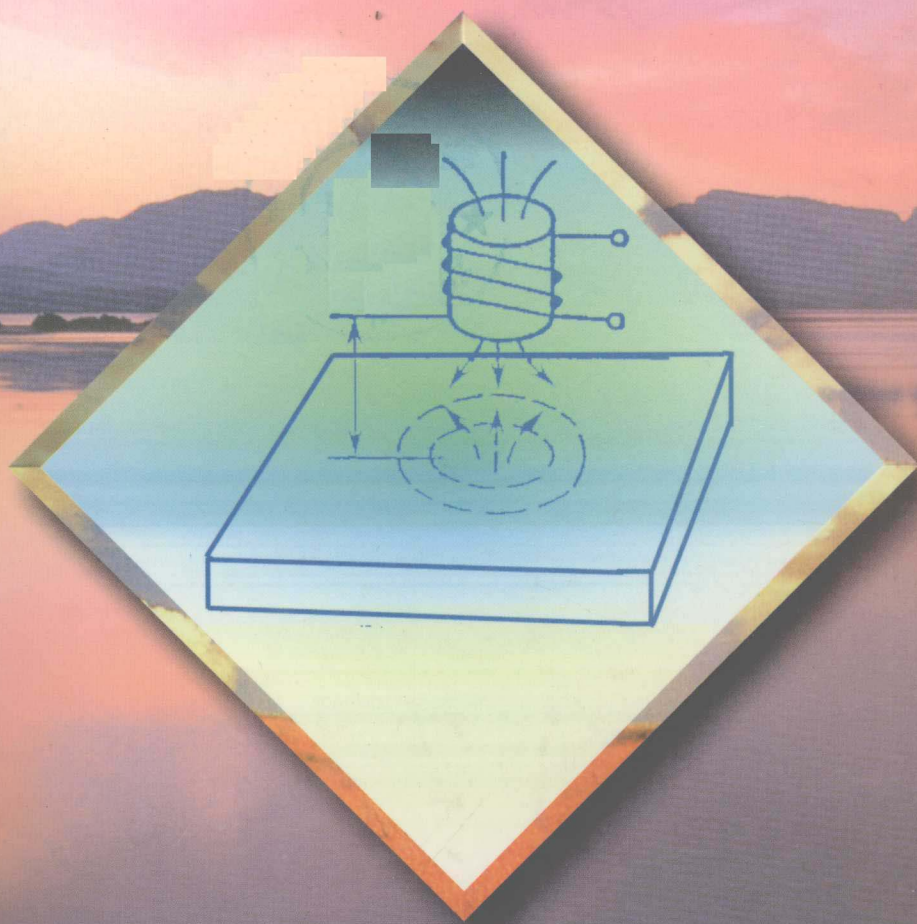


# 农业机械测试技术

丰亚安 陈炜峰 主编

jidiangongcheng-jet



北京理工大学出版社

责任编辑：张玉荣



ISBN 7-81045-787-X



9 787810 457873 >

ISBN 7-81045-787-X/TH · 53

定价：22.00元



# 农业机械测试技术

丰亚安 陈炜峰 主编

北京理工大学出版社

## 内 容 简 介

本书为农村自学考试实验区机电工程类专业的教材。

全书主要包括常用传感器、信号调理与典型记录仪器、信号分析初步、基本参量的测量、振动和噪音的测量、农机参数综合测量及典型仪器、计算机辅助测试等七章内容。为便于考生自学,在每章后面编写有自学指导和习题,在全书后还编写有自学考试大纲和模拟试题及答案。

本书可作为高等职业学校相关专业的教材,也可作为高等院校机械类专业学生和相关工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

农业机械测试技术/丰亚安等主编. —北京:北京理工大学出版社. 2001.5  
ISBN 7-81045-787-X

I. 农… II. ① 丰… III. 农业机械 测试技术 IV. S220.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 026217 号

责任印制:李绍英 责任校对:郑兴玉

北京理工大学出版社出版发行  
(北京市海淀区中关村南大街5号)  
邮政编码 100081 电话(010)68912824  
各地新华书店经售  
涿州市星河印刷厂

\*

787毫米×1092毫米 16开本 14.875印张 338千字  
2001年5月第1版 2001年5月第1次印刷  
印数:1—3000册 定价:22.00元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

# 出版前言

高等教育自学考试制度在我省实施十多年来,已先后开考了文、理、工、农、医、法、经济、教育等类九十多个本、专科专业,全省共计 350 余万人报告参加考试,已有 13 万人取得毕业证书。这项制度的实施,不仅直接为我省经济建设和社会发展造就和选拔了众多的合格人才,而且对鼓励自学成才、促进社会风气的好转,提高劳动者的科学文化素质具有非常重要的意义。十多年来的实践证明,自学考试既是一种国家考试制度,又是一种基本的教育制度,受到广大自学者和社会各界的欢迎,产生了巨大的社会效益,赢得了良好的社会信誉。

为了贯彻落实党的十五届三中全会精神,深入实施科教兴省战略,探索建立为我国农村经济与社会发展培养人才的新路子,我省经全国高等教育自学考试指导委员会批准,从 1999 年开始开展农村高等教育自学考试实验区的试点工作。这是一项全方位的试点工作,我们将在专业设置、自学教材和考试形式等方面进行重大改革,使高等教育自学考试制度更加适应农村经济发展和人才培养的要求。

自学考试制度是建立在个人自学基础上的教育形式,而个人自学的基本条件是自学教材。一本好的自学教材不仅可以使自学者“无师自通”,还对保证自学考试质量具有重要作用。对农村自学者来说,由于缺少“名师指点”和自学者之间的相互交流,自学相当困难,除了要有一本高质量的自学教材外,还需要有与之配套的自学指导书,以便帮助自学者系统地掌握教材的内容,达到举一反三、触类旁通,提高自学效率的目的。因此,我们在农村自学考试实验区教材建设中,试图探索一种教材编写的新路子,将教材内容与自学指导有机地融合在一起,使自学者更加容易地理解和掌握教材的内容;同时,打破常规教材编写追求系统性、完整性的戒律,针对我省当前农村经济发展的实际状况,把农村经济发展、农民发家致富需要的知识和理论写进教材中去,使之成为农村自学者学习科学文化知识、提高自学素质的教科书,成为指导农业生产和农民致富的科学手册。

农村自学考试实验区的教材建设工作是一项基础建设工作,它是我省农村自学考试实验区试点工作取得成功的必要保证,为此省高等教育自学考试委员会成立了“江苏省农村自学考试实验区专业指导委员会”,具体负责教材建设的规划和编写审定工作。

随着农村自学考试实验区试点工作的进一步展开,我们将有计划、有步骤地组织有关高等院校、成人高校、高等职业学校、中等农业专科学校以及行业主管部门中业务水平较高、教学经验丰富、了解农村情况、熟悉自学考试特点和规律的专家、学者,编写一批既适合自学特点又适应农村经济建设和社会发展需要的自学教材,以满足农村自学者的需要。我们相信,随着农村自学考试实验区教材的陆续出版,必将对我省农村自学考试事业的发展,为农村培养“留得住、用得上”的应用型、复合型人才,加快农村现代化建设起到积极的促进作用。

编写适应农村经济建设和社会发展需要的自学教材,是一项探索性的工作,需要在实践中不断总结和提高,为使这项有意义的工作能取得事半功倍的效果,希望得到社会各方面更多的关心和支持。

由于作者对自学考试特点和农村实际情况了解的深度有限,书中不当之处在所难免,敬请广大读者惠予指证。

江苏省高等教育自学考试委员会办公室

2000 年 4 月

# 绪 论

## 一、测试的含义和任务

测试的基本任务是为了获取研究对象的状态、特征等自然规律的有关信息。信息的载体是信号。信息总是以某种形式的物理量表现出来的,而这些物理量就是信号。首先是检测出这些信息,然后加以处理,最后将其结果提供给观察者或输入其他信息处理装置、控制系统。在测试研究中,被测对象的信息总是非常丰富的,测试工作又总是根据一定的目的和具体的要求,限于获取有限的、研究者感兴趣的某些特定的信息。信号中既包含着我们所需要的信息,也常常含有大量不感兴趣的信息,如何能够提取和辨识出信号中所包含的有用信息,是测试技术中重要工作之一。

测试工作是一项非常复杂的工作,需要多种学科的综合运用。从广义的角度来讲,测试工作涉及试验设计、模型理论、传感器、信号加工与处理、误差理论、控制工程、系统辨识和参数估计等学科内容;从狭义来讲,测试工作则是指在选定激励方式下,信号的检测、变换、处理以及显示、记录或以电量输出数据的工作。总之测试工作的根本目的是为了达到对被测对象控制的目的。

测试是人类认识客观世界的手段,是科学研究的基本方法,科学的基本目的在于客观地描述自然界。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和理论也需要测试技术,检验科学理论和规律的正确性同样需要测试技术。

在工程技术领域中,工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等,都离不开测试技术。特别是近代工程技术广泛应用着的自动控制技术已越来越多地运用测试技术,测试装置已成为控制系统的重要组成部分。总之,测试技术已广泛地应用于工农业生产、科学研究、国内外贸易、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护和人民生活的各个方面,起着越来越重要的作用,成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要基础技术。测试技术的主要任务有以下四个方面:

(1) 对产品的质量进行检定,确保机械产品质量达到预定的规格。其中包括对原材料的质量进行测试,检查其物理性能和力学性能;对各类机械产品的性能进行测试,检查其产品性能是否达到了产品标准规定的指标;对各种机械量测量仪器的准确性进行鉴定等等。

(2) 对生产过程进行监视或控制,保证生产过程正常进行。例如,随时测定与运行条件有关的机械量,经过适当的转换,由记录指示装置进行监视。

(3) 在机械工程设计中,利用测试技术可以提供大量试验数据。许多复杂的机械结构仅凭已有的理论公式或经验公式进行计算是不够的,有时甚至没有理论公式或经验公式可以作依据,往往要以模拟模型经过试验来寻找或判断最佳条件,在这个过程中都涉及机械量的测试工作。

(4) 在许多科学研究项目中,测试工作也都占有很重要的地位,如气象学、地震学、海洋学

的研究都是和测试分不开的,至于人造地球卫星的发射和回收、宇宙空间的探测、航天工程等尖端技术的科学研究则更是与测试技术紧密相关的。

## 二、测试过程和测试系统的一般组成

信息总是蕴涵在某些物理量之中,并依靠它们来传输的。这些物理量就是信号。就具体物理性质而言,信号有电信号、光信号、力信号等等。其中,电信号在变换、处理、传输和运用等方面,都有明显的优点,因而成为目前应用最广泛的信号。各种非电信号也往往被转换成电信号,而后传输、处理和运用。

在测试工作的许多场合中,并不考虑信号的具体物理性质,而是将其抽象为变量之间的函数关系,特别是时间函数或空间函数,从数学上加以分析研究,从中得出一些具有普遍意义的理论。这些理论极大地发展了测试技术,并成为测试技术的重要组成部分。这些理论就是信号的分析 and 处理技术。

一般说来,测试工作的全过程包含着许多环节:以适当的方式激励被测对象、信号的检测和转换、信号的调理、分析与处理、显示与记录,以及必要时以电量形式输出测量结果。因此,测试系统的大致框图可用图 0-1 来表示。

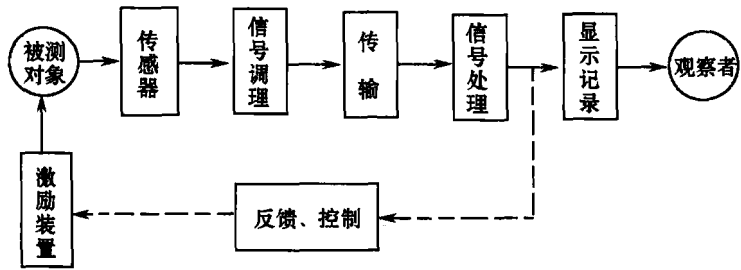


图 0-1 测试系统框图

客观事物是多样的。测试工作所希望获取的信息,有可能已载于某种可检测的信号中,也有可能尚未载于可检测的信号中。对于后者,测试工作就包含着选用合适的方式激励检测对象,使其产生既能充分表征其有关信息又便于检测的信号。事实上,许多系统的特性参量在系统的某些状态下,可能充分地显示出来;而在另外一些状态下却可能没有显示出来,或者显示得很不明显,以致难于检测出来。因此,在后一种情况下,要测量这些特性参量时,就需要激励该系统,使其处于能够充分显示这些参量特性的状态中,以便有效地检测载有这些信息的信号。

传感器直接作用于被测量,并能按一定规律将被测量转换成同种或别种量值输出,这种输出通常是电信号。

信号调理环节把来自传感器的信号转换成更适合于进一步传输和处理的形式。这时的信号转换,在多数情况下是电信号之间的转换。例如,将幅值放大、将阻抗的变化转换成电压的变化或将阻抗的变化转换成频率的变化等等。

信号处理环节接受来自调理环节的信号,并进行各种运算、滤波、分析,将结果输至显示、记录或控制系统。

信号显示、记录环节以观察者易于认识的形式来显示测量的结果,或者将测量结果存贮,

供必要时使用。

在所有这些环节中,必须遵循的基本原则是各环节的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,并必须尽可能地减小或消除各种干扰。

应当指出,并非所有的测试系统都具备图 0-1 中所有环节,尤其是虚线连接的环节和传输环节。实际上,环节与环节之间都存在着传输。图中的传输环节是专指较远距离的通讯传输。

测试技术是一种综合性技术,对新技术特别敏感。要做好测试工作,需要运用多种学科的知识,注意新技术的运用。

### 三、测试技术在农业机械方面的应用

(1) 以自车法和遥测法取代跟踪法。随着测试仪器设备的小型化,自车法和遥测法已成为一种发展趋势。自车法是将全部仪器设备直接配置在被测拖拉机和农机具上进行田间试验的方法。由于可以不用电测车,并且可以摆脱连接电缆的累赘,因而提高了田间试验的机动性和工作效率。遥测法的应用进一步使农机田间试验手段现代化,利用流动遥测接收站(遥测车),可在数公里的范围内同时接收多达数十个通道的电测模拟信号,配备磁带记录器和实时计算机系统,可在田间进行试验数据的处理和分析,能立即获得测试结果。

(2) 实现试验过程和数据处理的自动化。自动化试验技术首先在内燃机等动力系统的性能试验中获得广泛应用。如利用成套测试仪器设备,对发动机多种性能参数进行测量,整个试验过程均在电子计算机的控制下自动进行。对于多点应力测量,采用自动巡回检测装置,通过电传打字机自动打印出测试结果。在试验数据处理方面,除配备专项数据分析设备外,还广泛应用电子计算机,使试验工作效率大为提高。

(3) 发展农机快速试验技术和模型试验技术。目前已经成为农机试验的重要组成部分。如农机动态模型试验,可在实验室条件下模拟田间载荷进行机具的结构试验,主要用于强度研究,可大大缩短田间试验周期,并且不受田间自然条件的限制。模型试验多用于农机零件、部件的研究。一般是在实验室条件下,借助某些测试手段,对处于各种工况下的农机模型进行细致的观察和研究,从而探讨某些科学规律。模型试验可以解决一些实物试验很难解决的问题,从而缩短产品的研制周期。

(4) 在大型农业机器上设置农机监视仪表。这对于提高机器的生产效率、改善劳动条件具有重要意义。目前多见于联合收割机谷粒损失监视和轴速监视,以及大型烘干设备的工况监视等。

### 四、测试技术的发展

现代测试技术,既是促进科技发展的重要技术,又是科学技术发展的结果。现代科技的发展不断地向测试技术提出新的要求,推动测试技术的发展。与此同时,测试技术迅速吸取和综合各个科技领域(如物理学、化学、生物学、材料科学、微电子学、计算机科学和工艺学等)的新成就,开发出新的方法和装置。

近年来,新技术的兴起促使测试技术蓬勃发展,尤其在以下几个方面的发展最为突出:

(1) 电路设计的改进。广泛采用运算放大器和各种集成电路,大大简化了测试系统,提高了系统特性。例如有效地减少了负载效应、线性误差等等。

(2) 新型传感器层出不穷,可测量迅速增多。当今世界已拥有极高水平的各种电子设备和信息技术。传感器是信息之源头,只有拥有良好而多样的传感器,才能在非电量的自然界中有效地使用这些设备和技术。有人认为支配了传感器技术,就能把握住新时代。能不能开发出上乘的测试装置,关键也在于传感器的开发和应用。

当今传感器开发中,以下列三方面的发展最引人注目:

① 物性型传感器大量涌现。物性型传感器是依靠敏感材料本身的物性随被测量的变化来实现信号的转换的。因此这类传感器的开发实质上是新材料的开发。目前发展最迅速的新材料是半导体、陶瓷、半导纤维、磁性材料,以及所谓的“智能材料”(如形状记忆合金、具有自增殖功能的生物体材料等)。这些材料的开发,不仅使可测量大量增多,使力、热、光、磁、湿度、气体、离子等方面的一些参量的测量成为现实,也使集成化、小型化和高性能传感器的出现成为可能。此外,当前控制材料性能的技术已取得长足的进步。这种技术一旦实现,将会完全改变原有敏感元件设计的概念;从根据材料特性来设计敏感元件,转变成按照传感要求来合成所需的材料。总之,传感器正经历着从以结构型为主转向以物性型为主的过程。

② 集成、智能化传感器的开发。微电子学、微细加工技术和集成化工艺等方面的进展,出现了多种集成化传感器。这类传感器,或是同一功能的多个敏感元件排列成线型、面型的传感器;或是多种不同功能的敏感元件集成一体,成为可同时进行多种参量测量的传感器;或是传感器与放大、运算、温度补偿等电路集成一体的器件。近年来,更有把部分信号处理电路和传感器集成一体,使传感器具有部分智能,成为智能化传感器。

③ 化学传感器的开发。近 20 年来,工农业生产、环境监测、医疗卫生和日常生活等领域,广泛应用化学传感器。化学传感器把化学量转换成电量。大部分化学传感器是在被测气体或溶液分子与敏感元件接触或被其吸附之后才开始感知的,而后产生相应的电流和电位。目前市场上供应的化学传感器以气体传感器、湿度传感器、离子传感器和生物化学传感器为主。预计在未来一段时间内,化学传感器件将蓬勃发展,并将出现一些智能化学传感器。

(3) 广泛应用信息技术。信息技术,特别是计算机技术和信息处理技术,使测试技术产生了巨大变化,大幅度地提高测试系统的精确度、测量能力和工作效率;引进许多新的分析手段和方法,使测试系统具有实时分析、记忆、逻辑决断、自校、自适应控制和某些补偿能力,向着智能化发展。

(4) 多参量测量系统的开发。由于出现各种廉价传感器和实时处理装置,为开发多传感器和多种参量测试系统提供了可能性。这种测量系统可实现多自变量函数的测量,是自动控制系统必不可少的装置。它也广泛应用于设备的监测和组成线型或面型传感器阵列进行图像或场量的测试。

# 目 录

## 绪论

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| <b>第一章 常用传感器</b> .....       | (1)   |
| 第一节 传感器的分类及技术发展 .....        | (1)   |
| 第二节 电阻式传感器 .....             | (2)   |
| 第三节 电感式传感器 .....             | (9)   |
| 第四节 电容式传感器 .....             | (13)  |
| 第五节 压电式传感器 .....             | (16)  |
| 第六节 磁电式传感器 .....             | (19)  |
| 第七节 半导体传感器 .....             | (21)  |
| 第八节 光纤传感器 .....              | (27)  |
| 第九节 传感器的选用原则 .....           | (31)  |
| 第十节 传感器的校验 .....             | (35)  |
| 自学指导 .....                   | (37)  |
| 习题 .....                     | (42)  |
| 习题参考答案 .....                 | (45)  |
| <b>第二章 信号调理与典型记录仪器</b> ..... | (48)  |
| 第一节 电桥电路 .....               | (48)  |
| 第二节 电阻应变仪 .....              | (56)  |
| 第三节 笔式记录仪 .....              | (59)  |
| 第四节 光线示波器 .....              | (63)  |
| 第五节 磁带记录仪 .....              | (69)  |
| 自学指导 .....                   | (76)  |
| 习题 .....                     | (78)  |
| 习题参考答案 .....                 | (79)  |
| <b>第三章 信号分析初步</b> .....      | (81)  |
| 第一节 信号的描述 .....              | (81)  |
| 第二节 信号的时域分析 .....            | (84)  |
| 第三节 信号的幅域分析 .....            | (85)  |
| 第四节 信号的相关分析及应用 .....         | (88)  |
| 第五节 信号的频谱分析及应用 .....         | (96)  |
| 自学指导 .....                   | (107) |
| 习题 .....                     | (108) |
| 习题参考答案 .....                 | (111) |
| <b>第四章 基本参量的测量</b> .....     | (113) |
| 第一节 应变和力的测量 .....            | (113) |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 第二节 扭矩和转速的测量 .....             | (131) |
| 第三节 位移的测量 .....                | (139) |
| 第四节 流体参数的测量 .....              | (144) |
| 自学指导 .....                     | (156) |
| 习题 .....                       | (157) |
| 习题参考答案 .....                   | (159) |
| <b>第五章 振动和噪声的测试</b> .....      | (162) |
| 第一节 振动的测试 .....                | (162) |
| 第二节 噪声测试 .....                 | (172) |
| 自学指导 .....                     | (180) |
| 习题 .....                       | (181) |
| 习题参考答案 .....                   | (182) |
| <b>第六章 农机参数综合测量及典型仪器</b> ..... | (184) |
| 第一节 农机参数综合测量 .....             | (184) |
| 第二节 典型仪器和设备 .....              | (187) |
| 自学指导 .....                     | (198) |
| 习题 .....                       | (199) |
| 习题参考答案 .....                   | (200) |
| <b>第七章 计算机辅助测试</b> .....       | (201) |
| 第一节 计算机的模拟信号输入和输出系统 .....      | (201) |
| 第二节 计算机辅助测试的接口技术 .....         | (205) |
| 第三节 微机化测试仪器 .....              | (207) |
| 第四节 计算机辅助实验系统 .....            | (209) |
| 自学指导 .....                     | (212) |
| 习题 .....                       | (213) |
| 习题参考答案 .....                   | (213) |
| <b>自学考试大纲</b> .....            | (215) |
| 模拟试题一 .....                    | (221) |
| 模拟试题二 .....                    | (223) |
| 模拟试题一参考答案 .....                | (225) |
| 模拟试题二参考答案 .....                | (225) |
| <b>后记</b> .....                | (226) |
| <b>参考文献</b> .....              | (227) |

# 第一章 常用传感器

能够感受规定的被测量,并按一定规律转换成可用输出信号的器件或装置,称为传感器。

传感器的作用类似于人的感觉器官。它把被测量,如力、位移、温度等,转换为易测信号,传送给测量系统的信号调理环节。

传感器也可以认为是人类感官的延伸,因为借助传感器可以去探索那些人们无法用感官直接测量的事物,例如,用热电偶可以测得炽热物体的温度;用超声波探测器可以测量海水深度;用红外遥感器可从高空探测地面上的植被和污染情况等等。因此,可以说传感器是人们认识自然界的有力工具,是测量仪器与被测事物之间的接口。

在工程上也把提供与输入量有给定关系的输出量的器件,称为测量变换器。传感器就是输入量为被测量的测量变换器。

传感器处于测试装置的输入端,其性能将直接影响着整个测试装置的工作质量。

近来,随着测量、控制及信息技术的发展,传感器作为这些领域里的一个重要构成因素,被视为 20 世纪 90 年代的关键技术之一而受到了普遍重视。深入研究传感器的原理和应用,研制新型传感器,对于社会生产、经济交往、科学技术和日常生活中自动测量和自动控制的发展,以及人类观测研究自然界的深度和广度都具有重要的实际意义。

## 第一节 传感器的分类及技术发展

### 一、传感器的基本分类

工程中应用的传感器种类繁多,往往一种被测量可应用多种类型的传感器来检测,而同一机理的传感器又可以测量多种物理量,因此传感器有许多种分类方法。传感器基本分类如表 1-1。

表 1-1 传感器基本分类

| 分类方法    | 传感器的种类                   | 说 明                     |
|---------|--------------------------|-------------------------|
| 按用途分类   | 位移、速度、温度、压力、加速度传感器等      | 传感器以被测物理量命名             |
| 按工作原理分类 | 应变式、电容式、电感式、压电式、磁电式、热电式等 | 传感器以工作原理命名              |
| 按物理现象分类 | 结构型传感器                   | 传感器依赖其结构参数的变化实现转换       |
|         | 物理型传感器                   | 传感器依赖其敏感元件物理特性的变化实现转换   |
| 按能量关系分类 | 能量转换型传感器                 | 传感器直接将测量的能量转换为输出量的能量    |
|         | 能量控制型传感器                 | 由外部传给传感器能量而由被测量来控制输出的能量 |

在对传感器进行命名时,一般都按用途分类,如加速度传感器、速度传感器、压力传感器。或按原理分类,如电阻式传感器、电容式传感器、压电式传感器等等。但是,有时为了方便、醒目,采用综合命名法,如压电式加速度传感器、磁电式速度传感器、应变片式压力传感器等,既说明了传感器的用途,也说明了传感器的变换原理。

本章将主要按传感器的工作原理分类法对传感器的原理、结构、特点和用途进行讲述。

## 二、传感(器)技术的现状和发展

传感技术是最活跃、最生机勃勃的热门技术之一,有“谁掌握和支配了传感技术谁就支配新时代”的说法。目前,微型计算机的迅速普及发展以及强大的社会需求成为传感器技术发展的两股巨大推动力,促使传感技术飞速地发展,出现了“多样化、新型化、集成化、智能化”的发展形势。

**多样化** 使用领域的不断扩大,各个领域的不同需要,出现多种多样用途的传感器,种类有上千种。

**集成化** 分为传感器本身的集成化和传感器与后续电路的集成化。前者如电荷耦合器件,在一个平面上集成许多光敏器件;后者如美国研制的频率输出型单块集成压力传感器,它将弹性元件、四个电阻变换器、放大器与振荡器集成在硅基膜片上,实现了一体化;还可将温度、湿度敏感器件集成在一起实现多功能。

**新型化** 由于科学技术的发展,许多物理效应的新发现、理论上的新突破、新工艺的提出、新材料的产生,发展了大量新型传感器。

**智能化** 人们已经认识到,依靠传统传感技术不能再有效地提高传感器的精度与稳定性。然而将传感器与微处理器或微型计算机相结合,通过软件实现智能化,却能使传感器精度与稳定性大大提高;采用半导体微机械加工工艺制作的传感器能获得更好的工作性能。初期,人们认为,传感器与微处理器制作在同一块芯片上组成一个不可分割的整体时就是智能传感器。现在,二者的结合已发展了多种形式,如不同组合形式的多片集成封装在一个外壳里;微处理器最小系统印刷电路板固定在某种传统传感器(如 1151 电容式压差传感器)的外壳里等等。因此,一般认为传感器与微处理器相结合所形成的不仅具有信号检测功能,而且具有信息处理功能的传感器系统就是智能传感器,关于智能传感器,至今仍然没有公认的正式定义。例如,现场总线控制系统中的智能传感器/变送器就是把微处理器系统印刷电路板安装在传统电容式传感器的机座里的。

## 第二节 电阻式传感器

电阻式传感器是一种把被测量转换为电阻变化的传感器。按其工作原理可分为变阻器式传感器和电阻应变式传感器两类。

### 一、变阻器式传感器

变阻器式传感器也称为电位差计式传感器,它通过改变电位器触头位置,把位移转换为电阻的变化。根据下式

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1-1)$$

式中  $\rho$ ——电阻率 ( $\Omega \cdot \text{m}$ );  
 $l$ ——电阻丝长度 (m);  
 $A$ ——电阻丝截面积 ( $\text{m}^2$ )。

如果电阻丝直径和材质一定,则电阻值随导线长度而变化。式中电阻值的单位为  $\Omega$ 。

常用变阻器式传感器有直线位移型、角位移型和非线性型等,如图 1-1 所示。

图 1-1(a)为直线位移型。当被测位移变动时,触点  $C$  沿变阻器移动。若移至  $x$ ,并假设单位长度中的电阻值为  $k_L = \text{常数}$ ,则  $C$  点与  $A$  点之间电阻值为

$$R = k_L x$$

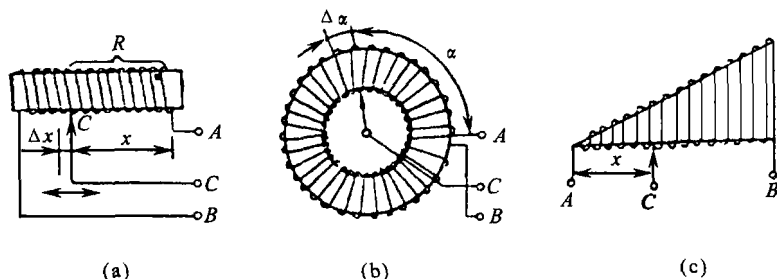


图 1-1 变阻器式传感器

(a) 直线位移型;(b) 角位移型;(c) 非线性型

我们将传感器的输出变化量  $\Delta y$  与引起该输出变化量的输入变化量  $\Delta x$  之比值  $S$  称为传感器的灵敏度,即

$$S = \frac{\text{输出量的变化量 } \Delta y}{\text{输入量的变化量 } \Delta x} = \frac{dy}{dx} \quad (1-2)$$

则直线位移型变阻器式传感器的灵敏度为

$$S = \frac{dR}{dx} = k_L = \text{常数}$$

这种传感器的输出(电阻)与输入(位移)成线性关系。

图 1-1(b)为角位移型变阻器式传感器,其电阻值随转角而变化。其灵敏度

$$S = \frac{dR}{d\alpha} = k_\alpha \quad (1-3)$$

式中  $\alpha$ ——转角 (rad);

$k_\alpha$ ——单位弧度对应的电阻值。

图 1-1(c)是一种非线性变阻器式传感器,其骨架形状需根据所要求的输出  $f(x)$  来确定。例如,输出  $f(x) = kx^2$ ,其中  $x$  为输入位移,为要得到输出电阻值  $R(x)$  与  $f(x)$  成线性关系,变阻器骨架应做成直角三角形。如果输出要求为  $f(x) = kx^3$ ,则应采用抛物线形骨架。

变阻器式传感器的后接电路,一般采用电阻分压电路,如图 1-2 所示。在直流激励电压  $u_0$  作用下,这种传感器将位移变成输出电压的变化。

当触点移动  $x$  距离后,传感器的输出电压  $u_y$  可用下式计算

$$u_y = \frac{u_0}{\frac{x_p}{x} + \left(\frac{R_p}{R_L}\right)\left(1 - \frac{x}{x_p}\right)} \quad (1-4)$$

式中  $R_p$ ——变阻器的总电阻;  
 $x_p$ ——变阻器的总长度;  
 $R_L$ ——后接电路的输入电阻。

式(1-4)表明,为减少后接电路的影响,应使  $R_L \gg R_p$ 。

变阻器式传感器的优点是结构简单,性能稳定,使用方便。缺点是分辨率(指传感器可能感受到的被测量的最小变化的能力)不高,因为受到电阻丝直径的限制。提高分辨率需使用更细的电阻丝,其绕制较困难。所以变阻器式传感器的分辨率很难优于  $20 \mu\text{m}$ 。

由于结构上的特点,这种传感器还有较大的噪声。电刷和电阻元件之间接触面的变动和磨损、尘埃附着等,都会使电刷在滑动中的接触电阻发生不规则的变化,从而产生噪声。

变阻器式传感器被用于线位移、角位移测量,在测量仪器中用于伺服记录仪器或电子电位差计等。

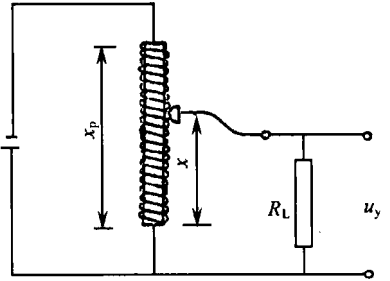


图 1-2 电阻分压电路

## 二、电阻应变式传感器

电阻应变式传感器是一种利用电阻应变片(或弹性敏感元件)将应变或应力转换为电阻的传感器。可以用于测量应变、力、位移、加速度、扭矩等参数。具有体积小、动态响应快、测量精度高、使用简便等优点。在航空、船舶、机械、建筑等行业里获得广泛应用。

电阻应变式传感器可分为金属电阻导体应变片式与半导体应变片式两类。

### (一) 基本工作原理

由材料力学知识可知,构件(或杆件)在外力作用下发生变形的同时,在构件内部截面上将产生一种相互作用力,称之为内力,用  $N$  表示。在工程技术上通常将单位截面( $A$ )上的内力称为应力,用  $\sigma$  表示,即  $\sigma = N/A$ 。而在研究构件的变形时又将单位长度的变形称为相对变形或应变,用  $\epsilon$  表示。在弹性范围内,应力与应变成正比的比例常数称为材料的弹性模量,用  $E$  表示,即  $\sigma = E\epsilon$  或  $\epsilon = \sigma/E = N/EA$ ,称为拉压虎克定律。

金属导体或半导体材料在外力作用下产生机械变形时,其电阻值亦将发生变化,这种现象称为电阻应变效应。根据这种效应可将应变片粘贴于被测材料上,这样被测材料受到外力的作用产生的应变就会传送到应变片上,使应变片的电阻值发生变化,通过测量应变片电阻值的变化就可得知被测量的大小。

#### 1. 金属电阻应变片的工作原理

图 1-3 所示为导体的电阻应变效应原理图。设该导体的初始长度为  $l$ 、截面半径为  $r$ 、电阻率为  $\rho$ ,则其电阻值  $R$  为:

$$R = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{\pi r^2} \quad (1-5)$$

当导体两端承受外施轴向力  $F$  作用时,则其几何尺寸和电阻率都将发生变化,从而引起电阻值的变化。如用数学式来表述其变化,通过对式(1-5)微分可得

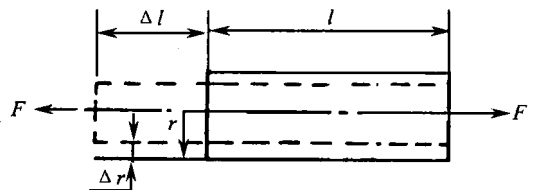


图 1-3 导体的电阻应变效应