接测得,设计这些系统时往往凭经验和假设,因此误差较大,而采用参数识别的方法能准确地求得载荷。为此目的而组成的测试系统称为载荷识别系统,它为产品的优化设计提供了依据。

3) 由已知的测量系统对被测系统的响应进行测量分析(即数据采集分析系统),被测量可以是电量,也可以是非电量。该系统的功用是测量响应的大小、频率结构和能量分布等,也可用于计量、系统监测以及故障诊断等。

当系统响应超过其特定输出时,控制装置的功能将调整被测系统的参数,使响应(输出)改变,从而使系统工作在最佳响应状态或使系统按规定的指令工作。这种响应控制系统常用于参数的自动测量与控制。

随着科学技术水平的不断提高和生产技术的高速发展,机械工程测试技术也随之向前迈进,卡式仪器、总线仪器、集成仪器、智能控件化虚拟仪器直至网络仪器等,不断地丰富、拓展着测试领域的测试手段。此外测试系统的体系结构、测试软件、人工智能测试技术等也有很大的发展。仪器与计算机技术的深层次结合产生了全新的测试仪器的概念和结构。近年来,计算机技术在现代测试系统中的地位显得越来越重要,软件技术已成为现代测试系统的重要组成部分。当然,计算机软件不可能完全取代测试系统的硬件。因此,现代测试技术要求从事测试科技的人员不仅要具备良好的计算机技术基础,更要求深入掌握测试技术的基本理论和方法。

在现代测试技术中,通用集成仪器平台的构成技术、数据采集技术、数字信号分析处理软件技术是决定现代测试仪器系统性能与功能的三大关键技术。以软件化的虚拟仪器和虚拟仪器库为代表的现代测试仪器系统与传统测试仪器相比较的最大特点就在于:用户可在集成仪器平台上按自己的要求开发相应的应用软件,构成自己所需要的实用仪器和实用测试系统,仪器及系统功能不再限于厂家的束缚。特别是当测试仪器系统进一步实现网络化以后,仪器资源将得到很大的延伸,其性价比将获得更大的提高,机械工程测试领域将出现一个更加蓬勃发展的新局面。

## 1.2 测试系统的构成

测试系统的概念是广义的,在测试信号的流通道中,任意连接输入输出并具有特定功能的部分,均可视为测试系统。系统的特性不可避免地会给流经系统的信号带来影响,进而影响测试结果的精度和可靠性。建立测试系统的概念并掌握系统的基本特性对于正确选用测试系统、校准测试系统以及提高测试的准确性尤为重要。

系统是由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成并具有特定功能的整体。测试系统的特定功能是对研究对象进行具有试验性质的测量,以获取研究对象的有关信息。通常,测试需要用试验装置使被测对象处于某种预定的状态下,将被测对象的内在联系充分地暴露出来以便进行有效的测量。然后,通过传感器拾取被测对象所输出的特征信号并使其转换成便于测量的物理量或电信号,再经后续电路和仪器进行传输、变换、放大、运算等使之成为易于处理和记录的信号。这些变换器件和仪器,统称为测量装置。经测量装置输出的信号需要进一步由

数据处理装置进行数据处理,以排除干扰、估计数据的可靠性以及抽取信号中各种特征信息等。最后将测试、分析处理的结果记录或显示,得到所需要的信息。上述由被测对象、试验装置、测量装置、数据处理装置、显示记录装置组成的具有测试功能的整体是最一般的测试系统。图 1.1 所示为测试系统的基本构成。

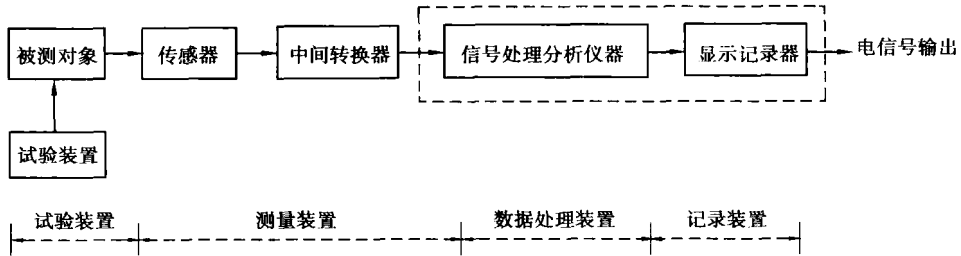


图 1.1 测试系统的基本结构

测试系统中,传感器是测量装置与被测量之间的接口,处于测试系统的输入端,完成被测量的感知和能量转换,其性能直接影响着整个测试系统,对测量精确度起着主要的作用。一般来说,传感器由转换机构和敏感元件两部分组成。前者将一种机械量转变为另一种机械量,后者则将机械量转换为电量,其核心部件是敏感元件。有些结构简单的传感器只有敏感元件部分。经传感器输出的电信号分为两类:一类是电压、电流或电荷;另一类是电阻、电感或电容等电参数。这些电信号通常比较微弱或者不适合直接分析处理,因此传感器往往与配套的前置放大器或者其他电子元件组成专用的测量电路连接,最终输出幅值是便于分析处理的电压信号,这就决定了传感器和前置放大器或测量电路存在着密不可分的特性。另外,由于被测机械量种类繁多,加之同种物理量不仅可以用多种不同转换原理的传感器来检测,而且同一转换原理也可以用于不同测量对象的传感器,因此传感器具有多样性。如加速度计按其敏感元件不同,就有压电式、应变式和压阻式等多种;应变式传感器有应变式位移传感器、应变式加速度计和应变式拉压力传感器等,在这些传感器中,位移、加速度和拉压力等先由不同原理的转换机构转变为应变,再被应变敏感元件——应变计转换为电信号。表 1.1 汇总了机械工程常用传感器的基本类型。

表 1.1 机械工程常用的传感器的基本类型

类型	传感器名称	变换原理	被测量
机械类	测力杆	力—位移	力、力矩
	测力环	力—位移	力
	纹波管	压力—位移	压力
	波登管	压力—位移	压力
	纹波薄皮	压力—位移	压力
	双金属片	温度—位移	温度
	微型开关	力—位移	物体尺寸、位置、有无
	液柱	压力—位移	压力
	热电偶	热—电位	温度

续表

类型	传感器名称	变换原理	被测量
电阻类	电位计 电阻应变片 热敏电阻 气敏电阻 光敏电阻	位移—电阻 变形—电阻 温度—电阻 气体浓度—电阻 光—电阻	位移 力、位移、应变、加速度 温度 可燃气体浓度 开关量
电感类	可变磁阻电感 电涡流 差动变压器	位移—自感 位移—自感 位移—互感	力、位移 测厚度、位移 力、位移
电容类	变气隙、变面积型电容 变介电常数型电容	位移—电容 位移—电容	位移、力、声 位移、力
压电类	压电元件	力—电荷 电压—位移	力、加速度
光电类	光电池 光敏晶体管 光敏电阻	光—电压 光—电流 光—电阻	光强等 转速、位移 开关量
磁电类	压磁元件 动圈 动磁铁	力—磁导率 速度—电压 速度—电压	力、扭矩 速度、角速度 速度
霍尔效应类	霍尔元件	位移—电势	位移—转速
辐射类	红外 X射线 γ射线 β射线 激光 超声	热—电 散射、干涉 射线穿透 射线穿透 光波干涉 超声波反射、穿透	温度、物体有无 厚度、应力 厚度、探伤 厚度、成分分析 长度、位移、角度 厚度、探伤
流体类	气动 流量	尺寸、间隙—压力 流量—压力差、转子 位置	尺寸、距离、物体大小 流量

作为一个重要的测试单元,传感器必须首先在它的工作频率范围内满足不失真测试的条件,在选择和使用传感器时还应该注意传感器对微弱信号要有足够的感知度,通常用灵敏度、分辨力等技术指标表示传感器对微弱信号的感知度。灵敏度高意味着传感器能检测信号的微小变化,但高灵敏度的传感器更容易受噪声的干扰,其测量范围也较窄。所以,同一种传感器常常做成一个序列,有高灵敏度而测量范围较小的,也有测量范围宽而灵敏度较低的,使用时要根据被测量的变化范围(动态范围)并留有足够的余量来选择灵敏度适当的传感器。其次,传感器的输出量与被测量真值要有足够的一致性,精密度和精确度是评价一致性的技术指标,精确度越高,其价格也越高,对测量环境的要求也越高。因此,应当从实际出发,选择能满足测

量需要并有足够精确度的传感器。另外传感器应该有高度的可靠性,能长期完成它的功能并保持其性能参数不变,同时传感器在与被测对象建立连接关系时,传感器与被测物之间的相互作用要小,应尽可能减小其对被测对象运行状态以及特性参数的影响。关于各类传感器工作原理、变换电路与应用等,将在具体测量系统中详细介绍。

由于测试对象、测试目的和具体要求的不同,实际的测试系统可能会有很大的差异,测试系统可以十分简单,也可以相当复杂。例如,温度测试系统可以由被测对象和一个液柱式温度计构成,也可以组成复杂的自动测温系统。从图 1.1 所给出的一般测试系统中的各个装置来看,它们各自具有独立的功能,是构成测试系统的子系统。信号从发生到分析结果的显示,流经各子系统并受子系统特性的影响而发生变化。研究测试系统的基本特性,可以是测试系统中的某个子系统甚至是子系统中的某个组成环节的基本特性,如测量装置或测量装置的组成部分(如传感器、放大器、中间变换器、电器元件、芯片、集成电路等)可以视为研究对象。因此,在研究测试系统的基本特性时,测试系统的概念是广义的,在信号流经传输通道中,任意连接输入、输出并有特定测试功能的部分均可视为测试系统。

基于广义测试系统的观点,测试系统是连接输入、输出的某个功能块,尽管测试系统的组成各不相同,但我们总可以将其抽象和简化。如果把功能块简化为一个方框表示测试系统,并用  $x(t)$  表示输入量,用  $y(t)$  表示输出量,用  $h(t)$  表示系统的传递特性,则输入、输出和测试系统之间的关系可用图 1.2 表示。

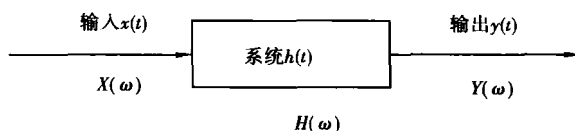


图 1.2 测试系统及其输入和输出

$x(t)$ 、 $y(t)$  和  $h(t)$  是三个彼此具有确定关系的量,当已知其中任何两个量,便可以推断或估计第三个量,这便构成了工程测试中需要解决的三个方面的实际问题:

- 1) 系统辨识:输入  $x(t)$ 、输出  $y(t)$  能观测,可推断系统的传递特性  $h(t)$ 。
- 2) 响应预测:输入  $x(t)$  能观测,系统的传递特性  $h(t)$  已知,可估计输出  $y(t)$ ,也称为系统分析。
- 3) 载荷识别:输出  $y(t)$  能观测,系统的传递特性  $h(t)$  已知,可推断输入  $x(t)$ ,此即滤波与预测。

从输入到输出,系统对输入信号进行传输和变换,系统的特性将对输入信号产生影响,因此,要使输出信号真实地反映输入的状态,测试系统必须满足一定的性能要求。一个理想的测试系统应该具有单一的、确定的输入输出关系,而且系统的特性不应随时间的推移发生改变。当系统的输入输出之间成线性关系时,分析处理最为简便。满足上述要求的系统,是线性时不变系统,具有线性时不变特性的测试系统为最佳测试系统。

在工程测试实践和科学实验活动中,经常遇到的测试系统大多数属于线性时不变系统。一些非线性系统或时变系统,在限定的范围与指定的条件下,也遵从线性时不变的规律。线性时不变系统的分析方法已经形成了完整的、严密的体系,而非线性系统与时变系统的研究还未能总结出令人满意的、具有普遍意义的分析方法。故在动态测试中,要作非线性校正还存在一定的困难。

### 1.3 测试标准体系

测试的目的是从测试信号中提取所需的特征信息,即测试结果中哪些信息是所需要的,因此需要用某种方式来说明我们的测试结果。国家标准体系对这方面也有规定。测试标准体系的主要功能和作用,可以概括为下列6个方面:

①统一全国的术语、符号、标志、信息分类编码及技术制图等,为各个行业提供准确一致的技术语言。工农业生产、国防建设、科研教育乃至社会活动和人民群众生活都需要准确一致的技术语言。如统一的概念及其定义,统一的图形符号,统一的安全标志,统一的产品代码以及统一的计量单位,以便于大家互相交流和统一理解。

②统一规定涉及国计民生的基本生产和生活的产品质量标准,为国民经济的有序发展和人民群众的正常生活提供有力的保障。

③统一规定各类企事业单位和人们活动的基本规范,以防止欺诈行为和假冒伪劣商品侵入。

④节约人力和资源、保护生态环境,确保我国可持续发展,建立和谐社会。

⑤保障我国广大人民群众身体健康和财产安全,保护动植物生命健康。

⑥保卫国家安全等。

根据标准管理的需要,标准种类一般按行业、性质、功能分类。

①按行业分类。目前我国按行业归类的标准已正式批准了57大类。行业大类的产生过程是:由国务院各有关行政主管部门提出其所管理的行业标准范围的申请报告,经国务院标准化行政主管部门(国家标准化管理委员会)审查确定,同时公布该行业的标准代号。

②按标准性质分类。通常按标准的专业性质,将标准划分为技术标准、管理标准和工作标准三大类。在标准化领域中,对需要统一的技术事项所制定的标准称为技术标准;而对需要协调统一的管理事项所制定的标准叫管理标准;为实现工作(活动)过程的协调,提高工作质量和工作效率,对每个职能和岗位的工作制定的标准为工作标准。

③按标准的功能分类。基于社会对标准的需求,为了对量大面广的常用标准进行管理,通常将重点管理的标准分为:基础标准、产品标准、方法标准、安全标准、卫生标准、环保标准和管理标准。

以下主要介绍振动和噪声的一些国家标准:

①汽车定置噪声限值(GB 16170—1996,1997年1月1日实施)。本标准规定了汽车定置噪声的限值,适用于城市道路允许行驶的在用汽车。

②城市区域环境噪声标准(GB 3096—93,1994年3月1日实施)。本标准规定了城市五类区域的环境噪声最高限值,适用于城市区域。乡村生活区域可参照本标准执行。

③建筑施工场界噪声测量方法(GB 12524—90,1991年3月1日实施)。本标准规定了建筑施工场界噪声的测量方法,适用于城市建筑施工作业期间,由建筑施工场地产生的噪声测量。它规定了城市港口及江河两岸区域环境噪声的标准值、适用区域的划分及监测方法,适用于城市海港和内河港港区范围内和江河两岸邻近地带受港口设施或交通工具辐射噪声影响的住宅、办公室、文教、医院等室外环境。



④城市区域环境振动测量方法(GB 10071—88,1989年7月1日实施)。本标准贯彻《中华人民共和国环境保护法(试行)》,控制城市环境振动污染而制定。本标准规定了城市区域环境振动的测量方法,仅适用于城市区域环境振动的测量。

### 习题与思考题

1. 信号和信息是测试技术中两个基本的概念,请描述信号与信息之间的关系。
2. 机械测试技术是机械工程的三大技术支柱之一,机械生产、机床设备和机电产品质量都离不开机械测试技术,从机械测试技术的工程应用看,可分为哪些类型的应用?
3. 测量(measurement)和试验(test)主要区别是什么?