



普通高等教育电气信息类规划教材



免费电子教案下载

[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



# 传感器与检测技术

高成 杨松 佟维妍 赵葵茹 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育电气信息类规划教材

# 传感器与检测技术

高 成 杨 松 佟维妍 赵葵茹 编著



机械工业出版社

本书从理论基础出发,结合实际应用,介绍了传感器的工作原理、特性参数、测量电路及典型应用;较详细地介绍了热工参数检测技术及仪表;简要介绍了数字仪表的设计、抗干扰知识和传感检测的一些新技术。

本书以注重学科基础为宗旨,详细介绍了每种(类)传感器的测量原理,同时也着重列举了其典型应用,并引入了一些实物图,力求在实验和实习中激发学生学习兴趣,起到了实物教学的效果。

本书将各种传感器知识、热工参数检测、数字仪表设计等内容进行了整合,将繁而杂乱的信息变得简而有序,并注重归纳总结。

本书既可作为高等学校电气信息类专业本、专科生的教材,也可供从事检测仪表设计、使用、维护和管理的人员参考或作为自学读物。

## 图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/高成等编著. —北京:机械工业出版社,2015.8  
普通高等教育电气信息类规划教材  
ISBN 978-7-111-50322-4

I. ①传… II. ①高… III. ①传感器-检测-高等学校-教材  
IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第170912号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:时静 责任编辑:汤枫

责任校对:张艳霞 责任印制:李洋

涿州市京南印刷厂印刷

2015年8月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·21印张·519千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-50322-4

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:(010)88379833

读者购书热线:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

# 前 言

目前国内关于传感器与检测技术的教材很多，各有特点。有些着重介绍传感器原理，而具体能测哪些非电量，后续信号该如何处理则介绍较少；有些着重讲述非电量的检测方法和相关仪表，如温度测量中常用到的传感器工作原理及温度测量仪表，用到哪种传感器就介绍哪种传感器的工作原理，缺乏系统性。讲授该课程的老师和学习这门课程的学生都反映传感器与检测技术（仪表）种类多、型号复杂，尤其是传感器原理涉及的知识面广，内容容易显得“杂乱无章”，难教难学。

本书将传感器原理、热工量测量方法和常用检测仪表的知识有机地融合，把繁而杂乱的信息变得简而有序，注重归纳总结，读者读起来顺理成章，从传感器原理自然过渡到热工量（非电量）测量，即从理论基础到实际应用的过渡，热工量测量自然会提到测量仪表，而仪表又涉及目前使用最普遍的数字仪表设计。这种整合加强了课程内容间的联系，避免了专业知识的脱节和课程内容的重复，节省了学时。

本书第一篇介绍了传感器与检测技术的基础知识，包括传感器与检测技术基础和数据分析与处理，为没有学过“误差理论与数据处理”这门课程的读者提供一定的基础；第二篇分章节介绍了每种（类）传感器工作原理、特性参数、测量电路及典型应用；第三篇详细介绍了热工参数测量及仪表，并在压力与流量测量中加入了仪表的校准装置，第15章简单介绍了应用最普遍的数字仪表的设计，为没有接触仪表设计的读者拓宽知识面，第16章介绍了当今传感器与检测技术的几个发展方向，引导读者进行更深入的学习。

本书可作为应用型电气信息类本、专科生的教材，也可供从事检测仪表设计、使用、维护和管理的人员参考或作为自学读物。

本书参阅了大量相关书籍和资料，力求论述全面系统，内容丰富新颖，同时感谢前辈们提供的宝贵财富，参考文献中一并列出。本书的顺利出版，要感谢沈阳工业大学的领导和老师给予的大力支持和帮助。

由于时间仓促和编者水平有限，书中难免存在不妥之处，请读者原谅，并提出宝贵意见。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第一篇 传感器与检测技术基础

<b>第 1 章 传感器与检测技术的基础知识</b> .....	1
1.1 检测技术概述 .....	1
1.1.1 检测技术的内容和作用 .....	1
1.1.2 检测方法 .....	2
1.1.3 检测系统的组成 .....	4
1.2 传感器基础知识 .....	6
1.2.1 传感器的定义及组成 .....	6
1.2.2 传感器的分类 .....	7
1.3 传感器的基本特性 .....	8
1.3.1 传感器的静态特性 .....	8
1.3.2 传感器的动态特性 .....	13
1.3.3 传感器的其他要求 .....	14
1.4 本章小结 .....	15
1.5 习题 .....	15
<b>第 2 章 检测数据分析与处理</b> .....	17
2.1 误差理论基础 .....	17
2.1.1 误差的基本概念 .....	17
2.1.2 随机误差 .....	22
2.1.3 系统误差 .....	27
2.1.4 粗大误差 .....	30
2.2 误差的合成与分配 .....	33
2.2.1 误差的合成 .....	34
2.2.2 误差分配 .....	34
2.2.3 微小误差取舍准则 .....	35
2.2.4 最佳测量方案的确定 .....	36
2.3 测量不确定度 .....	36
2.3.1 测量不确定度的基本概念 .....	36
2.3.2 标准不确定度的评定 .....	37
2.3.3 测量不确定度的合成 .....	38

2.3.4 不确定度的报告	39
2.4 本章小结	39
知识拓展：单位制与基准	40
2.5 习题	41

## 第二篇 传 感 器

<b>第3章 电阻式传感器</b>	<b>44</b>
3.1 电阻应变式传感器	44
3.1.1 电阻应变片	44
3.1.2 测量电路	52
3.1.3 典型应用	55
3.2 压阻式传感器	59
3.2.1 工作原理	59
3.2.2 测量电路与温度补偿	60
3.2.3 典型应用	61
3.3 本章小结	62
知识拓展：力、力矩检测	63
3.4 习题	63
<b>第4章 电容式传感器</b>	<b>65</b>
4.1 工作原理	65
4.2 测量电路	72
4.3 典型应用	77
4.4 容栅式传感器	81
4.4.1 工作原理	81
4.4.2 典型应用	82
4.5 本章小结	82
知识拓展：一次仪表与二次仪表	83
4.6 习题	83
<b>第5章 电感式传感器</b>	<b>85</b>
5.1 自感式传感器	85
5.1.1 工作原理	85
5.1.2 测量电路	89
5.1.3 典型应用	91
5.2 差动变压器	93
5.2.1 工作原理与特性分析	93
5.2.2 测量电路	97
5.2.3 典型应用	97
5.3 电涡流式传感器	99
5.3.1 工作原理	99

5.3.2	电涡流的形成范围	101
5.3.3	测量电路	102
5.3.4	典型应用	103
5.4	本章小结	106
	知识拓展: 接近开关	106
5.5	习题	107
<b>第6章</b>	<b>压电式传感器</b>	<b>108</b>
6.1	工作原理	108
6.2	测量电路	114
6.3	典型应用	115
6.4	本章小结	116
	知识拓展: 双向传感器	116
6.5	习题	117
<b>第7章</b>	<b>光电式传感器</b>	<b>118</b>
7.1	光电式传感器的基本元件	118
7.1.1	光源	118
7.1.2	光学元件与光路	120
7.1.3	光电效应与传统光电器件	120
7.2	新型光电器件	129
7.2.1	CCD	129
7.2.2	CMOS 图像传感器	131
7.2.3	PSD	131
7.3	光栅式传感器	132
7.3.1	工作原理	133
7.3.2	辨向原理和细分电路	135
7.4	光纤式传感器	137
7.5	典型应用	140
7.6	本章小结	144
	知识拓展: 位移检测	144
7.7	习题	145
<b>第8章</b>	<b>磁电式传感器</b>	<b>146</b>
8.1	霍尔式传感器	146
8.1.1	工作原理	146
8.1.2	测量电路	152
8.1.3	典型应用	152
8.2	磁电感应式传感器	156
8.2.1	工作原理	156
8.2.2	测量电路	159
8.2.3	典型应用	159



8.3	磁敏元器件	161
8.3.1	磁敏电阻	161
8.3.2	磁敏二极管	162
8.3.3	磁敏晶体管	162
8.4	磁栅式传感器	162
8.4.1	工作原理	163
8.4.2	典型应用	164
8.5	本章小结	165
	知识拓展: 转速检测	165
8.6	习题	165
<b>第9章</b>	<b>波式和射线式传感器</b>	<b>167</b>
9.1	红外传感器	167
9.1.1	物理基础	167
9.1.2	红外探测器	167
9.1.3	典型应用	168
9.2	超声波传感器	170
9.2.1	物理基础	170
9.2.2	工作原理	172
9.2.3	典型应用	174
9.3	核辐射传感器	176
9.3.1	物理基础	177
9.3.2	组成及防护	178
9.3.3	典型应用	180
9.4	微波传感器	182
9.4.1	工作原理	182
9.4.2	典型应用	183
9.5	本章小结	184
	知识拓展: 无损检测	185
9.6	习题	185
<b>第10章</b>	<b>其他传感器</b>	<b>186</b>
10.1	气体传感器	186
10.1.1	半导体气敏传感器	186
10.1.2	其他气体传感器	190
10.1.3	典型应用	191
10.2	湿度传感器	191
10.2.1	湿度检测的基本知识	191
10.2.2	工作原理	193
10.2.3	测量电路	198
10.3	生物传感器	199



10.3.1	生物传感器概述	199
10.3.2	工作原理	201
10.3.3	生物芯片	203
10.3.4	生物传感器的发展	205
10.4	本章小结	205
10.5	习题	205

### 第三篇 检测技术

<b>第11章</b>	<b>温度检测</b>	<b>207</b>
11.1	温度检测概述	207
11.1.1	温度测量方法	208
11.1.2	温标	208
11.2	膨胀式温度计	210
11.3	热电偶	211
11.3.1	热电效应	211
11.3.2	热电偶的材料、型号及结构	215
11.3.3	热电偶测温电路	217
11.4	热电阻与热敏电阻	222
11.4.1	金属热电阻	222
11.4.2	热敏电阻	224
11.5	集成温度传感器	225
11.6	测温仪表的选用与安装	227
11.6.1	测温仪表的选用	227
11.6.2	测温元件的安装	228
11.7	本章小结	229
11.8	习题	229
<b>第12章</b>	<b>压力检测</b>	<b>232</b>
12.1	压力检测概述	232
12.1.1	压力的定义	232
12.1.2	压力的计量单位	232
12.1.3	压力检测的基本方法	233
12.2	液柱式压力计	233
12.2.1	U形管压力计	234
12.2.2	单管压力计	235
12.2.3	斜管压力计	235
12.2.4	使用液柱式压力计的注意事项	235
12.3	弹性式压力计	236
12.4	压力传感器	238
12.4.1	振筒式压力传感器	239

12.4.2	振膜式压力传感器	239
12.4.3	振弦式压力传感器	240
12.5	差压变送器	241
12.5.1	力平衡式差压变送器	241
12.5.2	电容式差压变送器	242
12.5.3	压阻式压力变送器	242
12.6	压力表校验	243
12.7	压力表的选用与安装	245
12.7.1	压力表的选用	245
12.7.2	压力表的安装	246
12.8	本章小结	247
12.9	习题	248
<b>第13章</b>	<b>流量检测</b>	<b>250</b>
13.1	流量测量的基本知识	250
13.2	差压式流量计	251
13.3	转子流量计	255
13.4	电磁流量计	257
13.5	容积式流量计	258
13.5.1	椭圆齿轮流量计	258
13.5.2	腰轮转子流量计	259
13.5.3	齿轮流量计	259
13.6	涡轮流量计	259
13.7	涡街流量计	260
13.8	靶式流量计	262
13.9	超声波流量计	263
13.10	质量流量计	264
13.10.1	直接式质量流量计	264
13.10.2	推导式质量流量计	269
13.11	流量标准装置	271
13.11.1	静态质量法液体流量标准装置	271
13.11.2	标准体积管法流量标准装置	272
13.11.3	钟罩式气体流量标准装置	273
13.11.4	流量标定柱	274
13.12	本章小结	275
13.13	习题	276
<b>第14章</b>	<b>物位检测</b>	<b>278</b>
14.1	浮力式液位检测	278
14.1.1	恒浮力式液位检测	278
14.1.2	变浮力式液位检测	282

14.2	差压式液位计	282
14.3	电容式物位计	285
14.4	超声波物位传感器	286
14.4.1	超声波物位计	286
14.4.2	磁致伸缩液位计	287
14.5	本章小结	288
14.6	习题	289
<b>第15章</b>	<b>数字式检测仪表</b>	<b>291</b>
15.1	数字式检测仪表的设计	291
15.2	数字式仪表的设计实例	293
15.3	检测仪表的抗干扰技术	296
15.3.1	干扰的分类	296
15.3.2	干扰的引入	297
15.3.3	干扰的抑制方法	298
<b>第16章</b>	<b>检测新技术</b>	<b>302</b>
16.1	智能传感器	302
16.2	软测量技术	304
16.3	无线传感器网络	306
16.4	多传感器数据融合	309
<b>附录</b>		<b>314</b>
附录A	正态分布积分表	314
附录B	$t$ 分布表	314
附录C	K型镍铬-镍硅分度表	315
附录D	S型铂铑10-铂热电偶分度表	319
附录E	Pt100铂电阻分度表	320
附录F	Cu50分度表	322
附录G	常用压力表规格及型号	323
<b>参考文献</b>		<b>325</b>

# 第一篇 传感器与检测技术基础

## 第1章 传感器与检测技术的基础知识

### 1.1 检测技术概述

#### 1.1.1 检测技术的内容和作用

检测技术是以研究检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论与技术为主要内容的一门应用技术学科。检测技术属于信息科学的范畴，与计算机技术、自动控制技术和通信技术构成完整的信息技术学科。检测技术研究的主要内容包括测量原理、测量方法、测量系统和数据处理四个方面。

检测是利用各种物理、化学及生物效应，选择合适的方法与装置，将生产、科研、生活等方面的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。

在科学实验和工业生产中，为了及时了解实验进展情况、生产过程情况以及它们的结果，人们需要经常对一些物理量，如电流、电压、温度、压力、流量、液位等参数进行测量。如加热炉的温度控制，首先应对被测对象即炉膛内炉温进行测量，将测量到的数据送入调节或控制装置以便自动控制炉温，同时提供给操作人员观察。通过对这些已获得的信息进行加工、运算、分析等，以进行预报、报警、检测、计量、保护、控制、调度和管理等工作，达到预防自然灾害、防止事故发生、提高劳动生产率、正确计量、顺利进行科学实验、进行文明生产和科学管理的目的。

现代人们的日常生活也越来越离不开检测技术。例如，用一氧化碳气敏传感器对煤气泄漏进行监视等。

*The first of fundamental laws of process control read as follows:*

*All process control starts with measurement, and the quality of control obtained can never be better than the quality of the measurement on which it is based.*

*If the first law means what it says, then measurement technology should get at least as much attention as control theory, yet this does not happen often. It is an unfortunate weakness of present-day instrumentation technology that our ability to process data has far outstripped our ability to obtain good data to process. There is much that needs to be done in the development and use of better sensors.*

摘自“Process Instrumentation Application Manual”，September 1, 1995 by Bob Connell.

这段文字说明了在人们的生产生活中，检测技术是自动控制的基础，没有检测就无法实现自动控制；进一步来说，检测技术不先进，测量数据不准确，也不可能有令人满意的自动

控制效果。而在现实科技社会，更多学者将注意力集中在控制理论与控制方法的研究上，而对检测技术不够重视。

检测技术是自动化和信息化的基础与前提。我国著名科学家、检测技术前辈王大珩院士提出，“在国民经济建设中仪器的作用重大，在工业生产中起着把关者和指导者的作用，它从生产现场获取各种参数，运用科学规律和系统工程的做法，综合有效地利用各种先进技术，通过自控手段和装备，使每个生产环节得到优化，进而保证生产规范化，提高产品质量，降低成本，满足需要，保证安全生产”。今天，世界正在从工业化时代进入信息化时代，向知识经济时代迈进。这个时代的特征是以计算机为核心，延伸人的大脑功能，计算机起着扩展人脑力劳动的作用，使人类正在走出机械化的过程，进入以物质手段扩展人的感官神经系统及脑力智力的时代。这时，仪器的作用主要是获取信息，以此作为智能行动的依据。

科学技术越发达，自动化程度越高，对检测技术的依赖性就越大。20世纪80年代，世界各国都将检测技术列为重点发展的技术之一。

根据美国国家标准技术研究院的统计，为了完成质量认证、工业控制和流程分析，每天要完成2.5亿个检测，需要大量各类繁多的分析及检测仪器。美国商业部国家标准局于20世纪90年代评估仪器仪表工业对国民生产总值的影响作用所提出的报告中称，仪器仪表工业总产值约占工业总产值的4%，但它对国民经济的影响却达到66%。

近一个世纪，在诺贝尔物理学和化学奖中约有1/4是属于在测量方法和测量仪器上的创新。如1952年James和Martin发明了分配色谱法，制造了色谱仪，能对复杂有机物进行多组分、快速的分离和分析，获得当年诺贝尔化学奖。英国工程师Hounsfield发明了扫描层析诊断法，出现了医用和工业用的CT扫描仪，能深入人体和物体内部进行观察，获得1979年度诺贝尔医学奖。目前这些技术广泛地应用于科学研究、工业生产和医疗事业中，极大地推动了科学技术的进步。可以说，检测技术和仪器仪表的发展代表着科技进步的前沿，是科技发展的支柱。

### 1.1.2 检测方法

一般说的检测（常称测量），其含义是用实验方法来确定一个参数的量值（数值和单位），即通过实验，把一个被测参数的量值（被测量）和作为比较单位的另一个量值（标准量）进行比较，确定出被测量的大小和单位。所以测量是以确定量值为目的的一组操作。通过测量可以掌握被测对象的真实状态，测量是认识客观量值的唯一手段。

在测量中，把作为测量对象的特定量，也就是需要确定量值的量，称为被测量，由测量所得到的赋予被测量的值称为测量结果。单次测量所得到的量值是确定的，此测量结果常称为测得值。

检测方法是指实现测量过程所采用的具体方法。从不同角度出发，有不同的分类方法。根据测量手段分类，可以分为直接测量、间接测量和联立测量；根据测量方式分类，可以分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

#### 1. 直接测量、间接测量和联立测量

##### (1) 直接测量

在使用仪表进行测量时，如果对仪表读数不需要经过任何运算就能直接表示测量所需要的结果，这种测量就称为直接测量。例如，用磁电系电流表测量电路的支路电流、用弹簧管

式压力表测量锅炉压力等。

直接测量的优点是简单而迅速，缺点是测量精度往往不高。这种测量方法是工程上大量采用的方法。

## (2) 间接测量

有的物理量无法被测量或不便于直接测量，这就要求在使用仪表进行测量时，首先对与被测物理量有确定函数关系的几个量进行测量，然后将测量值代入函数关系式，经过计算得到所需的结果，这种方法称为间接测量。

例如，进行测量时，对生产过程中的纸张的厚度无法直接测量，只得通过测量与厚度有确定函数关系的单位面积重量来间接测量。在测量直流功率时，根据  $P = UI$ ，先对  $U$  和  $I$  进行直接测量，再计算出功率  $P$ 。间接测量比较复杂，一般在被测量不便于直接测量或没有相应直接测量的仪表时采用。

## (3) 联立测量

在应用仪表进行测量时，若被测物理量必须经过求解联立方程组才能得到最后结果，则称这样的测量为联立测量。

在进行联立测量时，一般需要改变测试条件，才能获得一组联立方程所需要的数据。在测量过程中，操作手段很复杂，花费时间很长。联立测量是一种特殊的精密测量方法，一般适用于科学实验或特殊场合。

金属材料的热膨胀有如下关系：

$$L_x = L_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (1-1)$$

当  $t = 0^\circ\text{C}$  时，测得  $L_0$ ； $t = t_1$  时，测得  $L_{t_1}$ ；同理  $t = t_2$  时，测得  $L_{t_2}$ ，则可得下列联立方程组：

$$\begin{cases} L_{t_1} = L_0(1 + \alpha t_1 + \beta t_1^2) \\ L_{t_2} = L_0(1 + \alpha t_2 + \beta t_2^2) \end{cases} \quad (1-2)$$

求解联立方程组可得到热膨胀系数  $\alpha$ 、 $\beta$  的量值，这就是联立测量。

## 2. 偏差式测量、零位式测量和微差式测量

### (1) 偏差式测量

在测量过程中，用仪表指针的位移（即偏角）决定被测量值，这种测量方式称为偏差式测量。

仪表上有经过标准器具校准过的标尺或刻度盘。在测量时，利用仪表指针在标尺上的示数，读取被测量的数值。偏差式测量简单、迅速，但精度不高。这种测量方法广泛应用于工程测量中。例如，用磁电系电压表测量电气元件两端的电压。

### (2) 零位式测量

用已知的标准量来平衡或抵消被测量的作用，并用指零式仪表来检测测量系统的平衡状态，从而判断被测量值等于已知标准量的方法称为零位式测量。

零位式测量的优点是可以获得比较高的测量精度，但是测量过程比较复杂，在测量时，要进行平衡操作，花费时间长。因此，这种方法不适用于测量变化迅速的信号，只适用于测量变化较缓慢的信号。例如，用天平测量物体的质量、用电位差计测量未知电压等。

### (3) 微差式测量

微差式测量法是综合了偏差式测量法与零位式测量法的优点而提出的测量方法。这种方



法是将被测的未知量与已知的标准量（与未知量接近）进行比较并取得差值，然后用偏差法测得此差值。应用这种方法进行测量时，标准量装在仪表内，并且在测量过程中直接与被测量进行比较。由于两者的值很接近，因此，测量过程中不需要调整标准量，而只需要测量两者的差值。

设  $N$  为标准量， $x$  为被测量， $\Delta$  为两者之差，则  $x = N + \Delta$ ，即被测量是标准量与偏差值之和。

由于  $N$  为标准量，其误差很小并且  $\Delta \ll N$ 。因此，选用高灵敏度的偏差式仪表测量  $\Delta$  时，即使测量  $\Delta$  的精度较低，但因  $\Delta \ll N$ ，故总的测量精度仍很高。

以天平称物为例，先增减砝码，在指针回零过程中，一旦指针已落在零值左右的刻度之内，就不再调节砝码了（所花时间不会很多）。然后在获知砝码基准值的基础上再根据指针的偏差进行修正，即根据指针偏离标尺零位的格数读出这微小差值，就能获得准确的数值。

微差式测量的优点是反应快而且测量精度高，适用于在线控制参数的检测。

### 1.1.3 检测系统的组成

在进行检测时所使用的仪器仪表，最早的是机械式仪表，后来发展到光学的、电学的等。近二三十年来，由于电子技术的飞速发展，电量的测量技术也相应得到了提高，它具备准确度高、灵敏度高、反应速度快、能连续进行测量、便于自动记录等优点。但是在科学技术和工程中所要测量的参数大多为非电量。

依据检测对象是电量还是非电量，检测系统可分为电量检测系统和非电量检测系统两大类。由于非电量的种类比电量多得多，因此非电量检测系统比电量检测系统更为常见，也更具有普遍性。

早期非电量的测量多采用非电的方法，例如，用尺测量长度和用水银温度计测量温度。但是随着科学技术的发展，对测量的精确度、速度都提出了新的要求，尤其是对动态变化的物理过程进行测量以及对物理量的远距离测量，用非电的方法已经不能满足要求了，必须采用电测法。

电测法就是把非电量转换为电量来测量。由于非电量常常是通过传感器转换成电量来测量的，电量检测系统的前端加上传感器即构成非电量检测系统，所以电量检测系统大多数已被包含在非电量检测系统中（本书只研究非电量检测系统）。电测法的优势如下：

- 1) 便于采用电子技术，可灵活改变测量仪器的灵敏度，从而扩展仪器的测量范围。
- 2) 电子测量仪器惯性小，频带宽。
- 3) 电信号便于远距离传输和控制，可实现远距离测量。
- 4) 若转换成数字电信号，能实现数字显示，也便于计算机处理，实现智能化。

非电量检测系统的结构框图如图 1-1 所示。它由传感器、信号调理、信号分析与处理或微型计算机等环节组成，或经信号调理环节后，直接显示和记录。

#### 1. 传感器

传感器是将外界信息按一定规律转换成电信号的装置，是实现自动检测和自动控制的首要环节，本书将在第二篇中进行重点介绍。

#### 2. 信号调理环节

信号调理环节是对传感器输出的信号进行加工，如将信号放大、调制解调、阻抗变换、



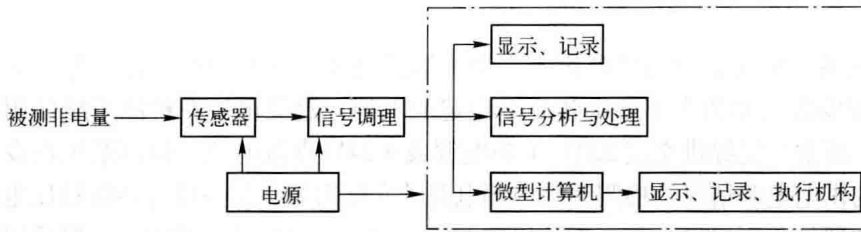


图 1-1 非电量检测系统结构框图

线性化、将阻抗变换为电压或电流等，原始信号经这个环节处理后，就转换成符合要求，便于输送、显示、记录、转换以及可作进一步后续处理的中间信号。这个环节常采用模拟电路，如电桥电路、相敏检波电路、测量放大器、振荡器等。常用的数字电路有门电路、各种触发器、A-D 和 D-A 转换器等。信号调理有时可能是许多仪器的组合，有时也可能仅有一个电路，甚至仅是一根导线。

### 3. 显示及记录环节

人们都希望及时知道被测量的瞬时值、累积值或其随时间的变化情况，因此，各类检测仪表和检测系统在信号调理环节计算出被测量的当前值后，通常均需送至各自的显示器进行实时显示。显示器到检测系统是与人类联系的主要环节之一，常用的显示方式有模拟显示、数字显示和图像显示。

模拟显示就是利用指针对标尺的相对位置来表示读数的。用有形的指针位移模拟无形的被测量是比较方便、直观的。指示仪表有磁电系、电磁系、电动系和感应系等多种形式，均具备结构简单、价格低廉、显示直观的特点，在检测精度要求不高的测量显示场合应用较多。指针式仪表存在指针驱动误差和标尺刻度误差，这种仪表的读数精度和仪器的灵敏度等受标尺最小分度的限制。

数字显示实际上是用一只专用的数字电压表、数字电流表或数字频率计，以数字形式直接显示出被测量数值的大小。在正常情况下，数字式显示仪表彻底消除了显示驱动误差，能有效地克服读数的主观误差，可提高显示和读数的精度，还能方便地与计算机连接并进行数据传输。因此，各类检测仪表和检测系统正越来越多地采用数字显示方式。

图像显示是指使用屏幕显示读数或者被测参数变化的曲线。这种显示方法具有形象性和易于读数的优点，又能同时在同一屏幕上显示一个被测量或多个被测量的变化曲线，有利于对它们进行比较、分析。屏幕显示器一般体积较大，价格比模拟显示和数字显示要高得多，其显示通常需要由计算机控制，对环境、湿度等指标要求较高。

在测量过程中，有时不仅要读出被测参数的数值，而且还要了解它的变化过程，特别是动态过程的变化，根本无法用显示仪表指示，那么就要把信号送至记录仪自动记录下来，现在常用的自动记录仪有笔式记录仪（如电平记录仪、 $x-y$  函数记录仪、光线示波器等）、磁带记录仪、硬盘等。记录仪起着记录信号的作用。

### 4. 信息分析与处理

对于动态信号的测量，即动态测量，常常还需要对测得的信号进行分析、计算和处理，从原始的测试信号中提取表征被测对象某一方面本质信息的特征量，以利于对动态过程进行更深入的了解。这个领域中采用的仪器有频谱分析仪、波形分析仪、实时信号分析仪、快速傅里叶变换仪等，计算机技术在信号处理中已被广泛应用。

## 5. 电源

整个测试系统中还必须包括电源，一个检测系统往往既有模拟电路部分，又有数字电路部分，通常需要多组幅值大小要求各异但稳定的电源。这类电源在检测系统使用现场一般无法直接提供，通常只能提供交流 220V 工频电源或 +24V 直流电源。检测系统在设计时需要根据使用现场的供电电源情况及检测系统内部电路的实际需要，统一设计各组稳压电源，给系统各部分电路和器件分别提供它们所需的稳定电源。在一些便携式仪器中，一般采用电池供电。

以上几个部分不是所有的检测系统都具备的，而且对于有些简单的检测系统，其各环节之间的界线也不是十分清楚，需根据具体情况进行分析。

另外，在进行检测系统设计时，对于把以上各环节具体相连的传输通道，也应给予足够的重视。传输通道的作用是联系系统的各个环节，为各环节的输入、输出信号提供通路。它可以是导线、管路（如光导纤维）以及信号所通过的空间等。信号传输通道比较简单，易被人们忽视，如果不按规定的要求布置及选择，则易造成信号的损失、失真或引入干扰等，从而影响检测系统的精度。

## 1.2 传感器基础知识

### 1.2.1 传感器的定义及组成

传感器的国家标准定义为能感受（或响应）规定的被测量，并按照一定规律将其转换成可用信号输出的器件或装置。这里的可用信号是指便于处理、传输的信号，目前电信号是最易于处理和传输的。

传感器的通常定义为“能把外界非电信息转换成电信号输出的器件或装置”或“能把非电量转换成电量的器件或装置”。

传感器由敏感元件、转换元件和测量电路三部分组成，如图 1-2 所示。

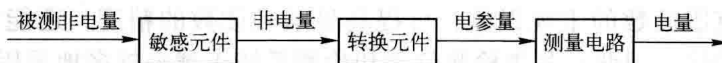


图 1-2 传感器组成框图

如果所要测量的非电量正好是某转换元件能转换的，而该转换元件转换出来的电量又正好能为后面的显示记录电路所利用，那么该传感器的结构将会很简单。

然而，很多情况下，所要测量的非电量并不是所持有的转换元件所能转换的那种非电量，这就需要在转换元件前面增加一个能把被测非电量转换为该转换元件能够接受和转换的非电量的装置或器件。这种能把被测非电量转换为可用非电量的器件或装置称为敏感元件。

例如，用电阻应变片测力时就要将应变片粘贴到受力的弹性元件上，如图 1-3 所示，弹性元件将压力转换为应变，应变片再将应变转化为电阻变化，这里的应变片便是转换元件，而弹性元件便是敏感元件。敏感元件与转换元件虽然都是对被测非电量进行转换，但敏感元件是把被测非电量转换为可用非电量，而转换元件是把非电量转换成电量。

在很多情况下，转换元件所转换得到的电量并不是后面的显示记录电路所能直接利用的。例如，电阻式应变传感器把应变转换为电阻变化，电阻虽然属于电量，但不能被电压显