



工程测试

技术基础

■ 樊新海 编著

GONGCHENG CESHI JISHU JICHU



国防工业出版社

National Defense Industry Press

工程测试

技术期刊

· 2000 ·

第 10 卷

第 10 期

第 10 卷

第 10 期

中国工程测试学会
CHINA SOCIETY OF ENGINEERING TESTING

工程测试技术基础

樊新海 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书紧紧围绕“不失真测试”这一核心问题展开,主要讲述的内容包括:测试的基本概念和重要意义;测试信号的描述及其分析与处理方法;测试系统静、动态特性的分析评价及不失真测试的条件;测试常用传感器,信号调理、显示记录等各环节的工作原理;计算机测试技术和虚拟仪器;振动和噪声的测试方法等。

本书加大了傅里叶变换的基础理论内容,压缩了信号显示和记录方面的内容,将数字信号处理部分放在信号分析与处理基本方法前面讲述,便于使信号分析与处理的原理、算法和应用融为一体。内容安排上力求做到由浅到深、由连续到离散、由理论到应用,便于学生能够掌握测试技术的基本理论和信号分析与处理的常用方法。

本书可作为机类各专业“测试技术”课程的教材或参考书,也可供工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测试技术基础 / 樊新海编著. —北京:国防工业出版社, 2007.8

ISBN 978-7-118-05316-6

I. 工... II. 樊... III. 工程测量-高等学校-教材
IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 118332 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16 字数 365 千字

2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474

发行业务:(010)68472764

前 言

测试技术与信号处理的理论和方法广泛应用于雷达、声呐、通信、语音、图像、航空航天、生物医学、振动工程等几乎所有技术领域。科学技术的不断发展和社会对人才素质要求的不断提高,使得测试技术与信号处理作为工程科学技术人员的基本素质,必须受到高度重视。为此,许多大专院校的机械工程、机电工程、电气工程、建筑与力学工程、交通与车辆工程、能源与动力工程等专业都开设相关课程。这充分说明了测试技术与信号处理的重要性。

测试技术与信号处理具有涉及学科多、研究内容多、理论性强、实践性强等特点。目前出版的相关教材和著作较多,对测试技术与信号处理的普及与发展起到了进一步的推动作用,也为针对不同学习要求在教材选择上留有较大的余地。由于课程整合和学时限制,有些本科专业在课程设置上不开设《积分变换》和《信号与系统》等先修课程以及《数字信号处理》等后修课程。针对以上情况,本书在基础理论的阐述、基本公式的推证以及课程内容的取舍和安排等方面都进行了精心设计,旨在提供一本有关工程测试技术基础方面的专业基础理论教材。

全书共分为8章,各章内容如下。

第1章 绪论,包括:测试的基本概念和重要意义;测试系统的基本组成与发展趋势;测量方法的分类;测量的前提与标准;本课程的研究内容、学习目的和学习要求。

第2章 测试信号的分析与处理,包括:信号的概念、分类、运算和一些典型信号;周期信号的傅里叶级数及其功率特性;非周期信号的傅里叶变换及其主要性质;连续时间信号的采样与采样定理;量化和量化误差;截断、泄漏与窗函数;离散傅里叶变换及其快速算法;测试信号的预处理及幅域、时域和频域基本分析方法。

第3章 测试系统特性分析,包括:测试系统及其重要性质;测试系统的静态特性和动态特性描述;典型系统的动态特性分析、对典型激励的响应与测定方法;测试环节之间的连接与负载效应;实现不失真测试的条件;测量误差的基本知识。

第4章 测试常用传感器,包括:传感器的定义、组成和分类;电阻、电容和电感等参数式传感器的基本原理和工程应用;压电、磁电、光电、热电等换能式传感器的基本原理和工程应用;传感器的选用原则。

第5章 信号的调理与记录,包括:电桥、放大、调制与解调、滤波等常用信号调

理方式的基本原理与应用;信号的基本显示与记录方法。

第6章 计算机测试技术,包括:计算机测试系统的组成;数据采集装置及其选择;测试仪器总线与接口技术;虚拟测试系统;网络化测试技术与仪器。

第7章 振动的测量,包括:振动的基础知识;电测法测振的原理和组成;振动的激励和激振器;测振传感器及其选择;测振装置的校准。

第8章 噪声的测量,包括:噪声测量的基础;噪声的分析方法与评价;噪声测量仪器;噪声测量及其应用。

本书加大了傅里叶变换的基础理论内容,压缩了信号显示和记录方面的内容,将数字信号处理部分放在信号分析与处理基本方法前面讲述,便于使信号分析与处理的原理、算法和应用融为一体。在测试技术的应用方面精选了与工程技术密切相关的振动和噪声测试,更多的参数测试方法放在实验课或研究生课程中。总学时数按40学时~50学时编写,不同的专业可根据教学要求增减内容,有选择地进行讲授。

本书在编写过程中,参阅了大量的相关教材、专著和文献,结合自己的实际体会,力求做到课程内容由浅到深、由连续到离散、由理论到应用,目的在于使学生能够掌握测试技术的基本理论和信号分析与处理的常用方法,为今后的学习和工作需要奠定良好的专业基础。

本书可作为机类各专业“测试技术”课程的教材,也可作为自动控制、仪器仪表类有关专业的教材。同时,对工厂、研究所以及从事机械工程性能试验和机电一体化产品设计、开发的工程技术人员亦有参考价值。

本书由装甲兵工程学院樊新海编写。在编写过程中,装甲兵工程学院安钢教授提出了许多宝贵的意见和建议,并认真审阅了全书,在此表示深深的谢意。

由于作者水平有限,编写时间紧,书中错误和不当之处在所难免,诚恳希望读者不吝指正。

作者

2007年5月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测试的基本概念及重要意义	1
1.1.1 测试的基本概念	1
1.1.2 测试的重要意义	1
1.2 测试系统的基本组成与发展	2
1.2.1 测试系统的基本组成	2
1.2.2 测试技术的发展	3
1.3 测量方法及其分类	4
1.4 测量的前提与标准	5
1.5 本课程的学习要求	6
习题	7
第2章 测试信号分析与处理	8
2.1 信号概述	8
2.1.1 信号的定义	8
2.1.2 信号的分类	9
2.1.3 几种典型信号	11
2.1.4 信号的运算	14
2.1.5 冲激函数及其重要性质	17
2.1.6 噪声	20
2.2 连续时间傅里叶变换	21
2.2.1 周期信号的傅里叶级数	21
2.2.2 周期信号的功率特性和均方逼近	30
2.2.3 非周期信号的傅里叶变换	32
2.2.4 典型非周期信号的频谱	40
2.2.5 周期信号的傅里叶变换	42
2.2.6 傅里叶级数和傅里叶变换分析的比较	45
2.3 数字信号处理基础	45
2.3.1 连续时间信号的采样	46
2.3.2 量化和量化误差	50
2.3.3 截断、泄漏与窗函数	52
2.3.4 离散傅里叶变换	55

2.3.5	快速傅里叶变换	59
2.3.6	DFT 应用中的几个问题	63
2.4	信号分析与处理的基本方法	66
2.4.1	信号的预处理	66
2.4.2	信号的幅域分析	69
2.4.3	信号的时域分析	76
2.4.4	信号的频域分析	84
2.4.5	三维谱阵图分析	90
2.4.6	细化谱分析	91
	习题	93
第3章	测试系统特性分析	95
3.1	测试系统及其重要性质	95
3.2	测试系统的静态特性	97
3.3	测试系统的动态特性	99
3.3.1	动态特性的描述方法	99
3.3.2	典型系统动态特性分析	102
3.4	测试系统对典型激励的响应	105
3.4.1	测试系统对单位脉冲输入的响应	105
3.4.2	测试系统对单位阶跃输入的响应	106
3.4.3	测试系统对正弦输入的响应	107
3.4.4	测试系统对任意输入的响应	108
3.5	测试系统动态特性参数的测定	108
3.5.1	阶跃响应法	109
3.5.2	频率响应法	110
3.6	测试环节之间的连接与负载效应	111
3.6.1	测试环节之间的基本连接	112
3.6.2	复杂测试系统的分解	113
3.6.3	负载效应	113
3.7	实现不失真测试的条件	113
3.8	测量误差	115
3.8.1	误差的概念	115
3.8.2	误差的来源	115
3.8.3	误差的分类	116
3.8.4	表征测量结果质量的指标	117
	习题	118
第4章	测试常用传感器	119
4.1	传感器概述	119

4.1.1	传感器的定义	119
4.1.2	传感器的组成	119
4.1.3	传感器的分类	120
4.2	电阻式传感器	120
4.2.1	工作原理	121
4.2.2	电位器式传感器	121
4.2.3	应变式传感器	123
4.2.4	压阻式传感器	126
4.3	电感式传感器	127
4.3.1	自感式传感器	127
4.3.2	互感式传感器	130
4.3.3	压磁式传感器	131
4.4	电容式传感器	133
4.4.1	工作原理及类型	133
4.4.2	极距变化型	133
4.4.3	面积变化型	135
4.4.4	介质变化型	136
4.4.5	测量电路与应用	138
4.5	压电式传感器	139
4.5.1	压电效应	139
4.5.2	压电材料	140
4.5.3	等效电路	141
4.5.4	压电元件的连接	142
4.6	磁电式传感器	143
4.6.1	磁电感应式传感器	143
4.6.2	霍尔传感器	145
4.6.3	磁阻效应传感器	147
4.7	光电式传感器	147
4.7.1	外光电效应及器件	147
4.7.2	内光电效应及器件	148
4.7.3	光生伏特效应及器件	150
4.7.4	光电传感器的工作方式和应用	150
4.8	热电式传感器	151
4.8.1	热电偶	151
4.8.2	热敏电阻	153
4.9	其他传感器	154
4.9.1	半导体式物性传感器	154

4.9.2 光纤传感器	155
4.9.3 微型传感器	155
4.10 传感器的选用原则	155
习题	157
第5章 信号的调理与记录	158
5.1 电桥	158
5.1.1 直流电桥	158
5.1.2 交流电桥	160
5.1.3 变压器式电桥	162
5.2 信号的放大与隔离	162
5.2.1 基本放大器	163
5.2.2 测量放大器	165
5.2.3 隔离放大器	165
5.2.4 程控放大器	166
5.3 调制与解调	166
5.3.1 幅值调制与解调	167
5.3.2 频率调制与解调	171
5.4 滤波器	173
5.4.1 滤波器的分类	173
5.4.2 理想滤波器与实际滤波器	174
5.4.3 无源滤波器与有源滤波器	177
5.4.4 恒带宽滤波器和恒带宽比滤波器	179
5.4.5 数字滤波器	182
5.5 信号的显示与记录	182
5.5.1 信号的显示	182
5.5.2 信号的记录	183
习题	184
第6章 计算机测试技术	186
6.1 计算机测试系统的组成	186
6.1.1 多路模拟开关	187
6.1.2 采样保持	188
6.1.3 D/A 转换技术	188
6.1.4 A/D 转换技术	190
6.2 数据采集装置及其选择	191
6.2.1 数据采集装置的基本类型	191
6.2.2 多路采集装置的通道设计方案	192
6.2.3 数据采集装置的选用	193

6.3 测试仪器总线与接口技术	194
6.3.1 接口和总线及其标准化	194
6.3.2 测试仪器内部总线	195
6.3.3 测试系统外部接口总线	198
6.3.4 现场总线技术	202
6.4 虚拟仪器系统	204
6.4.1 虚拟仪器的出现与特点	204
6.4.2 虚拟仪器的构成	206
6.4.3 LabVIEW 虚拟仪器开发平台	207
6.4.4 虚拟仪器的发展趋势	210
6.5 网络化测试技术与仪器	210
6.5.1 网络化仪器的特点与发展	210
6.5.2 网络化测试系统的结构与实现	211
6.5.3 网络化测控系统的应用	212
习题	212
第7章 振动的测量	213
7.1 振动的基础知识	213
7.1.1 振动类型及其表征参数	213
7.1.2 单自由度系统的受迫振动	214
7.2 电测法测振及其系统组成	219
7.3 振动的激励与激励器	220
7.3.1 振动的激励	220
7.3.2 激励器	222
7.4 测振传感器及其分类	225
7.4.1 测振传感器的分类	225
7.4.2 常用测振传感器	226
7.5 测振装置的校准	230
习题	231
第8章 噪声的测量	232
8.1 噪声测量的基础	232
8.1.1 噪声测量的主要物理参数	232
8.1.2 多噪声源分贝的运算	233
8.2 噪声的分析方法与评价	235
8.2.1 噪声的频谱分析	235
8.2.2 噪声的评价	236
8.3 噪声测量仪器	238
8.3.1 传声器	238

8.3.2 声级计 239

8.4 噪声测量及其应用 241

8.4.1 噪声测量的方法 241

8.4.2 噪声测量应注意的问题 243

8.4.3 噪声测量的应用 244

习题 245

参考文献 246

第1章 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,也是信息技术三大支柱(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和测试信号的分析与处理方法。

1.1 测试的基本概念及重要意义

1.1.1 测试的基本概念

测量、计量、检测和测试是四个含义相近的术语。测量是指以确定被测对象属性量值为目的的操作过程。实现单位统一和量值准确的测量一般称为计量。检测是检出和测量的总称。检出被定义为指示被测量的存在,但无须提供量值的过程。而测试是带有试验性质的测量,或者说是测量和试验的综合。

在实际应用中,测试和检测一般看作同义语,而测试与测量有时也不严格区分。

1.1.2 测试的重要意义

知识的获取往往从测量开始。人类在其自身的社会发展中创造并发展了测量学,人类早期的测量活动涉及对长度(距离)、时间、面积和质量等量的测量。我国早在商朝就已出现了象牙尺,到秦朝已统一了度量衡。伽利略不满足古代思想家对宇宙进行哲理性的定性描述,主张根据观测和试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。

人们在生产实践和科学研究中,不断地探索和揭示客观世界的规律性。除了使用理论分析方法之外,还大量地使用试验测量的方法。理论分析得出的结果(除了一些纯数学问题外)往往要靠试验研究去定量地验证其正确性和可靠程度。另外,还有许多理论分析是建立在大量观测或试验得出的数据基础上的,例如,对十分复杂的研究对象,有些问题难以进行完整的理论分析和计算,往往通过试验测量来获取大量的观测数据为理论分析提供依据。

在各种现代装备系统的制造和实际运用中,测试工作的地位越来越重要,测试系统的成本也越来越高。通过对装备运行过程中某些参数(如振动、噪声等)的在线监测,可以了解装备本身的技术状况,及时消除故障隐患,避免恶性事故的发生,保障装备安全 and 人身安全。装备的性能监控能力、工作检查能力和故障隔离能力等,是保障装备正常工作的重要手段,也是其先进性及实用水平的重要标志。

随着社会的进步和科学的发展,测量活动的范围不断扩大,测量的工具和手段不断

精细和复杂化,从而也不断地丰富和完善了测量的理论。如今,测量已渗透到人类活动的每个领域。从日常生活的三表(水、电、煤气表)、每日的天气预报、医院中的病人监护设施、汽车中的各种指示仪表,直至宇宙飞船的姿态控制装置、飞机的导航仪表,测量无处不在。

总之,测试技术已广泛应用于工农业生产、科学研究、国内外贸易、国防建设、战场侦察、交通运输、医疗卫生、环境保护和人民生活的各个方面,并在其中发挥着越来越重要的作用,成为促进国民经济和社会进步的一项必不可少的重要基础技术,使用先进的测试技术已成为经济高度发展和科技现代化的重要标志之一。

1.2 测试系统的基本组成与发展

测试工作一方面是借助测试系统检测到信号;另一方面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。为了完成测试任务,常需要借助一定的测量工具或测量系统。工程技术领域中的被测量,绝大部分是非电量,例如压力、温度、湿度、流量、力、应变、位移、速度、加速度等,在现代测量方法中,越来越多地将这些非电量变换为电量(电压、电流等)后再进行测量,称为非电量的电测技术。这得益于电量便于转换、传输、处理和显示等特点。随着微电子技术和计算机技术的飞速发展,电测技术的优点更加明显,应用也更加广泛。

1.2.1 测试系统的基本组成

测试系统是指由有关器件、仪器和装置有机组合而成的具有定量获取某种未知信息之功能的整体。一个测量或测试系统大体上可用图 1.1 所示的原理框图来描述,通常包括传感器、中间变换装置(信号调理)、信号显示与记录、分析与处理装置,以及与测试有关的其他部分。

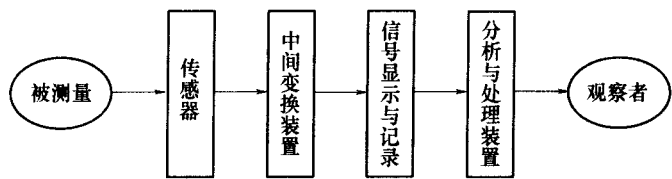


图 1.1 测试系统原理框图

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,并将其转换为适合于测量的变量或信号。对于不同的被测物理量要采用不同的传感器,这些传感器的作用原理所依据的物理效应千差万别。其性能直接影响整个测试工作的质量,因此传感器在整个测量系统中的作用十分重要。

信号调理环节是对从传感器所输出的信号作进一步的加工和处理,包括对信号的转换、放大、滤波、调制与解调、整形、将电阻抗变换电压或电流等。通过信号的调理,最终希望获得便于传输、显示与记录以及后续处理的信号。

信号显示与记录环节是将调理过的信号以便于人们观察和分析的介质和手段进行显示或记录。用于显示与记录的仪器仪表有示波器、磁带机等。

信号的分析与处理环节是把测得的信号经过必要的变换或运算(滤波、变换、增强、压缩、估计、识别等),研究信号的构成和特征值,以从中获得所需信息的过程。用于信号分析与处理的仪器或装置有专用信号处理机、信号分析处理应用软件等。

除了以上主要部分外,测试系统还可能包括与测试有关的其他部分,如传感器安装支架、供电电源、导线、打印机、绘图仪等。

上述组成测试系统的各个部分除传感器是必需的以外,其他的某些部分可能根据情况被简化。例如,某些传感器的输出直接为电信号,可不需要信号调理直接进行显示。

测试系统是用来测量被测信号的,被测信号经系统的加工和处理之后被输出。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”。因此,测试系统各环节输出量与输入量之间应保持一一对应和尽量不失真的关系,并尽可能地减小或消除各种干扰。

1.2.2 测试技术的发展

测试技术与科学研究、工程实践密切相关。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,反过来,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,二者相辅相成,共同推动社会生产力不断前进。近年来,传感器技术和计算机测试技术的快速发展对测试技术的发展起了强有力的推动作用。大致来说,测试技术的发展方向有下列几个方面。

(1) 量程范围更加宽广。量程范围向宏观和微观两个方向延伸。例如:在空间尺度方面,宏观上要观察上千光年的茫茫宇宙,微观上要观察小到 10^{-13} cm 的粒子世界;在时间尺度方面,宏观上要观察长达数十万年的天体演化,微观上要观察短到 10^{-24} s 的瞬间反应。测量范围的不断扩大,人们对事物的观测逐渐涉及到对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种尖端技术研究,如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等。

(2) 传感器向新型、微型、智能型发展。传感器是信号检测的关键器件,也是一个知识密集、技术密集的高、精、尖行业。20 世纪 80 年代以来,国际上出现了“传感器”热。例如:日本把传感器列为 20 世纪 80 年代十大技术之首,美国把传感器技术列为 20 世纪 90 年代 22 项关键技术之一。采用新原理、新材料、新工艺,具备新功能的传感器不断出现。随着微电子技术、微细(机械)加工技术和集成化工艺等相关技术的不断进步,传感器向着集成化、智能化、微型化、多功能化,高精度、高灵敏度、高可靠性、低成本方向发展。

(3) 测量仪器向高精度和多功能发展。在实际测试中,为了保证测试结果的可靠性,通常的做法是在相同条件下进行若干次试验,然后对所测数据进行统计分析。这不失为一种科学方法,但重复性试验无疑增加了费用,尤其对于一些昂贵产品的毁灭性试验,更是如此。测量仪器精度的提高,可减少试验次数,从而减少试验经费,降低产品成本。在提高测量仪器精度的同时,仪器的功能也在扩大。以往靠硬件实现的仪器功能逐渐可以用软件来实现,不仅出现了许多微机化测量仪器,也使得仪器的精度更高、功能更全、维护更方便。

(4) 参数测量与数据处理向自动化发展。对于大型综合性试验,测试参数多、任务重、时间长、数据处理工作量大,完全靠人工操作仪器设备,费时费力、效率低下。另

外,有些测试现场人员难以进入。这就要求参数测量与数据处理向自动化发展。为满足测试工作要求,逐渐出现了以计算机为核心的自动测试系统,并且发展得非常迅速。自动测试系统能够在最少人工参与的情况下,对测试对象实现自动测量和分析处理并输出测量结果。

1.3 测量方法及其分类

测试方法是指在实施测量中所涉及的理论运算方法和实际操作方法。测量方法的正确与否十分重要,它直接关系到测量工作能否进行,是否符合规定的技术要求。所以,根据不同的测试任务,找出切实可行的测量方法,然后根据测量方法选择合适的测量工具,组成测量系统,进行实际测量。如果测量方法不合理,即使有高精度的测量仪器设备,也可能得不到理想的测量结果。

测量方法可按多种原则进行分类。例如,按照被测量值能否直接获得,可分为直接测量和间接测量;按照敏感元件是否与被测对象有机械接触,可分为接触测量与非接触测量;按照被测量值是否随时间而变化,可分为静态测量与动态测量;按测量系统是否向被测对象施加能量,可分为主动测量和被动测量。另外,还有一些其他分类方法,如按测量性质,可分为时域测量、频域测量等。

1) 直接测量和间接测量

直接测量法是指被测量直接与测量单位进行比较,或者用预先标定好的测量仪器或测试设备进行测量,而不需要对所获取数值进行运算的测量方法。例如:用直尺测量长度,用温度计测量温度,用电表测量电压、电流、电阻值等。直接测量的优点是测量过程简单而迅速,是工程技术中广泛采用的测量方法。

间接测量法是指被测量值不能直接由测试设备上获得,而是通过所测量到的数值同被测量间的某种函数关系经运算而获得被测值的测量方法。例如:对一台汽车发动机的输出功率进行测量时,总是先测出发动机转速 n 及输出扭矩 M ,再由关系式 $p = M \cdot n$ 计算出其功率值。间接测量过程较为复杂,花费时间较多,一般是在直接测量很不方便、误差较大或缺乏直接测量仪器等的情况下采用。该方法在实验室应用较多,但工程中有时也用。

另外,如果各个被测量以不同的组合形式出现,根据直接测量和间接测量所得到的数据,通过解一组联立方程而求出未知量的数值,这种测量称为组合测量或联立测量。组合测量仍然复杂,但易达到较高的精度,一般用于科学试验或特殊场合。

2) 接触测量和非接触测量

接触测量法往往比较简单,例如测量振动时常用带磁铁座的加速度计直接放在所测位置进行测量;而非接触测量法可以避免传感器对被测对象的机械作用及对其特性的影响,也可避免传感器受到磨损。例如同样是测量振动,可采用非接触式的电涡流传感器测量振动位移,由于没有接触,传感器对试件的特性不产生影响。

3) 静态测量和动态测量

这里所说的“静态”和“动态”不是指被测物体是否处于机械静止或运动中,而是指被测量值是否随时间而变化。如果被测量值是恒定的或缓慢变化的,这种测量被认为是静

态测量;当被测量值是随时间变化的,这种测量被认为是动态测量。

在进行静态测量和动态测量时,两者对测量装置特性的要求和测试数据处理的手段是有着很大差别的,其中动态测量是本课程研究的重点。

4) 主动测量和被动测量

有些被测量需要通过测量被测对象的动态特性来获得。此时,可以利用测量装置对被测对象主动激励,以便获得相应的输入及其响应;也可以被动地依靠自然力量激励或自然工作状态获得响应。

主动测量一般会使测量装置变得复杂,对场地等条件有较高的要求,但测量条件和影响因素容易得到控制,便于测量数据的后续分析和寻找规律;而被动测量一般对测试条件和影响因素要求不高,不影响被测对象的自然状态或工作状态。

对于每一种测试方法来说,相应地都有它自己的测量理论、测量手段和专门的仪器。测量的复杂程度完全取决于被测量本身的特征和测量所要达到的要求(精度、稳定性等)。

1.4 测量的前提与标准

测量的基本形式是比较,即将被测量与标准量进行比对。因此,测量过程一方面是采集和表达被测物理量,另一方面是与标准量作比较。所以,测量的本质是将度量数字 x 作为比较量 N (标准)的倍数赋予被测量 $X = xN$ 。比如,经测量某物体的质量为 0.013kg ,这里物体的质量为被测量, 0.013 为度量数字,标准量是国际千克原型器的质量。

从上述测量的本质可以看出:测量能够实施,需要满足以下两个基本前提条件:一是被测量必须有明确的定义;二是测量标准必须精确,并得到公认。有些量,像长度、时间和质量等已经被人们明确定义,其相应的标准也经过事先协议确定;而另外的一些量,诸如人的“智力”、空调技术中的“环境舒适度”等,至今也没有一致的定义和统一的标准。此外,为了使测量工作有意义,除了要求被测量满足上述两个前提条件之外,还要求测试系统必须工作稳定,经得起检验,以保证测量结果的准确性和可信性。

总之,测量总是与一定的标准紧密相连的。为了统一标准,国际计量大会于 1960 年建立了“国际单位制”,简称 SI 制,将大会以前所确定的七个基本单位,即米、千克、秒、安[培]、开[尔文]、坎[德拉]、摩[尔],分别赋予七个基本量,即长度、质量、时间、电流、温度、发光强度和物质的量,经协议规定认为这七个量是彼此独立的。这种彼此相互独立的标准称之为绝对标准或基本标准。国际单位制中的基本单位和基本量见表 1.1,具体规定如下所述。

(1) 1 米定义为真空中的光在 $\frac{1}{299792458}\text{s}$ 时间内所经过的距离(1983 年)。该标准的复制精度可达 $\pm 10^{-9}$ 。

(2) 1 千克定义为国际千克原型器的质量(1889 年),该国际千克原型器是保存在法国巴黎塞夫勒博物馆中的一根铂铱合金圆柱体。其复制精度可达 10^{-9} 数量级。

(3) 1 秒定义为铯-133($\text{Cs}-133$)原子基态的两个超精细结构能级间的跃迁所对应的周期的 9192631770 倍(1967 年)。