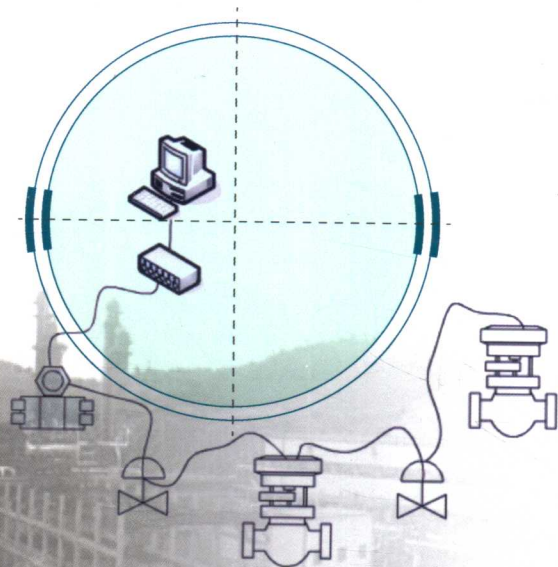




“十二五”江苏省高等学校重点教材



工程测试技术(第3版)

GONGCHENG CESHI JISHU

孔德仁 王 芳 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



“十二五”江苏省高等学校重点教材(编号:2013-1-115)

工程测试技术

(第3版)

孔德仁 王 芳 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书详细介绍了工程测量的基础知识,工程信号及其可测性分析,测量系统的基本特性,计算机测试技术,误差分析及不确定度评定,信号调理电路及指示记录装置,应变电测技术,压电测量技术,光电测量技术,温度测量技术,噪声测量技术,压力测量技术,流量测试技术,运动参量测试技术以及机械振动测试等。

本书可作为机械工程及自动化、车辆工程、测控技术与仪器、精密仪器、武器系统与工程、电气工程与自动化、探测制导与控制技术、弹药工程与发射工程、探测制导与测控技术等专业的教材或参考书,也可供相关专业的研究生、教师以及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测试技术 / 孔德仁, 王芳编著. -- 3 版. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015.9

ISBN 978-7-5124-1837-0

I. ①工… II. ①孔… ②王… III. ①工程测试—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 200951 号

版权所有,侵权必究。

工程测试技术

(第 3 版)

孔德仁 王 芳 编著

责任编辑 蔡 喆 赵钟萍

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:25.75 字数:659 千字

2016 年 3 月第 3 版 2016 年 3 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-1837-0 定价:52.00 元

前 言

不同的学科、专业,其测试目的和规模、试验研究的对象,及使用的仪器设备都会有一定的差异。不论是复杂的宇航实验还是常规的医疗血样化验,操作者所关心的问题和使用的方法都有很大的相似性,即都关心测试理论、测试方法、测试系统的架构、测试信号及实验数据的分析处理方法;都关心如何控制实验条件,减少干扰因素的影响;都关心如何合理选择测量系统,以获得较大的测试效费比,即以较少的财力、人力和时间投入取得尽可能多的有用信息。

测试技术是工科各专业的一门技术基础课程。本书以静态、动态测试中构成信号流程的基本理论、基本方法及工程手段为线索,系统地介绍了测试的基本概念、系统组成、静动态特性分析方法及典型参量的测试手段。针对测试工作中的共性问题展开系统讨论,以测试技术的经典内容为重点,兼顾了近几年来测试工作中发展的新技术、新内容,力求让读者较全面地理解和掌握测试理论和测试方法。

本书共 15 章。

第 1 章绪论。阐明测试技术在工程技术中的地位、发展方向,介绍相关测量的基础知识,非电量电测系统的组成及各功能单元的作用,说明本课程的教学目的及要求。

第 2 章工程信号及其可测性分析。介绍信号的分类及描述方法,重点讨论周期信号和时限信号的分解及频谱分析方法,为讨论信号的可测性提供依据。

第 3 章测量系统的基本特性。针对动态测试的特点,系统地讨论测量系统的静态、动态特性及分析方法,不失真测量的条件及动态误差,并对动态误差修正方法进行了初步探讨。

第 4 章计算机测试技术。简要介绍现场总线的发展及现场总线协议参考模型,智能传感器的定义、功能和实现方法,以 GP-IB、VXI、PXI 等常用总线为基础讨论自动测试系统的组成及应用,简要介绍虚拟仪器的组成及应用。

第 5 章测量误差分析及不确定度评定。介绍实验数据的表征方法,常用回归分析方法、误差及分类、误差处理方法、误差的合成与分配, A 类不确定度、B 类不确定度与合成不确定度评定的方法。

第 6 章信号调理电路及记录仪器。讨论常用的信号调理电路及指示记录仪器的工作原理与特性。

第 7 章应变电测技术。介绍应变片的工作原理、种类,应变片测量时温度误差及其补偿技术,应变式传感器的调理电路及应变仪的工作原理,载荷测量中应变片的布置及常用应变式传感器的工作原理。

第8章压电测量技术。介绍压电效应及压电材料,压电传感器的等效电路及常用调理电路,并对压电传感器的测量误差进行讨论。

第9章光电测量技术。介绍光电测量的基础知识、光电器件的特性、常用光电传感器及其应用,重点介绍光纤传感器的测量技术。

第10章温度测量技术。基于接触式测温介绍热电阻式、热电势(热电偶)测温的工作原理、基本实验定律及相关调理电路,介绍热电偶测温的校准方法及动态误差补偿方法;基于非接触式测温介绍全辐射高温计、比色高温计、红外辐射测温仪的工作原理。

第11章噪声测量技术。介绍噪声测试的物理学基本知识,常用的测量仪器及噪声测试方法。

第12章压力测量技术。介绍压力测量的基础知识、塑性测压法、弹性测压法、液柱测压法及压力电测法,讨论管道效应对动态压力测量的影响,最后介绍压力测量常用的标定方法。

第13章流量测量技术。介绍流量测量相关的基础知识,针对各种常用的流量计分别介绍其工作原理、组成及相关应用,最后简要介绍流量计的标定方法。

第14章运动参量测试技术。针对运动参量中的位移、速度、加速度,分别介绍常用的测试方法、相应传感器的工作原理及应用。

第15章机械振动测试。扼要介绍常用测振传感器的工作原理及测振系统的组成,机械系统振动特性测试及结构参数估计方法、机械阻抗的概念及测试方法。

本书在作者编写并使用多年的《工程测试技术》教材的基础上进行了系统的论证、修改及优化。本书列入高等学校“江苏省高等学校精品教材”及“江苏省高等学校重点教材立项建设”名单,在修订过程中力求突出体系上的层次性、理论上的基础性、应用上的递进性、学生自学的易懂性、课程教学的适用性。因此在编写过程中,参阅了国内外许多相关书籍及文献,在此一并感谢这些书籍及文献的作者。同时感谢为此书的第一版及第二版付出辛勤劳动的编辑同志。

感谢江苏省教育厅及为本书主审的宋爱国教授、张大林教授。

感谢曾经为本书做出大量工作的李永新教授、狄长安教授、朱蕴璞副教授,贾云飞副研究员及南京理工大学教务处的相关老师。本书由孔德仁教授任主编,王芳副教授任副主编,包建东讲师参与了1-8章的修订及编写工作,商飞讲师参与了9-15章修订及编写工作,包建东负责全书的编排及校对工作。由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请同行及读者批评指正。

编 者

2014年10月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 测试技术的作用及地位	1
1.2 测试工作的任务	2
1.3 测试技术的发展	2
1.4 测量与标准	4
1.4.1 测 量	4
1.4.2 标 准	5
1.5 非电量电测系统的组成	7
1.6 工程测试技术课程特点及教学要求	9
习题与思考题	10
第2章 工程信号及其可测性分析	11
2.1 概 述	11
2.2 工程信号的分类	11
2.2.1 按信号随时间变化的规律分类	11
2.2.2 按信号随时间变化连续性分类	13
2.2.3 其他分类方法	14
2.3 周期信号的频谱与可测性	15
2.3.1 周期信号的分解和频谱	15
2.3.2 周期信号的可测性分析	20
2.4 非周期信号的频谱分析	23
2.4.1 时限信号的分解和频谱	23
2.4.2 时限信号的可测性分析	26
2.5 随机信号处理及分析	26
2.5.1 随机信号的特征参数	26
2.5.2 离散随机信号的特征估计	30
2.6 典型激励信号描述	33
2.6.1 冲激函数及其谱分析	33
2.6.2 单位阶跃信号及其谱分析	35
2.6.3 单位斜坡信号及其频谱	37
习题与思考题	37
第3章 测量系统的基本特性	38
3.1 概 述	38
3.1.1 测量系统的基本要求	38
3.1.2 测量系统的线性化	39
3.2 测量系统的静态标定与静态特性	40
3.2.1 静态标定	40

3.2.2 静态特性指标	42
3.3 测量系统动态特性	47
3.3.1 动态参数测试的特殊性	47
3.3.2 测量系统动态特性的分析方法及主要指标	47
3.3.3 测量系统的数学模型	48
3.3.4 传递函数	49
3.3.5 频率响应函数	50
3.3.6 冲激响应函数	51
3.4 测量系统的动态特性分析	52
3.4.1 典型系统的频率响应	52
3.4.2 典型激励的系统瞬态响应	56
3.4.3 相似原理	58
3.5 测量系统无失真测试条件	59
3.6 测量系统的动态特性参数获取方法	60
3.6.1 阶跃响应法	60
3.6.2 幅频特性法	62
3.7 动态误差修正	62
3.7.1 频域修正方法	62
3.7.2 时域修正方法	63
3.8 数字测量系统的基本特性	63
3.8.1 采样	63
3.8.2 量化	65
习题与思考题	66
第4章 计算机测试技术	68
4.1 概述	68
4.2 现场总线	69
4.2.1 概述	69
4.2.2 现场总线的发展	70
4.2.3 现场总线协议参考模型	71
4.2.4 典型现场总线简介	73
4.3 智能传感器	77
4.3.1 智能传感器的概念	77
4.3.2 智能传感器的实现途径	78
4.3.3 智能传感器系统智能化功能	80
4.4 自动测试系统	81
4.4.1 自动测试系统的基本概念	81
4.4.2 自动测试系统的发展概况	82
4.4.3 通用接口总线	82
4.4.4 VXI总线	86
4.4.5 PXI总线	91
4.4.6 AXIe总线简介	92
4.5 虚拟仪器系统	93

4.5.1 概 述	93
4.5.2 虚拟仪器的特点	94
4.5.3 虚拟仪器的系统组成	95
习题与思考题	97
第 5 章 测量误差分析及不确定度评定	98
5.1 概 述	98
5.2 实验数据的表述方法	98
5.2.1 表格法	98
5.2.2 图解法	99
5.2.3 经验公式	99
5.2.4 有效数字	100
5.3 回归分析及其应用	100
5.3.1 一元线性回归	100
5.3.2 多元线性回归	102
5.3.3 非线性回归	103
5.3.4 回归分析应用举例	104
5.4 误差的定义及分类	106
5.4.1 误差概念	106
5.4.2 误差的分类	106
5.4.3 误差的表示方法	108
5.4.4 表征测量结果质量的指标	108
5.5 常用误差处理方法及误差的合成与分配	109
5.5.1 随机误差处理方法	109
5.5.2 系统误差处理方法	109
5.5.3 粗大误差的判别	111
5.5.4 测量误差的合成与分配	112
5.6 不确定度评定的基本知识	113
5.6.1 有关不确定度的术语	113
5.6.2 产生测量不确定度的原因和测量模型	114
5.7 标准不确定度的 A 类评定	116
5.7.1 单次测量结果试验标准差与平均值试验标准差	116
5.7.2 测量过程的合并样本标准差	117
5.7.3 极 差	118
5.7.4 最小二乘法	119
5.7.5 不确定度 A 类评定的流程	119
5.8 标准不确定度的 B 类评定	120
5.8.1 B 类不确定度评定的信息来源	120
5.8.2 B 类不确定度的评定方法	120
5.8.3 B 类标准不确定度评定的流程	122
5.9 测量不确定度的合成	123
5.9.1 合成标准不确定度的计算方法	123
5.9.2 合成标准不确定度的分配及最佳测量方案选择	125

5.9.3 扩展不确定度的计算方法	126
5.10 测量不确定度的评定步骤	126
习题与思考题	128
第6章 信号调理电路及记录仪器	131
6.1 滤波器	131
6.1.1 滤波器分类	131
6.1.2 理想滤波器	132
6.1.3 实际滤波器	134
6.1.4 模拟滤波器的应用	139
6.2 调幅及其解调	142
6.2.1 调幅与解调原理	142
6.2.2 调幅波的波形失真	144
6.2.3 典型调幅波及其频谱	145
6.3 调频及其解调	147
6.3.1 调频波及其频谱	147
6.3.2 直接调频与鉴频	149
6.3.3 应用举例	150
6.4 信号的放大与隔离	151
6.4.1 基本放大器	151
6.4.2 测量放大器	153
6.4.3 隔离放大器	154
6.5 记录仪器	155
6.5.1 磁带记录仪	155
6.5.2 波形记录仪	159
6.5.3 数据采集系统	160
习题与思考题	164
第7章 应变电测技术	165
7.1 电阻应变片	165
7.1.1 电阻应变片的结构和工作原理	165
7.1.2 电阻应变片的种类、材料和参数	168
7.1.3 应变片的粘贴	171
7.2 电阻应变片的温度误差及补偿	173
7.2.1 温度误差及其产生原因	173
7.2.2 温度补偿方法	174
7.3 电阻应变片的信号调理电路	175
7.3.1 直流电桥	176
7.3.2 交流电桥	177
7.3.3 等臂对称电桥的加减特性	179
7.4 固态压阻式传感器	181
7.4.1 概述	181
7.4.2 压阻式压力传感器	181
7.4.3 压阻式加速度传感器	182

7.5 电阻应变仪	183
7.5.1 电阻应变仪的分类及其特点	183
7.5.2 载波放大式应变仪的组成及工作原理	183
7.5.3 电标定及电标定桥	184
7.5.4 常用电阻应变仪主要电路	184
7.6 测量中应变片的排列与接桥	186
7.6.1 应变式传感器	186
7.6.2 常用载荷测量中应变片的排列和连桥	187
7.7 应力与应变测量	190
7.7.1 单向应力状态	190
7.7.2 主应力方向已知的平面应力状态	190
7.7.3 主应力方向未知平面应力状态	191
习题与思考题	193
第8章 压电测量技术	196
8.1 压电效应与压电材料	196
8.1.1 压电效应	196
8.1.2 压电材料	196
8.2 压电常数和表面电荷的计算	201
8.2.1 压电常数	201
8.2.2 压电元件的变形方式	202
8.3 压电式传感器的等效电路	203
8.4 压电式传感器的测量电路	205
8.4.1 电压放大器	205
8.4.2 电荷放大器	209
8.5 压电式传感器的应用	211
8.5.1 压电式测力传感器	211
8.5.2 压电式加速度传感器	213
8.6 压电传感器测量精度影响因素及使用注意事项	218
8.6.1 影响压电传感器测量精度的因素	218
8.6.2 压电测量系统使用注意事项	220
习题与思考题	221
第9章 光电测量技术	222
9.1 光电测量基本知识	222
9.1.1 光源	222
9.1.2 光电效应及器件	223
9.2 光电器件的特性	227
9.2.1 光照特性	227
9.2.2 光谱特性	227
9.2.3 响应时间	228
9.2.4 温度特性	228
9.2.5 伏安特性	229
9.3 常用光电传感器及其应用	229

9.3.1 光电式传感器的类型	229
9.3.2 光电式传感器应用	231
9.4 光纤传感器	232
9.4.1 光纤传感器基础	232
9.4.2 光纤传感器应用实例	236
习题与思考题	238
第10章 温度测量技术	239
10.1 概 述	239
10.2 热电偶	241
10.2.1 测温原理	241
10.2.2 基本实验定律	244
10.2.3 热电偶的种类	247
10.2.4 热电偶的冷端温度补偿	249
10.2.5 热电偶的实用测温电路	251
10.2.6 温度测量的动态误差修正	253
10.3 热电阻温度计	254
10.3.1 金属丝热电阻	254
10.3.2 热敏电阻	256
10.4 热辐射测温	257
10.4.1 全辐射高温计	257
10.4.2 比色高温计	258
10.4.3 红外辐射测温仪	259
习题与思考题	261
第11章 噪声测量技术	262
11.1 噪声测试的物理学基本知识	262
11.1.1 声波、声速和波长	262
11.1.2 声源、声场和波阵面	263
11.1.3 声压、声强和声功率	263
11.1.4 声级和分贝	264
11.2 人对噪声的主观量度	265
11.2.1 响度与响度级	266
11.2.2 声级计的计权网络、A 声级	267
11.2.3 等效连续声级	267
11.2.4 噪声评价曲线	268
11.3 噪声测量仪器	269
11.3.1 传声器	269
11.3.2 声级计	270
11.3.3 噪声分析仪	275
11.4 噪声测量方法	276
11.4.1 测试环境对噪声的影响	276
11.4.2 噪声级的测量	276
11.4.3 声功率级测试	278

11.4.4 声强的测试	279
习题与思考题	280
第12章 压力测量技术	282
12.1 概 述	282
12.1.1 压力的定义	282
12.1.2 压力的计量单位	283
12.1.3 压力测量方法分类	284
12.2 塑性变形测压法	284
12.2.1 概 述	284
12.2.2 铜柱测压法	285
12.2.3 铜球测压法	286
12.3 测压弹性元件	288
12.3.1 圆形膜片和膜盒	288
12.3.2 波纹管	289
12.3.3 弹簧管	290
12.3.4 薄壁圆筒	291
12.4 液柱式压力计	292
12.5 压力电测法	294
12.5.1 应变式压力传感器	294
12.5.2 压电式压力传感器	297
12.6 动态压力测量的管道效应	300
12.6.1 传感器的安装	300
12.6.2 测压管道动态特性分析	300
12.7 测压系统的标定	302
12.7.1 测压系统的静态标定	302
12.7.2 测压系统的动态标定	303
习题与思考题	308
第13章 流量测量技术	310
13.1 流量测量基础	310
13.1.1 流量及定义	310
13.1.2 流体的主要特征	310
13.1.3 流量计分类	312
13.2 常用流量计	313
13.2.1 椭圆齿轮流量计	313
13.2.2 差压式流量计	314
13.2.3 转子流量计	315
13.2.4 涡轮流量计	316
13.2.5 靶式流量计	317
13.2.6 电磁流量计	319
13.2.7 超声波流量计	320
13.2.8 相关流量计	322
13.3 流量计的标定	323

习题与思考题	325
第 14 章 运动参量测试技术	326
14.1 位移测量	326
14.1.1 滑线电阻式及电阻应变式位移传感器	327
14.1.2 电感式位移传感器	328
14.1.3 电涡流式传感器	333
14.1.4 电容式位移测量系统	338
14.2 运动速度测量	341
14.2.1 定距测时法	341
14.2.2 瞬时速度法	344
14.2.3 转速测量	348
14.3 加速度测量	351
14.3.1 惯性式加速度传感器的工作模型	351
14.3.2 常用惯性式加速传感器	353
14.3.3 使用加速度传感器的几点说明	355
14.3.4 加速度测量系统的校准	356
习题与思考题	358
第 15 章 机械振动测试	360
15.1 概 述	360
15.2 常用振动传感器	360
15.2.1 振动测量方法	360
15.2.2 绝对式测振传感器原理	361
15.2.3 相对式测振传感器原理	364
15.3 测振系统的组成及合理选择	365
15.3.1 测振系统的组成	365
15.3.2 测振系统的合理选用	367
15.3.3 传感器的安装	368
15.4 机械系统振动特性测试及结构参数估计	369
15.4.1 激振方式及激振器	370
15.4.2 机械系统结构参数的估计	374
15.5 机械阻抗测试	377
15.5.1 机械阻抗的概念及测试方法	377
15.5.2 单自由度系统的机械导纳	379
15.5.3 多自由度系统的机械导纳	381
15.6 振动分析仪器	381
习题与考题	384
附录 A 常用热电偶分度表	386
附录 B 热电阻分度表	397
参考文献	399

第1章 绪论

1.1 测试技术的作用及地位

测试技术是测量技术及试验技术的总称。定量地描述事物的状态变化和特征总离不开测试。简言之,测试是依靠一定的科学技术手段定量地获取某种研究对象原始信息的过程。这里所讲的“信息”是指事物的状态或属性。如火炮膛内的燃气压力、温度,弹丸在膛内运动的速度、位移等就是关于火炮膛内的基本信息。

测试技术是借助于专门的仪器、设备,设计合理的试验方法以及进行必要的信号分析与数据处理,从而获得与测试对象有关的信息,最后将其结果提供显示或输入其他信息处理装置、控制系统的技术。测试技术属于信息科学范畴,是信息技术中测试控制技术、计算机技术和通信技术三大支柱之一。

人类对自然界的一切认识与改造均离不开对自然界信息的获取,因此获取信息的活动是人类最基本活动之一。在日常生活中,人类可凭借感觉器官获取满足生活的大量信息。但在浩瀚的科学技术领域中,欲获取揭示事物内在规律的信息,无论在获取信息的幅值上,还是时间、空间上,或在分辨信息的能力方面,人类的感覺和大脑功能都是十分有限的。测试作为定量地获取事物信息的一种手段,成为现代科学技术研究的一个重要领域。

人类对客观世界的认识和改造总是以测试工作为基础的。人类早期在从事生产活动时,就已经对长度(距离)、面积、时间和质量进行测量,其最初的计量单位或是和自身生理特点相联系,或是与自然环境相联系,如古代利用“步弓”丈量土地,利用“日晷”计量时间,利用“绳扣”记录数量。秦始皇在建立了统一的中央政府以后,立即建立了统一的度量衡制度,说明恰当的测试工作对发展生产和社会交往的重要性。在测试技术发展史中,应该着重表彰一下伽利略的功绩。伽利略不满足于古代思想家对宇宙进行的哲理性的定性描述,主张根据观测和实验对自然界的现象和运动规律进行定量的描述,开创了实验科学,从而开创了近代意义的自然科学。

纵观科学的发展史,可以说任何科学都是实验的科学。牛顿通过实验发表了万有引力定律;伽利略通过实验创造了力学;波义耳通过实验创造了化学;麦克斯韦通过实验创造了电磁场理论;虎克利用光学显微镜观察软木薄片,发现了细胞,促进了生物学的发展;爱因斯坦通过实验提出了狭义相对论和广义相对论;拉姆塞通过大量实验,发现了自然界中存在惰性气体。

工程技术领域离不开测试技术,许多技术领域内的工程现象难以用完善的理论分析和计算进行解释,但通过测试可以揭示工程现象中的内在联系及其变化规律。在工程技术领域,测试技术的作用可归纳为如下几个方面:

① 生产过程中有关工艺参数的测量,对生产过程进行监视,确保生产过程处于最佳的工作状态及判断生产设备的工作状态;同时可将相关工艺参数反馈给对应的控制系统,以确保或提高产品的质量;为优化生产工艺,改进工艺过程及设备性能提供基础数据。

② 采用必要的测试技术手段,可研究工程系统的响应特性、系统参数;结合必要的数据分析可获得工程系统工作时的载荷特性,为系统的设计及优化提供依据。

③ 几乎所有的产品在投入市场前都需要进行静态或动态测试,因此,测试技术是产品研发、生产过程质量控制的基本手段。

总之,测试技术在科学研究和生产技术及人们生活中占有重要的信息基础地位,测试技术水平的高低是科学技术发展的重要标志。

1.2 测试工作的任务

测试工作的基本任务是通过测试手段,对研究对象中有关信息量作出比较客观、准确的描述,使人们对其有一个恰当的全面的认识,并能达到进一步改造和控制研究对象的目的。研究对象所包含的信息是相当丰富的,在实践中,人们总是根据要求测出所感兴趣的有限的信息,而不是全部信息。

信号是信息的载体,某些信息是可直接检测的,而有些信息是不容易直接检测,需要通过对其相关的信息进行加工处理才能获得。一般来说,测试工作总是想用最简捷的方法获得和研究任务相联系的、最有用的、能表征研究对象特征的有关信息,而不能也不可企图获取该事物的全部信息。

现代测试技术的一大特点是采用非电量的电测法,其测量结果通常是随时间变化的电量,亦即电信号。在这些电信号中,包含着有用信息,也包含有大量不需要的干扰信号。干扰的存在给测试工作带来麻烦,测试工作中的一项艰巨的任务就是要从复杂的信号中提取有用的信号或从含有干扰的信号中提取有用的信息。应该指出的是所谓“干扰”是相对的,在一种场合中,被认为是干扰信号,在另一种场合中却可能是有用信号。

人类早就进行测试工作了,但是迄今也很难给测试规定一个明确的定义及工作范围。测试是为了获取有用的信息,而信息是以信号的形式表现出来的。由一个研究对象如何估计它的模型结构,如何设计试验方法以最大限度地突出所需要的信息,并以比较明显的信号形式表现出来,这无疑也是测试工作的一部分。由此可见,测试工作是一件非常复杂的工作,需要多种学科知识的综合运用。当然,根据测试任务的繁简和要求的不同,并不是每项测试工作都要经历相同的步骤。如用天平和砝码就可以称出质量,用一根尺子就可以量布。但如要测定自动武器自动机的运动或研究机床的动态特性,所进行的测试是相当复杂的。

从广义的角度来讲,测试工作涉及试验设计、模型试验、传感器、信号加工与处理(传输、加工和分析、处理)、误差理论、控制工程、系统辨识和参数估计等内容。因此,测试工作者应当具备这些方面的相关知识。从狭义来讲,测试工作是在选定激励方式下,信号的检测、变换、处理、显示、记录以及电量输出的数据处理工作。本书将从狭义的范围来讨论工程测试技术中的基础知识。

1.3 测试技术的发展

现代科技水平的不断发展,为测试技术水平的提高创造了物质条件;而拥有高水平的测试系统又会促进新科技成果的不断发现和创新。两者之间是相辅相成的。

测试技术的发展历程大致可分为古老的测试技术、机械测试技术、非电量电测技术、计算机辅助测试技术、虚拟仪器技术等阶段。

古老的测试技术。由于古代科技水平的限制,人们对测试的认识还未提升到一定程度,测试手段受到限制,但人们在潜移默化中已涉及测试的概念,如成语“五十步笑百步”。

机械测试技术。在此阶段人们已认识到了测试的重要性。但由于电技术的落后,人们只能采用机械的方法对某些参量进行测试,具有代表性的例子是抽水马桶中的水位测量及控制。

非电量电测技术。随着传感器技术及仪器技术的发展,测试技术进入了非电量电测技术的时代。非电量电测技术的核心是将不能直接测量的非电信号如力、压力、位移等,通过传感器将其转换成对应的电信号,再利用相应的调理装置将其电信号进行调理、放大,由记录仪器将其记录下来。非电量电测技术是现代测试技术的基石,无论是计算机辅助测试还是虚拟仪器都离不开非电量电测技术。

计算机辅助测试技术。随着大规模集成电路及计算机技术的发展,传统的模拟式非电量测试系统逐步被数字化系统代替。最典型的就是模拟式记录仪器如光线示波器、磁带记录仪、模拟式函数记录仪、模拟电子示波器等记录设备由具有计算机控制的数据采集系统取代,计算机辅助测试给测试工作者带来了许多方便,尤其在测试信号处理及提高测试精度等方面。

虚拟仪器技术。随着电子技术的发展,客观上要求测试系统向自动化、柔性化发展。20世纪末提出了虚拟仪器的概念,虚拟仪器集计算机技术、通信技术和测量技术于一体。“虚拟”主要有两个方面的含义:一是指仪器的面板虚拟;二是指仪器的测量功能由软件实现。

现代科学技术的发展不断地向测试技术提出新的要求,并推动现代测试技术的发展。综合国内外的技术动态,工程测试技术的发展方向有如下几个方面:

(1) 传感器向新型、微型、智能型发展

传感器是信号检测的工具。体积小、精度高、灵敏度高而测量范围大是传感器发展的重要方向。新材料,特别是新型半导体材料方面的成就,已经促使很多对力、热、光、磁等物理量或气体化学成分敏感的器件的发展。光导纤维不仅可用来传输信号,而且可作为物性型传感器。另一个引人注目的发展是,由于微电子的发展,可将某些电路乃至微处理器和传感测量部分集成一体,即使传感器具有放大、校正、判断和一定的信号处理功能,组成所谓的“智能传感器”。

(2) 测量仪器向高精度和多功能方向发展

测量仪器及整个测量系统精度的提高,使测得数据的可信度也相应提高。在产品研制过程中要进行大量试验,测量某些性能参数,然后对所测数据进行统计分析。在相同条件下要试验若干次,所测参数才具有一定的可信度。仪器精度的提高,可减少试验次数,从而减少试验经费,降低成本。在提高测量仪器精度的同时应扩大仪器的功能。计算机技术的发展也使测试技术产生了革命性的变化,在许多测试系统中利用计算机使仪器的测量精度更高,功能更全。

(3) 参数测量与数据处理向自动化发展

一个产品的大型综合性试验,准备时间长,待测参数多,靠人工检查,耗费时间长,众多的数据依靠手工去处理,不仅精度低,处理周期也太长。现代测试技术的发展,使采用以计算机为核心的自动测试系统成为可能。该系统一般能实现自动校准、自动修正、故障诊断、信号调制、多路采集、自动分析处理并能打印输出测试结果。

(4) 基于现场总线技术的网络化

随着计算机技术、通信技术和网络技术的高速发展,以计算机和工作站为基础的网络化测试技术已成为新的发展趋势。现场总线是位于生产控制和网络结构的底层网,能与因特网、局域网相连,且具有开放统一的通信协议,因此肩负着生产运行一线测试、控制的任务。网络化测试系统一般由测试部分、数据信号传输部分及数据信号分析处理部分等组成。网络化测试技术突出的特点是可以实现资源共享、多系统、多任务、多专家的协同测试与诊断;其另一特点是可以实现过程测控,测试人员不受时间和空间的限制,随时随地获取所需信息。

1.4 测量与标准

1.4.1 测量

在科学研究和工程试验中,往往需要探求物理现象之间的数量关系。为了确定被测对象的量值而进行的实验过程称为测量。测量是人类认识客观世界,获取定量信息的重要手段。测量的最基本形式是比较,即将待测的未知量与预定的标准作比较。由测量所得到的被测对象的量值表示为数值和计量单位的乘积。

测量可分为两类:直接测量和间接测量。

(1) 直接测量

无须经过函数关系的计算,直接通过测量仪器得到被测量值的测量为直接测量。直接测量又可分为两种:直接比较和间接比较。

① **直接比较** 直接把被测物理量和标准作比较的测量方法称为直接比较。例如要测量一根圆钢的长度,最常用的办法是用一把钢卷尺和它作比较。钢卷尺(米尺)就是做长度测量用的标准。假设测得的圆钢长度是长度标准(m)的2.4倍,就用2.4 m作为圆钢长度的示值。长度测量是最简单的直接比较。但是,并不是任何物理量和标准之间的比较,都能直接由人的感官来完成。例如,要比较两只电阻的大小,这就不是人的感官所能胜任的,需要借助于惠斯通电桥来进行未知电阻和标准电阻之间的比较。电阻测量也是一种直接比较。直接比较的一个显著特点是待测物理量和标准是同一种物理量。

② **间接比较** 直接测量的另一种方法是间接比较。例如测量体温,最常用的是水银温度计。根据水银热胀冷缩的物理规律,温度越高,水银膨胀得越厉害,毛细管中的水银柱就上升得越高,水银柱的高度和温度之间有着确定的函数关系,因此可以用水银柱的高度作为被测温度的量度。这里是通过热胀冷缩的规律把温度的高低转化为水银柱的长度,然后,通过对水银柱长度的比较,间接地得出被测温度的大小。这就是间接比较。概括来讲,间接比较是利用仪器仪表(统称为测量系统)把原始形态的待测物理量的变化转换成与之保持已知函数关系(通常是线性关系)的另一种物理量的变化,并以人的感官所能接受的形式(通常是位置的变化),在测量系统的输出端显示出来。用弹簧秤测力,用电流表测电流等都是间接比较。

无论直接比较还是间接比较,都是直接用测量仪器测出待测物理量的大小,都属于直接测量。由此可以看出,为使测量结果具有普遍的科学意义,测量必须具备以下两个前提条件:一是用作比较的标准必须是精确已知的,得到公认的;二是测量系统必须工作稳定,经得起检验。