



普通高等院校“十一五”规划教材

力学测试 技术基础

LIXUE CESHI JISHU JICHU

张明 苏小光 王妮 编著

本书看点：

1. 遵照最新国标编写；
2. 本书内容曾得到全国教改特等奖；
3. 加入了大量先进的工程应用实例；
4. 力求面向学生实验技能培养的实验指导书



国防工业出版社
National Defense Industry Press

TB301-33/17

2008

力学测试技术基础

张明 苏小光 王妮 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书为高等院校材料力学课程的实验教材。

本书分6章:第1章介绍了测试技术的概念和实验应力分析方法;第2章从工程角度讨论了误差分析及处理方法;第3章详细分析了电阻应变测试的原理和方法,并介绍了多种应用应变测试原理的传感器;第4章论述了金属材料力学性能测试的有关实验标准和实验方法;第5章介绍了光弹性实验原理及方法;第6章讨论了实验技术方面的有关问题,并介绍了若干材料力学的典型实验。

本书可作为材料力学实验的配套教材,也可作为独立设课的材料力学实验课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

力学测试技术基础 / 张明, 苏小光, 王妮编著. —北京:
国防工业出版社, 2008.6
ISBN 978-7-118-05763-8

I. 力... II. ①张...②苏...③王... III. 材料力学-实验-
高等学校-教材 IV. TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 077830 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)

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12 1/4 字数 276 千字

2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

本书作为材料力学实验的配套教材,在第2版的基础上,进行了重大修订,以适应新的教学要求、教学实验设备和相关实验标准。除第5章“光弹性测试原理及方法”只作了少量修订外,其他章节全部重新编写。其中,将原教材附录中的“误差分析和数据处理”移到了第2章,并加入了有效数字、数值修约和概率统计基础的部分内容,使本章内容更实用、更完整。第3章“电阻应变测量原理及方法”增加了大量先进、实用的内容,让学生了解更多的工程应用背景和工程应用实例,拓宽学生的知识面,培养学生分析问题、解决问题的能力。第4章“金属材料力学性能及测试原理”已按新国标 GB/T 228—2002 和 GB/T 7314—2005 全部重写,并结合材料力学理论对试样断口进行了基本分析。针对目前实验教学中普遍存在的问题,增加了第6章“实验技术”,以便让学生能够完整了解从实验设计、实验准备、实验测试过程到实验数据处理的全过程。本章还列举了若干典型的材料力学实验内容。

为方便读者使用,本书的实验部分,另有配套的《力学测试技术实验指导书》。

本书可作为单独设课的材料力学实验教材,也可作为材料力学实验和实验力学的参考资料。原则上,本书适用于材料力学实验不少于20学时的教学。推荐讲课与实验学时各16学时。

参加本教材编写工作的有苏小光、王妮、虞伟建和张明等。王妮同志为第3章增加了许多有特色的内容,熊小英同志负责了部分插图的绘图工作。教材的排版、整理和校对工作由张明同志负责。王妮同志也参与了全部内容的审核。由于编者水平有限,编写时间仓促,书中错误之处在所难免,望读者不吝指正。

编 者
2008年4月

目 录

第1章 测试技术概念	1
1.1 绪论	1
1.1.1 测试技术的发展历史	1
1.1.2 力学测试技术与实验	2
1.2 测量的基本概念	2
1.2.1 测量的定义	2
1.2.2 测量的分类	3
1.2.3 关于测量方法	4
1.3 测试系统	4
1.3.1 测试系统的组成及基本要求	4
1.3.2 测试系统的静态特性	7
1.3.3 测试系统的动态特性	9
1.4 实验应力分析	9
1.4.1 实验应力分析概述	9
1.4.2 实验应力分析方法	10
复习题	11
第2章 误差分析和数据处理	12
2.1 误差的基本概念	12
2.1.1 真值	12
2.1.2 误差的定义	13
2.1.3 误差的表示方法	13
2.1.4 误差的来源	14
2.1.5 误差的分类	15
2.1.6 测量数据的精度	15
2.2 有效数字及数据运算	16
2.2.1 有效数字	17
2.2.2 数字舍入规则	17
2.2.3 数据运算规则	18
2.2.4 测量结果数值的修约	19
2.3 随机误差	20
2.3.1 抽样、样本与多次重复测量	20

2.3.2	正态分布的概率计算	20
2.3.3	数学期望与方差的估计值	21
2.3.4	随机误差的特性	22
2.3.5	随机误差的正态分布规律	23
2.3.6	标准差的计算	24
2.3.7	算术平均值标准差的计算	24
2.3.8	置信水平和极限误差	26
2.4	系统误差	29
2.4.1	系统误差的分类	29
2.4.2	系统误差对测量结果的影响	30
2.4.3	系统误差出现的原因及消除	31
2.5	粗大误差	34
2.5.1	粗大误差产生的原因	34
2.5.2	判别粗大误差准则	34
2.6	误差的合成	36
2.6.1	系统误差的合成	36
2.6.2	随机误差的合成	36
2.6.3	误差的总合成	37
2.6.4	间接测量的误差合成	37
2.7	测量的不确定度	38
2.7.1	概述	38
2.7.2	测量不确定度的定义	38
2.7.3	测量不确定度与误差	38
2.7.4	不确定度的合成	41
2.8	数据处理	41
2.8.1	数据处理方法	41
2.8.2	一元线性回归	42
	复习题	44
第3章	电阻应变测量原理及方法	46
3.1	概述	46
3.2	电阻应变片的工作原理、构造和分类	47
3.2.1	电阻应变片的工作原理	47
3.2.2	电阻应变片的构造	48
3.2.3	电阻应变片的分类	48
3.3	电阻应变片的工作特性及标定	51
3.3.1	电阻应变片的工作特性	51
3.3.2	电阻应变片工作特性的标定	54

3.4	电阻应变片的选择、安装和防护	57
3.4.1	电阻应变片的选择	57
3.4.2	电阻应变片的安装	57
3.4.3	电阻应变片的防护	58
3.5	半导体应变片	58
3.5.1	半导体应变片的结构及工作原理	59
3.5.2	半导体应变片的特点	59
3.5.3	半导体应变片的粘贴技术	60
3.6	电阻应变片的测量电路	60
3.6.1	直流电桥	61
3.6.2	电桥的平衡	63
3.6.3	测量电桥的基本特性	64
3.6.4	测量电桥的连接与测量灵敏度	65
3.7	电阻应变仪与应变测试系统	70
3.7.1	静态电阻应变仪	70
3.7.2	测量通道的切换	71
3.7.3	公共补偿接线方法	73
3.7.4	动态电阻应变仪	74
3.7.5	电阻应变测试系统	76
3.8	应变—应力换算关系	77
3.8.1	单向应力状态	77
3.8.2	已知主应力方向的二向应力状态	77
3.8.3	未知主应力方向的二向应力状态	78
3.9	测量电桥的应用	80
3.9.1	拉压应变的测定	81
3.9.2	弯曲应变的测定	82
3.9.3	弯曲切应力的测定	84
3.9.4	扭转切应力的测定	85
3.9.5	内力分量的测定	86
3.10	应变测量	89
3.10.1	应变的直接测量	89
3.10.2	应力的间接测量	90
3.10.3	静态应变测量	91
3.10.4	动态应力—应变测量	92
3.11	电阻应变式传感器	94
3.11.1	概述	94
3.11.2	测力(称重)传感器	94

3.11.3	· 扭矩传感器	101
3.11.4	压力传感器	104
3.11.5	多分力传感器	105
3.11.6	位移传感器	106
3.11.7	加速度传感器	107
复习题		108
第4章	金属材料力学性能及测试原理	111
4.1	概述	111
4.1.1	工程应力和工程应变	111
4.1.2	材料的弹性常数	112
4.2	金属材料拉伸时的力学性能	113
4.2.1	试样与原始标距	113
4.2.2	拉伸图与应力—应变图	114
4.2.3	拉伸曲线的特点与材料力学定义	114
4.2.4	力学性能指标及国标定义	117
4.2.5	应变引伸计及其标定	119
4.2.6	材料强度指标的测定	121
4.2.7	材料的塑性指标及其测定	125
4.2.8	材料弹性常数的测定	127
4.2.9	金属材料拉伸断口分析	128
4.3	金属材料压缩时的力学性能	129
4.3.1	试验机及测量工具	129
4.3.2	压缩力学性能指标及国标定义	130
4.3.3	压缩试样	131
4.3.4	实验条件	131
4.3.5	材料压缩强度指标的测定	132
4.3.6	压缩弹性模量(E_c)的测定	134
4.3.7	压缩实验的断口分析	135
4.4	金属材料扭转时的力学性能	135
4.4.1	扭转试样	136
4.4.2	实验条件	136
4.4.3	扭转力学性能及测定	136
4.4.4	扭转破坏断口形式	138
复习题		138
第5章	光弹性测试原理及方法	140
5.1	概述	140
5.2	光学基础知识	140

5.2.1	光波	140
5.2.2	自然光和平面偏振光	141
5.2.3	光波的干涉	141
5.2.4	双折射	142
5.2.5	圆偏振光	143
5.3	平面应力—光学定律	144
5.4	平面偏振光通过受力模型后的光弹性效应	145
5.4.1	平面偏振光装置简介	145
5.4.2	平面偏振光通过受力模型后的光弹性效应	146
5.5	圆偏振光通过受力模型后的光弹性效应	148
5.5.1	圆偏振光场光强方程式	148
5.5.2	整数级与半整数级等差线	150
5.6	白光下的等差线等色线	151
5.7	等差线条纹级数的确定	152
5.7.1	整数级等差线	152
5.7.2	非整数级等差线	153
5.8	等倾线的观测	154
5.8.1	等倾线的观测方法	154
5.8.2	等倾线的特征	155
5.9	平面光弹性应力计算	157
5.9.1	边界应力	158
5.9.2	内部应力测定	158
5.9.3	应力集中系数的确定	161
5.10	光弹性贴片法	161
5.10.1	光弹性贴片法的基本原理	162
5.10.2	主应变的分离	163
	复习题	163
第6章	实验技术	165
6.1	实验设计	165
6.1.1	实验目的	165
6.1.2	实验设计应该遵循的原则	166
6.1.3	实验设计的辅助手段	167
6.1.4	材料力学实验设计实例	167
6.2	实验准备	170
6.2.1	实验对象(试样)准备	170
6.2.2	实验仪器准备	170
6.2.3	实验过程准备(预调)	171

6.3	实验测试过程	172
6.3.1	实验过程控制	172
6.3.2	实验数据的记录	173
6.3.3	异常及其处理	173
6.3.4	实验的重复及终止	173
6.4	实验数据处理	174
6.4.1	数据整理及数据变换	174
6.4.2	统计分析及回归分析	174
6.4.3	误差及不确定度分析	174
6.5	实验结果分析	175
6.5.1	实验现象及原因分析	175
6.5.2	实验结论	175
6.5.3	实验报告	175
6.6	材料力学典型实验	176
6.6.1	纯弯曲梁正应力分布规律实验	177
6.6.2	压杆稳定实验	177
6.6.3	薄壁圆管弯扭组合变形实验	179
6.6.4	开口薄壁梁弯曲中心及内力分量测定实验	181
6.6.5	对径受压圆环设计实验	182
6.6.6	开口与闭口薄壁管受扭对比实验	183
6.6.7	光弹性测试实验	183
	复习题	185
	参考文献	186

第1章 测试技术概念

1.1 绪 论

测试是具有实验性质的测量,亦可以理解为是测量和实验的综合。测量是为了确定被测对象量值而进行的操作过程,而实验则是对未知事物探索性认识的实验过程。

在科学研究的领域中,测试是人类认识客观事物最直接的手段,是科学研究的基本方法。科学研究的根本目的在于探索自然规律、掌握自然规律,让自然规律为我所用,征服自然。科学探索需要测试技术,用准确而简明的定量关系和数学语言来表述科学规律。检验科学理论和规律的正确性同样也需要测试技术。可以认为精确的测试是科学研究的根基。

在工程技术领域中,工程研究、产品开发、生产监控、质量控制和性能实验等都离不开测试技术。测试技术是柔性制造系统、计算机集成制造系统中不可缺少的重要组成部分。对仓库系统、物料流动系统、机器运行状态、机器人的活动空间等进行有效的监测也需要测试技术。总之,测试技术已广泛应用于航空、航天、国防、地球、物理、生物、医学等,以及国民经济的各个领域,并且起着越来越重要的作用。

随着材料科学、微电子技术和计算机技术的发展,测试技术也在迅速发展。测试内容和范围与日俱增,测试对象日趋复杂,对测试速度和测试精度的要求不断提高。智能传感器和计算机技术的发展和运用,使测试技术正朝着自动化、智能化和网络化的方向发展,朝着测量、控制、分析、显示的自动测试系统发展。

1.1.1 测试技术的发展历史

测试技术的发展,即是仪器仪表科学的发展,大致经历了三个重要的时期。

1. 手工艺时期

20世纪以前,搞科学研究的人多数是个体脑力劳动者,理论研究常常需要实验配合,大多数科学家是自己设计实验,自己动手制作测试仪器。工业生产上使用的仪表大多数属于机械指示式的仪表,主要作为主机的配套设备来使用。因此,这个时期的仪器仪表功能较简单,用途专一,仪器仪表间的互相联系很少。

2. 仪器工程时期

随着电子技术的发展,特别是随着晶体管、集成电路的应用,以及光电、压电、热电等效应的广泛应用,出现了大量的电测仪表和自动记录仪表,在科学研究和生产上逐步形成了由测量点到记录仪表的完整的测试系统。由各种电测仪表、自动记录仪表、自动显示仪表、自动调节仪表等组合而成的自动测试系统,能实现对被测对象的连续监测和控制等目标。

3. 仪器科学时期

近年来,各种新理论、新技术、新材料、新器材和新工艺的不断出现,尤其是微型计算机的广泛应用,使仪器仪表及相关的测试技术得到飞速发展。在仪器仪表的设计、制造和使用过程中,已涉及到众多的知识领域和先进技术(包括物理学、化学、精密机械设计、电子技术、微型计算机技术、信息处理技术、数据通信技术、自动控制技术等),而科学技术的发展对测试技术也提出了更高的要求。迫切需要研制和设计出智能化、多功能化、数字化、集成化、微型或小型化的智能仪器仪表、智能测试系统,以满足更快速、更准确、更灵敏、更可靠、更高效的测试要求。数字化、智能化、网络化已是当代测试技术的重要标志。

1.1.2 力学测试技术与实验

力学测试技术仅仅是测试技术的一个方面,是用各种不同的实验方法和手段来测量材料的力学性能(或称机械性能)、受力零构件和工程结构的应力、应变、力、力矩、位移等力学量参数,以解决工程结构中的强度、刚度、稳定性等问题。力学测试技术也为一些力学量传感器的设计与制造提供必要的理论及实验依据。

在解决工程结构强度、刚度、稳定性等问题时有两种方法:一种是理论分析的方法;另一种是实验应力分析的方法。理论分析的方法是建立数学模型进行近似数值计算,例如,使用材料力学的理论计算受力构件的应力和变形;使用有限单元法,借助计算机求解复杂受力构件的应力、应变等的有关数据等。实验应力分析的方法是以零构件或结构物的原型或模型为研究对象,通过对其进行实验测试来揭示其力学性能或力学量的变化规律。实验应力分析是实验力学的重要组成部分,其实验结果为力学理论的建立、研究、发展和应用提供了重要依据。实验应力分析包括实验理论和实验方法,实验应力分析方法有电测法、光测法、声测法等许多测试方法,是测试技术的一部分,称为力学测试技术。

力学测试技术的任务是在研究力学测试原理的基础上,通过一系列专门设计的相关实验和材料力学实验,帮助掌握测试原理和实验技能,提高实验技术水平,培养具有解决工程实际问题能力的科研人员和高级工程技术人员。

力学测试技术是一门具有综合性、边缘性学科性质的课程,也是一门实践性很强的课程。它牵涉的知识面较广,除必须具备应力分析理论、误差分析和数据处理等方面的知识外,还必须掌握电学、光学等方面的知识。

1.2 测量的基本概念

1.2.1 测量的定义

测量是通过实验手段获得被测对象的量值的一个操作过程。

测量的目的是要得到被测对象的量值。对于不同的对象、或相同对象不同性质的量、或相同性质但精度要求不同的量,得到其量值的方法往往不同。或许是用工具,或许是用仪表来确定被测量的量值,而不同工具或不同仪表使用的测量方法或测量原理可能完全不同。

1.2.2 测量的分类

测量的方法很多,一般按测量结果的精度要求或按取得测量结果的方法、条件或按测量状态,将测量分为工程测量与精密测量、直接测量与间接测量、等精度测量与不等精度测量和静态测量与动态测量。

1. 工程测量与精密测量

根据测量结果的精度要求,测量可分为工程测量与精密测量。

工程测量有以下两种情况。一种为测量结果中不考虑测量误差的测量。通常对用于这类工程测量的设备和仪器的灵敏度、精度以及测量环境的要求都不高,只要给出比较稳定的测得值就能满足测量要求。另一种为不需要精细考虑测量误差的测量。用于这种测量的设备和仪器,在产品检定书或铭牌上标注有测量误差的极限值,该标注的测量误差极限值即为测得值的误差。在一般生产现场和科学研究实验中所进行的测量,多为工程测量。

精密测量指测量结果中包含精细估计测量误差的测量。用于这类测量的设备和仪器应具有一定的精度和灵敏度,并且应进行重复多次测量,得到一套测量数据;测量数据按误差理论进行分析、处理,计算得到最佳的测量结果,最终给出的测量结果中包含经过精细估计的测量误差。进行精密测量的条件(环境)比工程测量的要求严格,一般都在符合测量条件的实验室内进行,所以又称为实验室测量。

2. 直接测量与间接测量

根据取得测量结果的方法,测量可分为直接测量与间接测量。

直接测量有两种获取被测量量值的方法:一种是将被测量与标准量直接进行比较而获得被测量的测量;另一种是用已经过标准量标定的器具、仪器对被测量直接进行测量而获得被测量的测量。

例 1.1 天平称物体质量 属第一种测量方法。

例 1.2 卡尺测量工件尺寸 属第二种测量方法。

间接测量是指通过获得与被测量有函数关系的其他测量值,根据函数关系确定被测量的量值的测量方法。

例 1.3 测量圆面积 A , 首先测量圆直径 d , 然后通过 $A = \frac{\pi}{4} d^2$ 求得圆面积 A 。

3. 等精度测量与不等精度测量

根据取得测量结果的条件,测量可分为等精度测量与不等精度测量。

等精度测量是在相同测量精度条件下(包括相同的测量仪器设备、相同的测量环境、相同的测量人员),对某一被测量进行重复测量,取得测量数据的测量。对等精度测量所得的每个数据,其可信赖程度是相同的。本书除特别说明外,讨论的测量问题都属于等精度测量问题。

如果测试条件有一项或多项有所改变,则进行的重复测量即为不等精度测量。不等精度测量所得的测量数据,其可信赖程度是不同的,一般需采取特殊的处理方法处理测量结果。

4. 静态测量与动态测量

根据被测对象状态,测量可分为静态测量与动态测量。

静态测量是对静态量或准静态量的测量。静态量指在测量过程中固定不变的量,准静态量指在测量过程中随时间缓慢变化的量。静态测量不需要考虑时间因素对测量结果的影响。

动态测量是对动态量的测量。动态量指在测量过程中随时间变化的量。动态量有周期变化和非周期变化等特征。

本书主要讨论静态测量的问题,动态测量的问题可以查阅有关书籍。

1.2.3 关于测量方法

为减小测量误差,人们研究了许多提高测量精度的方法。其中,偏差测量法、零位测量法与微差测量法是常用的几种测量方法。

1. 偏差测量法

偏差测量法是根据仪表指针位移(即偏差)确定被测量量值的一种测量方法。它以直接方式实现被测量与标准量的比较,测量过程简单、快捷、直观,但测量结果的精度较低。这种测量方法在工程测量中得到广泛应用。

2. 零位测量法

零位测量法是调整一个或几个与被测量有已知平衡关系的量(标准量或已校准过的量),通过平衡确定被测量量值的一种测量方法,零位式测量法又称为补偿式测量法或平衡式测量法。这种测量方法测量过程比较复杂、费时,但能获得比较高的测量精度。例如,用电桥测量高精度电阻就常用这种方法。

3. 微差测量法

微差测量法是将被测量与同它只有微小差别的已知同种量(标准量)相比较,通过测量这两个量值间的差值以确定被测量的一种测量方法。这种测量方法具有响应快、测量精度高等优点,特别适用于在线控制参数的测量。

1.3 测试系统

通过一定的测试或控制手段,获取某些被测对象的重要信息的完整系统称为测试系统。狭义的测试系统等同于测量系统,而广义的测试系统应包括基本的控制功能。

现代的生产与生活离不开测量与控制。高新技术、尖端科技更离不开测控。当今的信息时代以计算机广泛应用为主要标志,而计算机的发展首先归功于微电子技术的发展。一块半导体芯片上能集成成千上万个元件和逻辑单元取决于超精细工艺制作出的图案,这不仅依赖于光刻的精确重复定位,而且依赖于定位系统的精密测量与控制。航空航天飞行器的发射与飞行,都需要靠精密测量与控制保证它们轨道的准确性。

1.3.1 测试系统的组成及基本要求

1. 测试系统的组成

一个完整的测试系统包括以下三个部分(图 1.1)。

(1) 传感级。直接感受被测量,并将其转换成与被测量有一定函数关系(通常为线性关系)的另一种物理量(通常为电量),以便处理或传输。

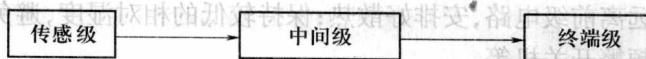


图 1.1 测试系统的组成

(2) 中间级。将接收到的传感级信号进行变换、放大或转换成后续要求的统一信号等。

(3) 终端级。显示或控制中间级信号。一般是一个显示器或是一个控制器,也可能是两者的组合。终端级常包含基本的控制功能、数据记录和数据处理功能。显示器有指示式、数字式和屏幕式几种。大型的测试系统常使用综合显示系统,将多种不同类型的测试数据、状态或图形显示在一个统一的屏幕上。

传感级的基本元件为传感器。

传感器作为非电量的敏感元件,其功能是探测被测对象的变化并将其转换成易于测量和控制的电信号。但是,传感器的输出信号一般很微弱,而且常伴随着各种噪声,需要通过测量电路将它放大,剔除噪声,选取有用信号,按照测量与控制功能的要求,进行所需的演算、处理与转换,输出能控制执行机构动作的信号。完成这一功能的电路称为测控电路。在整个测试系统中,测控电路是最灵活的部分,起着十分关键的作用,它具有放大、转换、传输,以及适应各种使用要求的功能。一旦传感器确定后,整个测试系统,乃至整个机器和生产系统的性能在很大程度上取决于测控电路。

2. 测试系统的基本要求

测试系统实际上包括非电量即被测对象的测量与控制两部分。对整个测试系统要求而言,可概括为精度高、响应快和转换灵活,当然也还有其他方面的要求,如系统的可靠性和性能价格比等。

(1) 精度高

对于测试系统首先要求具有高的精度,即传感器能准确地反映(即检测到)被测对象的状态与参数,这是获得高精度的基础,也是实现准确控制的前提条件。因此,测控电路应具备如下性能。

(1) 低噪声与高抗干扰能力。传感器输出信号的变化往往是很微小的。在精密测量中,要精确测得被测参数的微小变化,必须采用低噪声元器件,精心设计电路,合理布置元器件、走线和接地,采用适当的隔离与屏蔽等,以保证测量电路的噪声降到最低,抗干扰能力最强。必要时,对信号进行调制,合理安排电路的通频带,对抑制干扰也是十分重要的。此外,对于高增益放大电路,采用高共模抑制比的差动输入放大电路,将有效地抑制共模干扰及工频干扰。

(2) 低漂移,高稳定性。由半导体材料特性决定,半导体器件和集成电路的所有参数严格意义上讲都是温度的函数,如运算放大器的失调电压和失调电流、二极管与三极管的漏电流,都会随温度变化而变化。电路工作中元器件流过的电流产生的热量、外界环境温度的变化等都会引起电路的漂移。另外,仪器工作环境的相对湿度对传感器及工作电路的工作稳定性也有较大影响。此外,电路长期工作、频繁开关机、元器件老化、开关与接插件的弹性疲劳和氧化造成接触电阻的变化等因素也是影响电路长期工作稳定性的重要原因。

减少漂移的基本做法是:选用低功耗节能型元器件,尽量减少电路关键部分的温度变化;选择低温漂元器件,减小温度变化对电路输出的影响;尽量使用电子开关代替机械开

关;让大功率器件远离前级电路,安排好散热;保持较低的相对湿度,避免使用湿布清洁传感器或仪表;避免频繁开关机等。

(3) 线性度与保真度。对于测试系统,不管其中间经过多少环节的信号变换,都要能真实地再现被测信号。这就要求系统本身具有不失真传输信号的能力,而测量电路良好的线性关系和在信号所占频带段内良好的频率特性是保证信号传输不失真的关键。对于动态测试系统,良好的线性关系尤为重要。

(4) 有合适的输入与输出阻抗。测量电路输入与输出阻抗前后级不匹配,不但会影响系统的线性度、灵敏度,还会引起测量电路的噪声。为保证测试系统的精度,还必须重视系统的输入与输出阻抗的匹配。

大多数情况下,要求测量电路具有高输入阻抗、低输出阻抗。但对于电流输出型测量电路,则要求下级具有较低的输入阻抗。用于长距离传输的信号,输出端的输出阻抗不能过小,否则容易因传输线路的意外短路而损坏输出驱动电路;其下级的信号输入部分则常设计为低阻抗输入,以提高传输信号的信噪比。

2) 响应速度快

响应速度快,主要针对动态测试系统而言,它是动态测试系统的一项重要指标。实时动态测试已成为测试技术发展的主流。要实现对被控对象的精准控制,必然要求能迅速、准确地测出被测对象的变化状态,测量电路必须具有良好的频率特性和较快的响应速度。

事实上,高响应速度与高精度测量是矛盾的,应根据测试对象的特点选择合适的响应速度和测量精度。

3) 转换灵活

为了满足不同情况下测量与控制的需要,测量电路应具有灵活地转换输出信号的能力,主要的转换有以下几种。

(1) A/D 转换与 D/A 转换。以幅值的大小表示信号量值大小的量称为模拟量(Analog Signal),常以 A 表示;以开关量的组合表示信号量值大小的量称为数字量(Digital Signal),常以 D 表示。被测信号及控制信号有数字量和模拟量之分。数字量具有便于计算、分析处理和长期保存的特点,而自然信号本身则多为模拟量。因此,常需根据系统对信号的要求,进行 A/D 转换和 D/A 转换。

(2) 信号其他形式的转换。除模拟量和数字量的相互转换外,测试系统的信号还需做其他形式的转换,如交流/直流转换、电压/电流转换、幅值/频率转换、相位/幅值转换、幅值/脉宽转换等。

4) 信号的选择性和运算处理能力强

对于测试系统还需要具有从测量所获取的多种信号中选取所需信号的能力,例如,测量不同频率的信号,系统应具有选取所需频率或所需频带的能力。

对信号进行处理、运算也是测试系统所必须具有的能力,例如,对测量信号进行整流、放大、滤波处理和进行线性化、误差补偿等处理,对信号进行求平均值、求微分、积分、对数运算和逻辑判断、复杂函数运算等。

5) 可靠性与性能价格比

随着测控技术的发展,测试系统的应用越来越广泛,系统本身规模越来越大,这对系

统的可靠性提出了严格的要求。一个系统由若干个单元部分组成。假设每个单元的各种可靠性是相互独立的,那么,整个系统的可靠性为各部分可靠性的乘积。

例如,一个智能化温度检测系统,含有传感器、放大器、A/D 转换器、单片机及外围芯片、打印机、显示部件 7 部分单元,每部分的可靠性为 0.99,则整个系统的可靠性仅为 $0.99^7 = 0.93$ 。若考虑到电源、接插件等部件和元器件可靠性,系统的可靠性还会更低。由此可见,一个测试系统对电子元器件的可靠性提出了极高的要求。

性能价格比是衡量和综合评估一台仪器或系统的重要指标之一。一个成本高昂的测量和控制系统难以被用户接收。在满足性能指标的基础上,应尽可能地优化系统、降低成本、提高产品的性能价格比。

1.3.2 测试系统的静态特性

当被测量不随时间变化,或随时间变化的速率非常缓慢时,评价一个测试系统的品质主要是用测试系统的静态特性来衡量的。进行测量时,测试系统的输入和输出的关系曲线称为静态特性曲线。测试系统的静态特性,即指静态特性曲线形状的一些基本性能。

测试系统的静态特性主要有以下几个方面。

1. 量程

量程是指测试系统输入信号的有效工作范围。该有效工作范围的最大值称为满量程 (Full Scale),常记为 F. S.。包含全部有效工作范围的信号区间称为全量程。

2. 线性度

测试系统的静态特性曲线在理想情况下是线性的,但实际上往往并非如此。图 1.2 中曲线 a 表示静态特性曲线,直线 b 为曲线 a 的拟合直线。静态特性曲线与拟合直线之

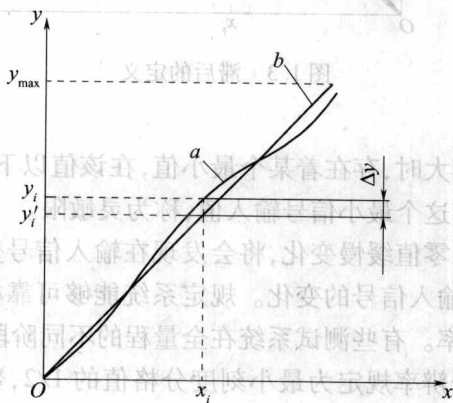


图 1.2 线性度的定义

间的最大偏差 $|y_i - y_i'|_{\max}$ 与全量程输出范围 $y_{\max}$ 比值的百分数称为测试系统的线性度,即

$$\text{线性度} = \frac{|y_i - y_i'|_{\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1.1)$$

线性度说明静态特性曲线与拟合直线的吻合程度。

3. 灵敏度

灵敏度是指测试系统输出量的变化量 Δy 与输入量的变化量 Δx 的比值,即