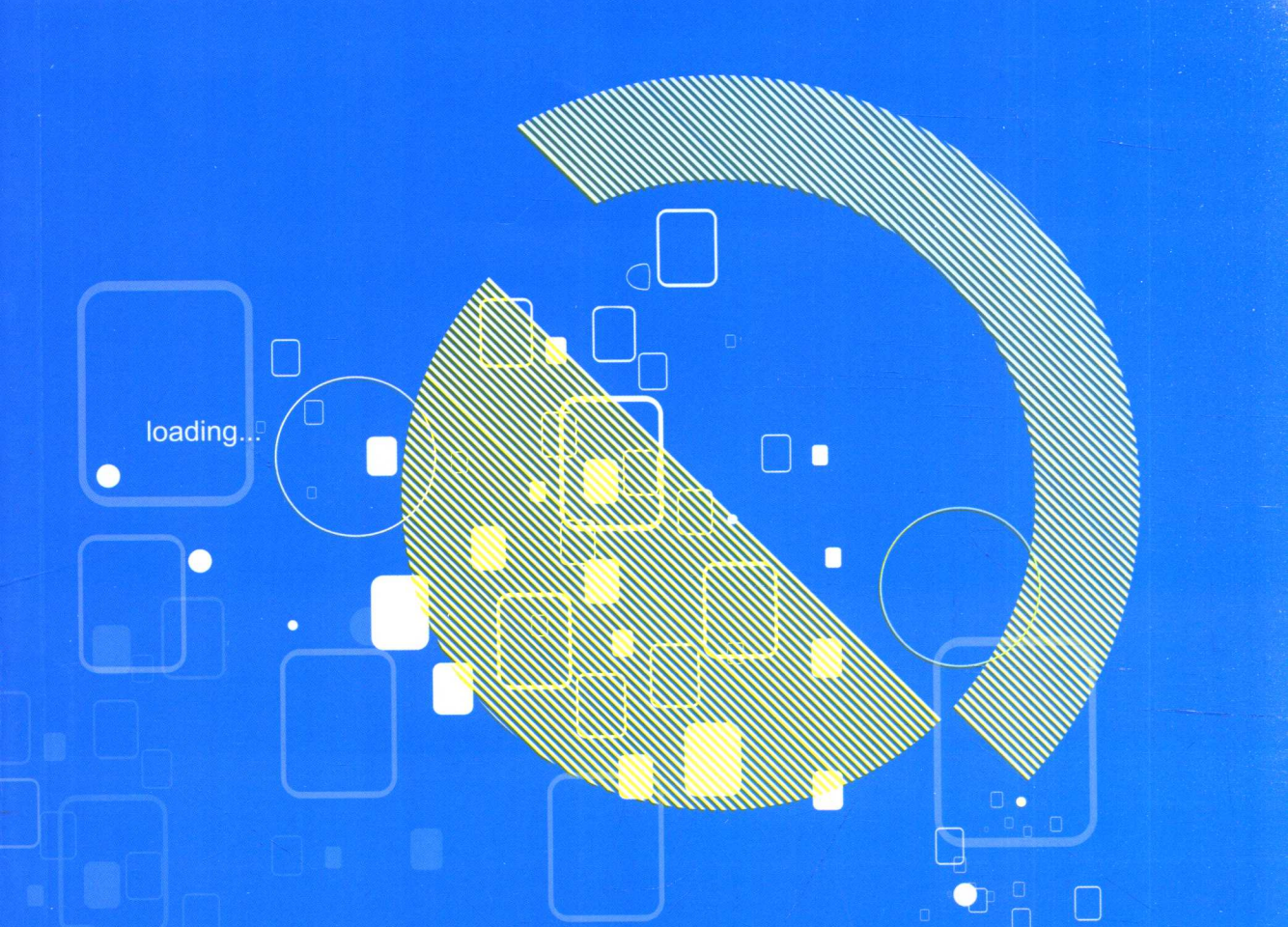




loading...

DESIGN AND TECHNOLOGY ON
MEASUREMENT SYSTEM IN AGRICULTURAL ENGINEERING

农业工程测试系统 设计与技术

孙裕晶 王超飞 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

Design and Technology on

Measurement System in Agricultural Engineering

农业工程测试系统设计与技术

孙裕晶 王超飞 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

测试与控制是一门集测量、试验、控制及计算机技术于一体的综合技术,广泛地用于工业、农业、交通运输、国防、医疗以及科研等领域,已成为这些领域必不可少的技术手段。

本书以机械工程测试系统设计与应用为主线,介绍了常用的机械工程检测传感器原理与应用、测试信号处理技术、测试系统分析与设计方法。以应变片测试系统为例,介绍测试系统硬件设计、软件开发、系统调试和标定方法以及典型农业工程工作参数的测试方法。最后一章以虚拟仪器技术为代表介绍现代测试技术。

本书是农业工程和机械工程相关专业的本科生和研究生教材,也可供相关专业人员技术培训,同时也可供相近专业学生及工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

农业工程测试系统设计与技术 / 孙裕晶, 王超飞编著. —北京: 电子工业出版社, 2016.1

ISBN 978-7-121-27273-8

I. ①农… II. ①孙… ②王… III. ①农业机械—测试系统—教材 IV. ①S220

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 227483 号

策划编辑: 董亚峰

责任编辑: 赵 娜

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23.5 字数: 602 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 58.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前言

《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》指出：“高等教育要重视大学生的创新能力、实践能力和创造精神。”在这个意义上讲，高等教育的目标要更强调培养开放的科学思维、严密的逻辑分析能力和熟练的动手技能，而不仅仅是知识的灌输。如何把素质培养体现在工程测试技术课程教学当中？带着这个问题，编者在教学中以工程测试案例为主线，引入基于项目的学习模式，进行了相关课程的教学实践。教学中发现：由于教学内容变化，很难找到与教学内容相匹配的教材，给学生学习和应用带来不便。因此，产生了为机械工程类专业学生编写一本实用教材的想法。

本教材以工程测试系统设计与应用为主线，结合机械工程、农业工程实例，介绍了常用传感器原理与应用、测试信号分析技术和测试系统特性分析方法。通过应变片测试系统设计和应用案例，介绍了测试系统硬件设计、系统调试和标定，以及典型动力学参数的测试方法。全书内容分为3部分：第1部分包括测试过程概述、常用机械工程检测传感器、模拟信号变换与处理、测试系统特性；第2部分包括应变片电测技术、振动测量、温度与湿度测量、压力和流量测量，介绍农业工程常用的测试系统设计和应用方法；第3部分以虚拟仪器硬件设计和LabVIEW软件开发为例介绍了计算机控制测试技术的硬件设计和软件开发方法。

本书以测试系统工程应用为主，重点介绍信号转换单元工作原理、典型功能单元的设计和测试系统分析以及主要相关硬件选型和软件设计方法。选材上重视系统概念和测试理论的工程应用，尽量简化理论性数学推理过程，如振动分析理论与数据处理方法，需要了解相关内容的读者可以参阅有关教材和专著。

本书出版得到教育部“高等学校专业综合改革试点——农业机械化及其自动化”项目和吉林大学本科教材“十二五”规划项目的资助。在本书编写过程中坎特伯雷大学(The University of Canterbury, New Zealand)陈小奇教授提供了很多建设性的意见和信息,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2015年4月

目 录

第 1 章 工程测试概述	1
1.1 工程测试的重要性	2
1.2 测试方法和测试系统结构	2
1.2.1 测试方法	2
1.2.2 测试系统的功能结构	3
1.3 测试信号	6
1.3.1 信号类型	6
1.3.2 测试信号分析方法	8
1.4 测试与试验设计	11
1.5 测试系统标定	12
1.5.1 静态标定	13
1.5.2 动态标定	14
1.6 测试系统的不确定性与测量误差	14
1.6.1 误差类型	14
1.6.2 测试误差常用概念	15
1.7 小结	16
习题与思考题	16
第 2 章 常用机械工程检测传感器	17
2.1 电位器式电阻传感器	18
2.1.1 线绕电位器式电阻传感器	18
2.1.2 非线绕式电位器位移传感器	19
2.1.3 电位器式位移传感器的负载特性及非线性误差	21
2.2 电阻应变式传感器	23
2.2.1 电阻应变片工作原理	23
2.2.2 金属电阻应变片	24

2.2.3	半导体应变片	25
2.2.4	应变片工作特性	27
2.2.5	电阻应变式位移传感器	30
2.3	电感式传感器	31
2.3.1	自感式传感器	32
2.3.2	差动变压器式传感器	33
2.3.3	电涡流式传感器	38
2.3.4	感应同步器系统	41
2.4	电容式传感器	47
2.4.1	工作原理	47
2.4.2	电容式位移传感器	50
2.4.3	测量电路	52
2.5	压电式传感器	57
2.5.1	压电材料	57
2.5.2	等效电路	61
2.5.3	测量电路	62
2.6	磁敏传感器	64
2.6.1	霍尔元件	64
2.6.2	磁敏电阻	65
2.6.3	磁敏管	66
2.6.4	霍尔微量位移传感器	67
2.6.5	振弦式位移传感器	68
2.6.6	磁阻式位移传感器	68
2.6.7	磁栅式位移测量系统	69
2.7	光电式传感器	71
2.7.1	光敏电阻	72
2.7.2	光电池	72
2.7.3	光敏晶体管	73
2.7.4	固体图像传感器	73
2.8	光栅位移测量系统	76
2.8.1	光栅的结构和分类	76
2.8.2	莫尔条纹	77
2.8.3	辨向电路	79
2.9	光纤位移测量系统	81
2.9.1	功能型光纤传感器	81
2.9.2	反射式光纤位移传感器	83

2.9.3 光电转换及放大电路	84
2.10 轴角编码器	84
2.10.1 绝对式编码器	85
2.10.2 增量式编码器	86
习题与思考题	87
第3章 模拟信号变换与处理	89
3.1 分压测量电路	89
3.1.1 分压电路	90
3.1.2 电位计式测量电路	91
3.2 电桥测量电路	92
3.2.1 直流电桥	92
3.2.2 交流电桥	97
3.2.3 电桥的平衡	99
3.3 测量放大电路	101
3.3.1 运算放大器	101
3.3.2 专用测试放大电路	103
3.4 滤波器	106
3.4.1 滤波器分类及基本参数	107
3.4.2 RC 滤波器	108
3.4.3 有源滤波器	110
3.5 调制与解调	112
3.5.1 调幅及其解调	113
3.5.2 调频及其解调	115
3.6 测试系统信号屏蔽与线路连接	116
3.6.1 屏蔽	116
3.6.2 接地	117
3.6.3 测试系统信号线	117
习题与思考题	118
第4章 测试系统特性	119
4.1 测试仪器与线性系统	120
4.1.1 线性系统	120
4.1.2 非线性系统	121
4.2 测试系统的静态特性	122
4.2.1 常用静态特性指标	122
4.2.2 其他指标	125

4.3	测试系统的动态特性	126
4.3.1	描述测试系统动态特性的数学模型	127
4.3.2	典型测试系统及其动态特性	129
4.3.3	复杂测试系统的动态特性	136
4.4	测试系统的标定	138
4.4.1	静态参数标定方法	138
4.4.2	动态特性参数标定	139
4.5	不失真测试准则	142
	习题与思考题	144
第 5 章	测试信号数字化处理技术	145
5.1	模拟信号采样与离散化	146
5.1.1	采样与采样定理	146
5.1.2	频率混叠	148
5.1.3	离散傅里叶变换 (DFT)	149
5.1.4	采样长度与频率分辨率	150
5.1.5	泄漏及窗函数	151
5.1.6	信号保真度	152
5.2	测试信号数字化转换技术	153
5.2.1	模数转换器 (A/D)	153
5.2.2	数模转换器 (D/A)	155
5.2.3	逐次逼近转换器	156
5.2.4	斜坡 (积分) A/D 转换器	158
5.2.5	并行转换器 (Parallel Converters)	160
5.2.6	数字电压表	161
5.3	常用数字滤波算法	161
5.3.1	克服大脉冲干扰的数字滤波法	162
5.3.2	抑制小幅度高频噪声的平均滤波法	164
5.3.3	复合滤波法	165
5.3.4	现代数字滤波算法	166
5.4	测试系统数字通信接口	166
5.4.1	模拟通信接口	166
5.4.2	数字通信接口	170
	习题与思考题	175
第 6 章	应变测试系统设计	176
6.1	应变测试系统	176

6.1.1 应变片测试系统类型	177
6.1.2 电阻应变仪	180
6.1.3 信号记录仪器	183
6.2 典型载荷的布片和接桥	186
6.2.1 单向拉伸（压缩）载荷测量	186
6.2.2 弯曲载荷的测量	187
6.2.3 试件同时受拉伸（压缩）及弯曲载荷的测量方法	188
6.2.4 剪力测量	189
6.2.5 扭矩的测量	191
6.2.6 平面应力测量	192
6.3 应变传感器设计	192
6.3.1 传感器设计	193
6.3.2 应变传感器工艺设计	199
6.4 扭矩测试系统	202
6.4.1 扭矩传感器	203
6.4.2 集流环	207
6.5 应变测试系统标定	211
6.5.1 机械标定和电标定	211
6.5.2 扭矩标定方法	215
6.5.3 振动传感器标定	219
6.6 农业机械悬挂机组工作阻力测试方法	220
6.6.1 悬挂杆测力法	221
6.6.2 悬挂销测力法	224
6.6.3 框架式悬挂测力装置	227
6.6.4 犁体六分力测量	229
习题与思考题	232
第7章 振动测试技术	234
7.1 机械振动测试系统概述	235
7.1.1 振动测量系统基本组成	235
7.1.2 动态特性测试系统结构	236
7.1.3 激振方式	237
7.1.4 常用激振器	240
7.2 振动传感器	242
7.2.1 惯性式测振传感器原理	243
7.2.2 磁电式速度传感器	247
7.2.3 压电式传感器	247

7.2.4 应变式加速度传感器	250
7.3 振动测试系统设计	250
7.3.1 压电传感器测试系统	252
7.3.2 YE5858 双积分电荷放大器	254
7.3.3 压电传感器测试系统调试和应用	256
7.4 机械系统操作平顺性测量与评价	256
7.4.1 手把振动测量及评价方法	257
7.4.2 座椅振动测量及评价方法	259
习题与思考题	260
第 8 章 过程参量测试	262
8.1 温度测试	262
8.1.1 基本概念	263
8.1.2 热电阻	264
8.1.3 热电偶	268
8.1.4 辐射温度传感器	274
8.2 压力测量	275
8.2.1 压力检测方法	276
8.2.2 基于弹性元件的压力计	277
8.2.3 力平衡式压力传感器	280
8.2.4 常用电测压力传感器	280
8.3 流体运动检测	283
8.3.1 概述	284
8.3.2 差压式流量计	286
8.3.3 电磁流量计	288
8.3.4 转子流量计	290
8.3.5 椭圆齿轮流量计	290
习题与思考题	291
第 9 章 现代测试技术	292
9.1 数据采集系统概述	292
9.1.1 数据采集系统的基本组成	293
9.1.2 数据采集系统的主要性能指标	295
9.2 数据采集系统设计	296
9.2.1 数据采集系统设计的一般程序	297
9.2.2 系统 A/D 通道设计	299
9.3 干扰及抑制方法	305

9.3.1 干扰源	306
9.3.2 干扰的作用方式	307
9.3.3 抑制干扰的措施	307
9.4 虚拟仪器技术	309
9.4.1 测试仪器的发展	310
9.4.2 虚拟仪器的分类	311
9.4.3 虚拟仪器体系	312
9.5 LabVIEW 应用软件开发	314
9.5.1 VI 软件基本结构	314
9.5.2 LabVIEW 操作模板	316
9.5.3 实用工具软件包	319
9.5.4 创建一个 VI 程序	322
9.5.5 程序调试	325
9.5.6 子 VI 程序调用	328
9.6 LabVIEW 数据采集程序设计	335
9.6.1 DAQ 卡选择	336
9.6.2 数据采集 VI 程序设计	337
9.7 LabVIEW 仪器控制程序设计	344
9.7.1 串行通信	344
9.7.2 IEEE488 (GPIB)	346
9.7.3 VISA 编程	349
9.7.4 用 LabVIEW 编写仪器驱动程序	351
9.8 LabVIEW 信号分析程序设计	355
9.8.1 信号产生	355
9.8.2 信号处理	357
9.8.3 数字滤波器	358
9.8.4 曲线拟合	360
习题与思考题	363
参考文献	364

第1章

工程测试概述

自然界的事物都具有一定数量，测试就是确定事物或状态量化信息的方法和过程。比如，我们开车时要关注汽车的速度、发动机转速和剩余油量等，热水器、电饭煲工作中要监测和控制温度，……因此，测试与我们的生活息息相关。

日常生活中，或许我们不太在意测试仪器的选择。毕竟，这些仪器对我们来说很熟悉，测试数据也很明确，这些测试内容的重要程度还不足以使我们关心如何提高测试精确性或如何选择更好的方法。当面对更复杂的问题时，如我们想确认研制的新型柴油机是否达到设计动力要求和排放标准时，不得不重视对测试仪器、测试技术和测试数据分析方法的选择。

从根本上讲，任何测试的目标都是为寻求某个问题的答案，通过测试获得某些特定变量的值或变化趋势。由此获得的信息取决于测试装置和系统的输出结果。为保证测试装置输出结果能如实反映被测量的真实值，需要明确测试系统的基本要素。在此基础上，还需解决两方面问题：

(1) 如何设计测试或试验方案获得要求的明确信息？

(2) 如何运用测试系统，使工程师便于解释测试数据，并相信测试结果的可靠性？

测试技术是面向工程应用的学科，专用测试系统和程序只是解决问题的方案之一。对于同一个测试问题，可能不局限于一种解决方案，不同方案有优劣之分。因此，对于具体的测试问题，需要选择适用的测试设备、方法和数据分析手段以满足设计要求。

1.1 工程测试的重要性

测试不是一种估计，而是获取物理参数量化信息的过程。在这个意义上，测试既是认识和理解自然界的手段，又是验证理论假设与设计方案的技术手段。测试技术是通过工程技术手段扩展人类从宏观领域和微观领域观察和认识世界能力的工具，是科学研究的基本方法。从身边的长度、面积、质量和时间测量，到宏观和微观世界的分析，都离不开测试技术。因此，测试是科学研究、产品设计开发的根本基础，在工程活动中的作用主要体现在以下方面。

（1）测试是探索工程技术规律的基本方法

复杂系统设计包含 3 个要素：经验、推理和试验。工程经验取决于以往对类似系统的经历和设计理念。推理是基于工程原理和物理定律等进行量化分析。试验则是通过测试设备和过程参数获得测试目标值，进行测试结果与已有结果的对比。工程设计和技术研究中所涉及的对象往往十分复杂，很多问题还难以进行严密的理论分析和计算。因此，多数工程设计结构和重要参数的选取都要通过测试手段去校核和确定。

（2）测试也是系统控制的基本要素

自动化生产中，需要检测被控对象的状态参数，根据实测值和目标值的差值确定对执行单元决策控制量。测试水平的优劣直接影响控制水平的高低。一些自动化程度高的设备除了测试系统的基本技术指标，还对设备正常运行时的振动、噪声等指标进行在线检测，监视设备的运行状况，实现自动报警和故障操作，消除隐患。

1.2 测试方法和测试系统结构

1.2.1 测试方法

测量的目标是把被测量与同性质的标准量进行比较，把被测信息转化成易于量化的形式，从而获得被测量的数量概念，表示为标准量的若干倍。有直接测量法（或直接对照法）和间接测量法（或非直接对照法）两种基本测试方法。间接测量法通过利用标定系统获得测试系统输出与被测量之间的关系。

1. 直接测量法

生活中,如何测量一块木板的大小和厚度?如果没有特别要求,可以用钢尺或卷尺来操作。通过比较木板的尺寸和等量钢尺长度包含的标准单位量值确定木板的长度值。这样,就通过直接比较法获得了木板的长度。

用直接测量法测长度时一般测量精度约为 1mm,但测量中往往需要更高的精确度。如要精确测量一张薄纸的厚度,其尺寸一般为 0.1mm 或更小。在大多数场合下,无法将被测量直接与同性质的标准量进行比较,或者对测试结果有更高的精度要求时,直接测量法就无法满足需要。这时就需要借助更复杂的测试系统进行某种转换,转换往往是实现测量的必要手段。因此,在工程测试中,间接测试法应用更广泛。

2. 间接测试法

间接测试法在测试环节中采用转换装置把输入信号的形式转换成一种模拟量,再通过处理按照原始信号的功能在输出端表示出来。为了使测试结果便于理解,这种转换往往是很必要的。例如,人类的直觉无法感受机器部件的应变,这时就需要利用辅助系统对测试信号进行转换,通过图表形式模拟输出或者数字形式记录和输出。

测试系统中,尤其是动态机械测试中,越来越多地利用传感器把被测非电量变换为电量,然后进行进一步转换、处理和显示。模拟信号的处理有多种方式。最常用的是通过放大器进行信号放大,或者通过过滤器从并行输入信号中提取需要的信息。在远程信息测试中,还需要利用遥测手段读取和记录测试信息。非电量电测法优点如下:

(1) 通过电量放大器很容易将被测量放大很多倍,可检测极其微小的量;

(2) 既可测静态量也可测动态量,而且可测瞬态量;

(3) 可以用有线或无线方式实现远距离遥测;

(4) 可利用计算机进行自动测试、分析和处理测试数据,实现自动连续测量、记录、反馈自动控制和智能调整生产过程。

1.2.2 测试系统的功能结构

测试是一种给某些物理参数赋予特定值的活动。人的直观感觉是有限和相对的,不善于为观察到的物理变量确定具体的量化数值。测试系统是一种定量表示物理参数的工具,通过定量检测和识别物体的表面粗糙度、长度、声音、颜色和气味等参数,扩展人们的感覺能力。

测试系统包含一系列功能部件,这些部件共同完成特定的目标。非电量电测系统按照信息的处理过程包括:信息获取、信号转换、信号处理、结果显示记录和反馈控制。如图 1-1 所示,一般情况下一个测试系统包括全部或部分以下 4 类功能单元:①信号检测与转换单元;②信号调理和信号处理单元;③结果记录和输出单元;④反馈控制单元。

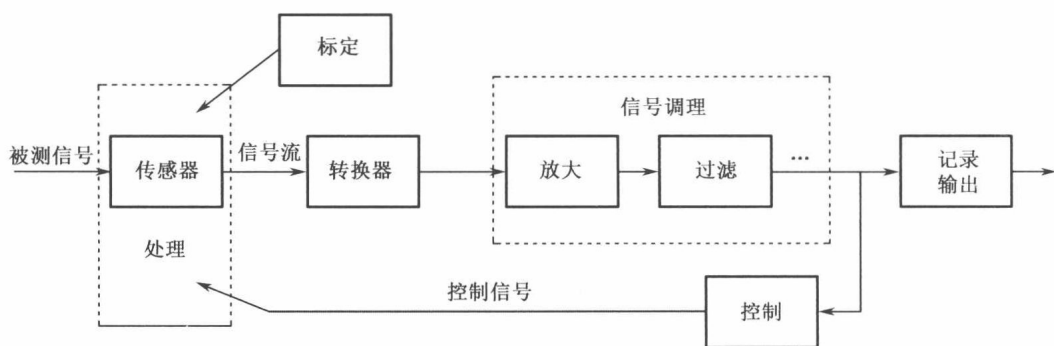


图 1-1 测试系统信息流

1. 信号检测与转换

传感器是将被测量按一定规律转换成便于应用的某种物理量的装置，其输出有机械量、光学量和电量等。第 1 阶段的主要功能是检测被测变量。同时，这个阶段也应该对其他可能的非测试目标变量输入信号不敏感。例如，在检测压力时应该对加速度不敏感；在测试线性加速度时应该对角加速度不敏感。然而，测试装置应用中很难实现理想的选择性。这些对意外信息的敏感性会产生测试误差，快速变化信号产生信号噪声，变化缓慢的信号产生信号漂移。

材料微观尺度的特性是科学技术发展的一个新型领域。研究发现：在纳米尺度检测材料表面特征时，微型悬臂梁接近材料表面时在原子力的作用下会产生一定的偏移。如图 1.2 所示，这里假定原子力对悬臂梁的作用力是斥力。当微型悬臂梁沿纳米材料表面移动时，可以通过悬臂梁的偏移量反映材料表面的高度，这就是原子力显微镜的工作原理。这里微型悬臂梁是利用自然现象工作的传感器单元，利用原子力对悬臂梁的偏移效应检测表面高度。

这样，就有了一种在纳米尺度检测材料表面的传感器，但只有这些还不能直接获得能记录表面结构信息的测试结果。如图 1-2 所示，当悬臂梁具有反射性的上表面时，可以在这个表面上投射一束激光，悬臂梁的运动可以使激光产生偏转。利用一系列光学传感器检测激光的偏移量，就可获得纳米材料表面高度信息。激光和光学传感器（光电二极管）共同组成了这一测试系统的信号转换部件，把传感器获得的信息转换成可检测的信号。这种信号可能是机械量、电量和光学量等，或者以其他可能记录的形式出现。

由此可见，传感器的选择、布置和安装对于保证测试结果是否准确，反映检测目标非常重要。

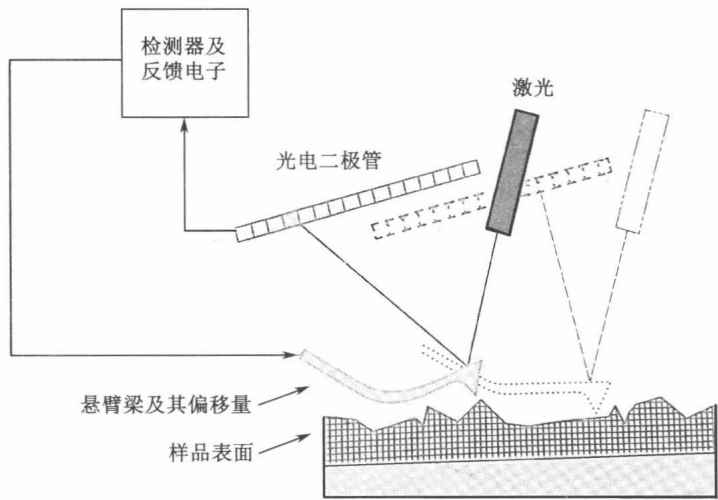


图 1-2 原子力显微镜的传感器与转换器

传感器将非电量转换为电量时往往输出一些电参数（如电阻、电感和电容等）。这些参数需要通过转换变为电压、电流和频率等便于处理的形式。信号转换和处理电路统称为测量电路，通常采用的转换电路主要有电桥、电荷放大器等。

2. 信号调理

测试系统第 2 个单元的功能是对测试信号进行必要的处理，如放大、阻抗变换、滤波、调制与解调、A/D 或 D/A 转换等，为后续的终端设备提供合适的输出信号，这部分结构一般称为信号调理电路。这个阶段最基本的操作是对信号进行放大，以便驱动指示仪表或者与后续仪器信号匹配。此外，这个阶段还可以根据需要进行滤波去噪、积分、微分或无线传送等操作。

3. 信号记录和输出

这个阶段指示或记录测试变量值，将传感器输出的信息转换成便于人识别或控制器接收的量化形式。如果是为人工操作提供测试信息，可以通过刻度仪表盘、数字仪表实现，或通过计算机保存到磁盘。

在涉及控制过程的测试系统中，反馈控制单元一般包含控制器，用来解释测试信号和根据控制需要发出控制信号。控制器发出的反馈信息往往会影响到被测变量和过程参数的变化。