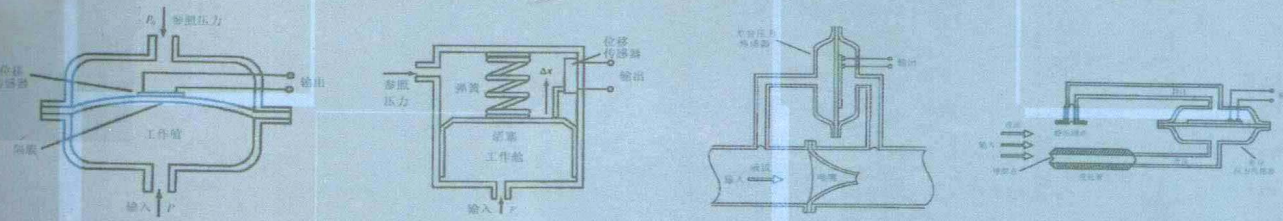


高等教育教材

NONGYE GONGCHENG CESHI XITONG SHEJI YU YINGYONG

农业工程测试系统设计与应用

孙裕晶 张 强 编著



吉林大學出版社

高等教育教材

农业工程测试系统设计与应用

孙裕晶 张强 编著

吉林大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农业工程测试系统设计与应用/孙裕晶 张强编著. —长春: 吉林大学出版社, 2010.12

ISBN 978 - 7 - 5601 - 6785 - 5

I. ①农… II. ①孙… ②张… III. ①农业机械—检测 IV. ①S220.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 247492 号

内容提要

本书以机械工程测试系统结构为主线, 在论述常用传感器原理与应用、测试信号与测试系统特性分析方法的基础上, 以应变片测试系统为例, 介绍测试系统硬件设计、系统调试和标定方法, 以及典型工程参数的测试方法, 同时以虚拟仪器技术为代表, 介绍了计算机控制测试技术。

本书以测试技术工程应用为主, 重点介绍测试原理、测试系统分析和典型功能单元的设计方法, 以及相关硬件选型和软件操作方法。选材上重视测试概念和在工程实际问题中的应用, 尽量避免高深的理论推导, 有关的理论分析和数学分析过程, 如振动分析理论与数据处理方法, 可以参阅有关专著。

本书是农业机械化工程专业本科生、研究生教材, 也可供农业机械科技人员技术培训和相近专业学生及工程技术人员参考。

书 名: 农业工程测试系统设计与应用

作 者: 孙裕晶 张强 编著

责任编辑: 李国宏 (sheira@163.com)

责任校对: 赵洪波 魏丹丹

封面设计: 创意广告

出版发行: 吉林大学出版社

社址: 长春市明德路 421 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-88499826

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E_mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

印刷: 长春市东文印刷厂

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 20.5

字数: 520 千字

版次: 2011 年 1 月 第 1 版

印次: 2011 年 1 月 第 1 次印刷

书号: ISBN 978 - 7 - 5601 - 6785 - 5

定价: 44.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

测试与控制技术是一门集测量、试验、控制及计算机系统于一体的综合技术，广泛地用于工业、农业、交通运输、国防、科研以及医疗等各个方面，已成为这些领域必不可少的技术内容。在当今激烈竞争的技术人才市场上，一个合格的工程师必须知晓工业自动化技术的最新知识，才能适应快速变化的市场需求。《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，高等教育的目标更加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？带着这些问题，编者在多年的教学中以工程测试案例为主线，进行了相关课程的教学实践。教学中发现：由于教学内容的改变，很难找到与教学内容相匹配的教材，给学生学习带来不便。本书就是为满足这一需求而编写的。

本书是根据编者在吉林大学讲授本科生“生物传感与测试技术”、“农业工程测试技术”课程及研究生“农业机械测试与数据处理”课程所用讲稿整理、改编而成。全书以工程测试系统设计与应用为主线，结合机械工程、农业工程测试与控制实例，论述了常用传感器原理与应用、测试信号分析技术、测试系统特性分析方法。通过应变片测试系统分析，介绍了测试系统硬件设计、系统调试和标定、传感器结构设计，以及典型动力学参数的测试方法。以虚拟仪器硬件和软件技术为例，介绍了计算机控制测试技术的硬件设计和软件开发方法。

本书由孙裕晶（1—6章）和张强（7—9章）编写。研究生郝森、刘阳、闫晶晶同学在书稿整理过程中做了大量的工作，在此表示感谢。

本书出版得到了吉林大学“农业工程装备科技创新与推广及高层次人才培养实践基地建设”项目资助，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

2010年11月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 测试的意义	(1)
1.2 测试方法和测试系统的组成	(2)
1.3 测试技术的发展	(2)
1.3.1 传感器技术	(2)
1.3.2 计算机测试技术	(3)
1.4 测量误差概念	(3)
1.5 课程内容	(4)
第 2 章 常用传感器原理与应用	(5)
2.1 电位器式位移传感器	(5)
2.1.1 典型电位器式位移传感器	(5)
2.1.2 电位器式位移传感器的负载特性及非线性误差	(8)
2.2 电阻应变式传感器	(10)
2.2.1 金属电阻应变片	(10)
2.2.2 半导体应变片	(12)
2.2.3 应变片的主要参数和工作特性	(12)
2.2.4 电阻应变片的应用	(15)
2.2.5 转换电路	(16)
2.2.6 电阻应变式位移传感器	(16)
2.3 电感式传感器	(17)
2.3.1 自感式传感器	(17)
2.3.2 差动变压器式传感器	(19)
2.3.3 电涡流式传感器	(24)
2.3.4 感应同步器系统	(28)
2.4 电容式传感器	(33)
2.4.1 工作原理	(33)
2.4.2 电容式位移传感器	(35)

2.4.3	电容式传感器信号处理电路	(37)
2.5	压电式传感器	(41)
2.5.1	压电效应	(41)
2.5.2	压电材料及其特性	(41)
2.5.3	等效电路	(43)
2.5.4	测量电路	(44)
2.5.5	压电变换器	(44)
2.6	磁敏传感器	(45)
2.6.1	霍尔元件	(45)
2.6.2	磁敏电阻	(46)
2.6.3	磁敏管	(47)
2.6.4	霍尔式微量位移传感器	(47)
2.6.5	振弦式位移传感器	(49)
2.6.6	磁阻式位移传感器	(49)
2.6.7	磁栅式位移测量系统	(50)
2.7	光电式传感器	(51)
2.7.1	光敏电阻	(52)
2.7.2	光电池	(52)
2.7.3	光敏晶体管	(52)
2.7.4	固体图像传感器	(53)
2.8	光栅位移测量系统	(55)
2.8.1	光栅的结构和分类	(55)
2.8.2	莫尔条纹	(55)
2.8.3	辨向电路	(57)
2.9	光纤位移测量系统	(59)
2.9.1	功能型光纤传感器	(59)
2.9.2	反射式光纤位移传感器	(61)
2.9.3	光电转换及放大电路	(62)
2.10	轴角编码器	(62)
2.10.1	绝对式编码器	(63)
2.10.2	增量式编码器	(64)
2.11	超声波测距系统	(65)
2.12	集成传感器	(65)
第3章	信号变换与处理	(68)
3.1	测量电路	(68)

3.1.1 电位计式电路	(68)
3.1.2 电桥电路	(69)
3.2 信号的放大	(77)
3.3 滤波器	(79)
3.3.1 滤波器的分类及基本参数	(79)
3.3.2 RC 滤波器	(81)
3.3.3 有源滤波器	(82)
3.4 调制与解调	(85)
3.4.1 调幅及其解调	(86)
3.4.2 调频及其解调	(89)
第4章 测试信号分析	(91)
4.1 信号及分类	(91)
4.1.1 确定性信号	(91)
4.1.2 随机信号	(92)
4.1.3 连续信号和离散信号	(92)
4.1.4 能量信号和功率信号	(92)
4.2 周期信号与离散频谱	(93)
4.2.1 傅里叶级数与周期信号的频谱	(93)
4.2.2 傅里叶级数的复指数函数展开式	(96)
4.3 傅里叶变换及非周期信号的频谱	(98)
4.3.1 傅里叶变换(FT-Fourier Transform)	(98)
4.3.2 傅里叶变换的性质及应用	(100)
4.3.3 典型信号的频谱	(103)
4.4 数字信号处理	(106)
4.4.1 模拟信号的离散化	(106)
4.4.2 离散傅立叶变换(DFT)	(108)
第5章 测试系统特性	(110)
5.1 测试装置与线性系统	(110)
5.1.1 测试装置的基本要求	(110)
5.1.2 线性系统及其主要性质	(111)
5.2 测试系统的静态特性	(112)
5.2.1 线性度	(112)
5.2.2 灵敏度	(113)
5.2.3 回程误差(滞后)	(113)
5.2.4 其他表征测试系统的指标	(114)

5.3	测试系统的动态特性	(115)
5.3.1	测试系统动态特性的描述方法	(115)
5.3.2	测试系统的动态特性	(118)
5.3.3	测试系统动态特性的测定	(124)
5.3.4	测试环节的联接	(126)
5.4	实现不失真测试的条件	(128)
第6章	应变片测试技术	(131)
6.1	应变测试系统	(131)
6.1.1	应变片测试系统类型	(131)
6.1.2	电阻应变仪	(134)
6.1.3	信号记录仪器	(138)
6.2	测试系统标定	(141)
6.2.1	测试系统静态特性标定基本概念	(141)
6.2.2	电阻应变测试系统的静态特性标定	(141)
6.2.3	测试系统的动态特性标定	(145)
6.3	典型载荷的布片和接桥	(147)
6.3.1	单向拉伸(压缩)载荷的测量	(148)
6.3.2	弯曲载荷的测量	(149)
6.3.3	试件同时受拉伸(压缩)及弯曲载荷的测量	(149)
6.3.4	剪力的测量	(150)
6.3.5	扭矩的测量	(151)
6.3.6	平面应力场的测量——应变花	(152)
6.4	应变片传感器设计	(153)
6.4.1	应变片传感器工作原理和特性	(153)
6.4.2	传感器结构设计	(156)
6.5	扭矩测试与信号传递	(162)
6.5.1	扭矩的测量	(162)
6.5.2	扭矩信号传输与集流环	(169)
6.6	农业机械悬挂机组测试方法	(174)
6.6.1	悬挂杆测力法	(175)
6.6.2	悬挂销测力法	(178)
6.6.3	框架式悬挂测力装置	(181)
6.6.4	犁体六分力测量	(183)
第7章	振动测试技术	(189)
7.1	概述	(189)

7.2 机械振动测试系统	(190)
7.2.1 振动基本参数测量系统组成	(191)
7.2.2 振动测量系统仪器的选用	(191)
7.2.3 结构和部件的动态特性测试系统	(198)
7.2.4 激振方式	(198)
7.2.5 常用激振器	(200)
7.3 测振传感器	(202)
7.3.1 测振传感器分类	(202)
7.3.2 惯性式测振传感器的力学原理	(203)
7.3.3 磁电式速度传感器	(206)
7.3.4 压电式加速度传感器	(207)
7.3.5 应变式加速度传感器	(208)
7.4 手把和座椅振动特性的测量与评价方法	(209)
7.4.1 手扶拖拉机手把振动测定及评价法	(209)
7.4.2 座椅振动测量及评价方法	(211)
第8章 过程参量测试	(214)
8.1 温度测试方法	(214)
8.1.1 基本概念	(214)
8.1.2 常用温度传感器	(215)
8.2 压力的测量	(220)
8.2.1 弹性压力敏感元件	(221)
8.2.2 常用压力传感器	(222)
8.3 流量的测量	(225)
8.3.1 概述	(225)
8.3.2 常用流量计	(225)
第9章 现代测试技术	(230)
9.1 数据采集系统概述	(230)
9.1.1 数据采集系统的基本组成	(231)
9.1.2 数据采集与分析系统的主要性能指标	(233)
9.2 数据采集系统设计	(234)
9.2.1 数据采集系统设计的一般步骤	(234)
9.2.2 系统 A/D 通道的确定	(237)
9.3 干扰及抑制方法	(243)
9.3.1 干扰源	(243)
9.3.2 干扰的作用方式	(244)

9.3.3 抑制干扰的措施	(244)
9.4 虚拟仪器	(246)
9.4.1 虚拟仪器的出现	(246)
9.4.2 虚拟仪器的分类	(247)
9.4.3 虚拟仪器硬件系统	(249)
9.4.4 虚拟仪器软件系统	(249)
9.5 LabVIEW 软件	(250)
9.5.1 概述	(250)
9.5.2 数据采集	(269)
9.5.3 仪器控制	(279)
9.5.4 分析软件	(289)
9.5.5 实用工具软件包	(297)
附录: 农业工程测试技术实验	(301)
实验 1 电阻应变片贴片工艺实践	(301)
实验 2 测试系统调试与标定	(302)
附录 2-1 YD-15 动态电阻应变仪型使用说明	(303)
附录 2-2 Y6D-2 动态电阻应变仪使用简介	(304)
附录 2-3 SC-19 型光线示波器使用说明	(304)
实验 3 测试系统综合实验	(306)
实验 4 农机载荷监测虚拟仪器系统	(307)
附录 4-1 DH3817 动静态应变测试系统使用方法	(308)
主要参考文献	(316)

第1章 概论

测试技术是信息技术三大支柱(测试技术、计算机技术和通信技术)之一。随着信息时代的到来,测试与传感器技术成为工程技术中最活跃的科技领域。与测试技术相关的高科技产品也越来越广泛地走进我们的生活。

工程测试一般是指对机械、仪器和设备等的性能和精度进行测量。与工程测试相关的术语包括:测量、计量和测试。测量(Measurement)是指以确定被测对象量值为目的的操作过程。计量是实现单位统一和量值准确的测量。测试(measurement and Test)是带有试验性质的测量,或者说是测量和试验的综合。

1.1 测试的意义

测试技术是人类通过技术手段从宏观领域和微观领域观察认识世界能力的扩展,是科学研究的基本方法。从我们身边的长度、面积、质量和时间测量,到宏观宇宙星系运动规律的观察认识,到微观原子结构的分析,都离不开测试技术。从科学意义上,测试技术的作用主要体现在以下4个方面:

1)测试是人们认识客观世界的手段之一,是科学研究和探索工程技术规律的基本方法。

我们认识新事物的方法包括理论分析和试验测量。用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。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。在工程设计和生产技术的研究所涉及的对象往往十分复杂,很多问题还难以进行完整的理论分析和计算。因此,多数工程设计结构方案和具体参数主要靠测试手段去校核和确定。

2)自动化生产中,需要检测被控对象的状态参数。测试水平的高低直接影响控制水平的优劣。

3)对某些自动化程度高的重要设备,对设备正常运行时的振动、噪声等参数进行在线检测,可以监视设备的运行状况,消除故障隐患。

4)提高设备智能化和现代化。

1.2 测试方法和测试系统的组成

测量过程是把被测量与同性质的标准量进行比较,从而获得被测量是标准量的若干倍的数量概念,如天平、尺等。但在大多数场合下,无法将被测量直接与同性质的标准量进行比较,需要进行某种转换,如温度计等。变换往往是实现测量的必要手段。通常使用传感器实现这种变换。

传感器(Transducer/Sensor)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。其输出由机械量、光学量和电量等。

非电量电测法:测试系统中,越来越多的利用传感器把被测非电量变换为电量,然后进行测量,便于传输、转换、处理和显示。

非电量电测法优点:

- 1)能连续测量,自动记录,便于通过反馈进行自动控制和调整生产过程。
- 2)通过电量放大器很容易将被测量放大很多倍,可测极其微小的量。
- 3)既可测静态量也可测动态量,而且可测瞬态量。
- 4)可以有线或无线实现远距离遥测。
- 5)可利用计算机进行自动测试以及分析和处理测试数据。

如图 1-1,非电量电测系统按照信息流的过程划分为:信息获得、转换、处理和显示记录等几部分。

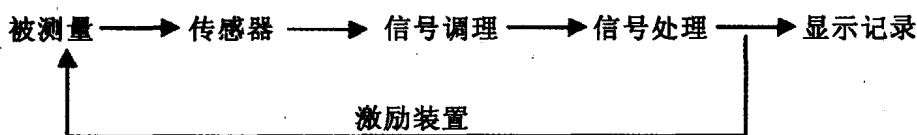


图 1-1 测试过程信息流

传感器将非电量转换为电量时,往往输出一些电路参数(如电阻、电感和电容等),需要将电路参数转换为电压、电流和频率等,采用的转换电路主要有电桥、调制与解调、电荷放大器等电路。此外,信号还需要进行必要的放大、阻抗变换、滤波、A/D 或 D/A 转换等处理。信号转换和处理电路统称为测量电路,也称信号调理电路。

信号分析和处理:将传感器输出的信号处理成有用的信息。

1.3 测试技术的发展

测试技术的发展主要体现在传感器技术和计算机测试技术的发展。

1.3.1 传感器技术

(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某种性质随被测量的变化来实现信号的转换。这类

传感器开发实质上是新材料的开发。如半导体、金属氧化物陶瓷、光导纤维、导电聚合物、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。这些材料的增多,不仅使力、热、光、磁、湿度、气体、离子等方面一些参量的测量变为现实,也使集成化、小型化、高性能传感器的出现成为可能。

(2) 微型化、智能化、多功能传感器的开发

微型传感器是利用集成电路技术、微机电加工技术与封装技术制成的传感器。尺寸可以小到微米级。特点是体积小、重量轻、响应快、灵敏度高和成本低等。

智能传感器是由传感器和微处理器相结合而构成的。

多功能传感器有两种以上功能不同的敏感元件组成,用来同时测量多种参数。

(3) 新型传感器的开发

如光纤传感器、固体图像传感器、红外传感器、化学传感器和生物传感器等不断出现。气体传感器、湿度传感器和离子传感器等化学传感器的应用日益广泛。如人工嗅觉传感系统“电子鼻”(Electronic Nose)具有识别气味的能力。

1.3.2 计算机测试技术

随着计算机技术的发展,测试技术发生的巨大的变化。如大规模的数据采集系统、大型生产线的快速实时信号采集与反馈系统和虚拟仪器技术等。

从测试系统功能上,快捷便利的计算机越来越多地取代了传统的信号处理和显示记录仪器,多传感器的集成测试系统取代了单一功能的测试设备。在多传感器融合的基础上出现了智能化检测技术,如电子鼻、生物传感器等。多功能的柔性测试系统取代了传统的单一功能测试设备,其中最具有代表性的技术就是虚拟仪器技术。

虚拟仪器技术是在通用计算机平台上,用户根据自己的需求定义和设计仪器的测试功能,通过图形界面(通常称为虚拟面板)进行操作的虚拟仪器。将仪器硬件和计算机充分结合起来,实现并扩展传统仪器的功能。它是一种基于图形开发、调试和运行程序的集成化环境。

从测试系统的硬件结构上,越来越多的单一功能仪器的测试系统发展成集成功能的检测系统。如多传感器集成技术、传感器与信号处理模块集成、传感器与测试仪表集成,从而实现测试系统的微型化和综合化。

1.4 测量误差概念

一、真值

即真实值,是指在一定条件下,被测量客观存在的实际值。一般指理论真值、约定真值和相对真值。

理论真值:如三角形内角和等于 180° 。

约定真值:国际上公认的某些基准量值。如“米是光在真空中 $1/299792458$ 秒内行进的距离。”

相对真值:通常把高一精度等级的计量仪器的测量值作为低一等级仪器测量值的真值。

二、误差表示

绝对误差:测得值与被测量真值之差。

相对误差:被测量的绝对误差与其真值之比,一般用百分数表示。

相对误差可用来比较两种测量结果的精确程度,但不能用来衡量不同仪表的质量。因为同一台仪表在整个测量范围内的相对误差不是定值,随着被测量的减小,相对误差增大。因此,在工程应用中,确定仪表精确等级常用引用误差来表示。

引用误差:是指仪表显示值的最大绝对误差与仪表的测量上限值或量程之比。我国规定电工仪表精度等级:0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。0.1表示0.1%,其他类推。由于通常仪表的误差是用引用误差表示,因此不宜选用大量程仪表来测量较小的量值,否则会使测量误差增大,一般应尽量避免让仪表在小于 $1/3$ 量程范围内工作。

三、误差的分类

按照误差的性质,可分为以下3类:

(1) **系统误差** 误差的大小及符号在测量过程中不变或按一定的规律变化,称为系统误差。系统误差可通过实验的方法,找出并予以消除,或加修正值对测量结果进行修正。

(2) **随机误差** 在实际测量条件下,多次测量同一量值时,误差的大小和符号没有一定规律,以不可预知的方式变化着,这类误差称为随机误差。它是由许多偶然因素所引起的综合结果。它既不能用实验的方法消除,也不能修正。就每次测量结果而言,随机误差的出现是没有规律的,而在多次重复测量时,其总体服从统计规律,可以从理论上来估计随机误差对测量结果的影响。

(3) **粗大误差** 明显超出规定条件下可能出现的误差成为粗大误差,也称疏失误差。粗大误差一般是由于测量者粗心大意或操作失误造成的人为差错。例如读错示值、记录或运算错误等。粗大误差一经发现,必须从测量数据中剔除。

1.5 课程内容

农业工程测试的内容非常广泛,不仅包括农业机械性能测试、结构测试(如农业机具田间试验和实验室试验等),而且包括土壤、农业物料状态测试。本书主要介绍与农业工程处理过程相关的动力学参数和性能指标的常用测试系统设计和应用方法。对于专用测试系统,如农业物料成份的光谱检测、色谱检测等,因涉及的理论较多,这里不加讨论。感兴趣的读者可参阅相关专著。

本书内容分为3部分:第一部分包括绪论、常用传感器原理与应用、信号变换与处理和测试信号分析和测试系统的基本特性,主要介绍常用传感器原理、工程测试系统组成和分析方法;第2部分包括应变片测试技术、振动测试和过程参量测试,叙述常用工程测试系统设计和应用;第3部分以虚拟仪器技术为主,介绍现代工程测试系统设计方法。教学中可以根据课程安排和需要选讲部分内容。

为了加强学生对测试概念的理解,提高分析问题和解决问题的能力,课程配置了4~6个实验项目:应变片传感器贴片工艺实践、测试系统调试与标定、测试系统综合实验、农机载荷监控虚拟仪器系统和空间载荷六分力测试等。为方便学生试验,附录中收录了实验指导书。

第2章 常用传感器原理与应用

通常将传感器看作是一个把被测非电量转换为电量的装置。传感器位于测控系统的首端,是获取准确可靠信息的关键装置。深入研究传感器的原理和应用,研制和开发新型传感器,具有重要的现实意义。

测试对象涉及各类学科和工程的各个方面,因而传感器有很多分类方法。按被测量种类(传感器的用途)分类,可分为位移传感器、压力传感器、温度传感器等。按工作原理分类,可分为电阻应变式、电感式、电容式、压电式等。习惯上常把两者结合起来命名传感器,比如电阻应变式力传感器、电感式位移传感器、压电式加速度传感器等。

按被测量的转换特征可分为结构型和物性型。结构型传感器通过传感器结构参数的变化而实现信号转换。如电容式传感器依靠极板间距离变化引起电容量的变化。有些结构型传感器,通过弹性敏感元件的受力变形,将力、扭矩、压力等转换成应变或位移,再利用传感元件(如电阻应变片等)将其转换成电量。物性型传感器利用某些材料物理性质随被测量变化的特性实现参数的转换,具有灵敏度高、响应速度快、结构简单、便于集成等特点,是传感器的发展方向之一。

按照能量传递方式可分为能量控制型传感器和能量转换型传感器两大类。能量控制型传感器的输出能量由外部供给,但受被测输入量的控制,如电阻应变式传感器、电感式传感器、电容式传感器等。能量转换型传感器的输出量直接由被测量能量转换而得,如压电式传感器、热电式传感器等。

2.1 电位器式位移传感器

电位器是一种常用的电子器件,作为位移传感器可以将机械位移转换为相应的电阻值或输出电压变化。

2.1.1 典型电位器式位移传感器

一、线绕电位器式位移传感器

线绕电位器的电阻体由电阻丝缠绕在绝缘物上构成。电阻丝种类很多,一般根据电位器的结构、容纳电阻丝的空间、电阻值和温度系数来选择电阻丝材料。电阻丝越细,在给定空间内越能获得较大的电阻值和分辨率。但电阻丝太细,使用中易断,影响传感器的寿命。表 2-1 列出了一些常用电阻丝材料的特性,以便在选择线绕电位器式传感器型式时参考。

线绕电位器一般由电阻丝绕制在绝缘骨架上,由电刷引出与滑动点电阻对应的输入变化。电阻丝是线径非常小、电阻系数非常大的绝缘导线,将其整齐地缠绕在绝缘骨架上,把与电刷接触部分的半个表面的绝缘皮去掉,构成电刷与电阻丝的接触导电通道。电刷由待测量机械位移部分拖动,输出与位移成正比的电阻或电压的变化。线绕电位器的阻值范围在 $100\Omega \sim 100k\Omega$ 之间。线绕电位器的优点是结构简单,使用方便;缺点是存在摩擦和磨损、有阶梯误差、分辨率低、寿命短等。由于电阻丝是一匝一匝地绕制在骨架上的,当接触电刷沿骨架轴向从前一匝移动到后一匝时,阻值或电压的变化不是连续变化的而是阶梯式的,如图 2-1 所示。

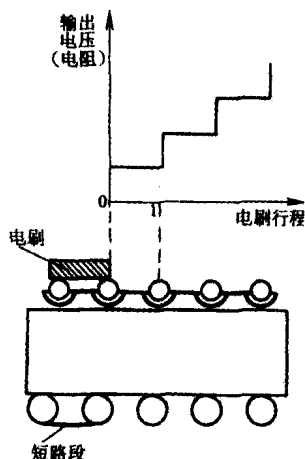


图 2-1 线绕电位器的阶梯输出特性

如电位器的总匝数为 1000 匝,对应的工作行程为 40mm,两固定端上加的电压为 12V,则电压分辨率为 $12/1000=0.012V$,此电位器的位移分辨率为 $40/1000=0.04mm$,即在理论上意味着每有 0.012V 电压变化输出就有 0.04mm 的机械位移量变化。要进一步提高位移分辨率只有选用更细电阻丝、增加单位长度内的匝数。目前,线绕直线电位器的位移分辨可达 $0.025mm \sim 0.05mm$ 。

表 2-1 常用电阻丝材料的特性

电阻丝材料	优 点	缺 点	用 途
镍铬系电热合金	固有电阻大、耐高温	温度系数大	制造电力用高阻值电位器
铜镍系康铜丝合金	温度系数小、耐腐蚀性好、抗氧化性好、可加工性好	固有电阻小	用于制造一般精密电位器
铜锰镍电阻合金	温度系数小	易氧化	用于低温使用的电位器
铝锰系合金	温度系数小、耐磨性好	受热易变软、性能不稳定	只限低温使用的电位器

二、非线性式电位器位移传感器

非线性式电位器位移传感器一般是在绝缘基片上制成各种薄膜元件,如合成膜式、金属膜式、导电塑料和导电玻璃釉电位器等。其优点是分辨高、耐磨、寿命长和易校准等;缺点是易受温、湿度影响,难以实现高精度。表 2-2 给出了 3 种电位器的主要性能指标。由表可见非线性式电位器各项指标优于线绕式的,导电塑料电位器比合成膜电位器好,缺点是对温度、湿度变化比较敏感,并且要求接触压力大,只限用于推动力大的位移测量情况。

表 2-2 三种电位器的主要技术指标

名称	精密线绕电位器	精密合成膜电位器	导电塑料电位器
型号	WX74A	WHJ	WDL65
总阻值偏差	$\pm 5\% \sim \pm 2\%$	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$
线性度	$\pm 0.5\% \sim \pm 1\%$	$\pm 0.5\% \sim 0.1\%$	$0.1\% \sim 0.03\%$
寿命	2万次 $\Delta R/R < 2\%$	20万次 $\Delta R/R \leq 1.5\%$	1千次 $\Delta R/R < 1\%$
使用后的噪声系数	2万次 40%	20万次 20%	20万次 1%

独立线性度指标是针对高精密电位器给出的,它不考虑电位器两个端点附近线性度较差的区段而特指中间工作区间的线性度。经过修刻的电位器独立线性度可达 $0.1\% \sim 0.025\%$,如 WDL-25 直线式精密导电塑料电位器,其主要指标为:

总电阻: $500\Omega \sim 10K\Omega$, 误差为 $\pm 15\%$;

独立线性度: $0.2\%, 0.5\%, 1\%$;

行程: $25\text{mm} \pm 1\text{mm}$;

输出平滑性: $< 0.1\%$;

功率: $2\text{W}(70^\circ\text{C})$;

电阻温度系数: $\pm 400 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

由总电阻和功率可知,电位器端电压可高达 20V 以上。若电位器的端电压为 12V ,则单位位移对应的电压输出为 $12\text{V}/25\text{mm} = 0.48\text{V}/\text{mm}$ 。位移精确度为 $25\text{mm} \times 0.2\% = 0.05\text{mm}$ 。WDL-50(50mm 量程),WDL-100(100mm 量程),不但量程大,而且独立线性度也高,WDL-100 可达 0.1% 。WDL 型直线式导电塑料电位器,所需拖动力很小,小于 1N 。YHD 型电位器式位移传感器是由精密无感电阻和直线电位器构成测量电桥的两个桥臂,并和应变仪连用。这种传感器的量程有 10mm 、 50mm 、 100mm 等几种,不同的量程有不同的分辨率,最小可达 0.01mm 。

导电玻璃釉电位器又称金属陶瓷电位器,它是以合金、金属氧化物或难溶化合物等为导电材料,以玻璃釉粉为粘合剂,经混合烧结在陶瓷或玻璃基体上制成的。导电玻璃釉电位器的缺点是接触电阻变化大、噪声大、不易保证测量的高精度。导电玻璃釉电位器耐高温性好、耐磨性好、有较宽的阻值范围、电阻温度系数小且抗湿性强,因此导电玻璃釉电位器式位移传感器得到较为广泛应用。

光电式电位器是另一种非线绕式电位器,它是一种非接触式的,以光束代替了常规的电刷,其结构原理如图 2-2 所示。一般采用氧化铝作基体,在基体上沉积一条带状电阻薄膜和一条高传导导电带,电阻带和导电带之间留有一条很窄的间隙,在间隙上沉积一层光电导体(硫化镉或硒化镉)。当窄光束在电阻带、导电带和光电导体层上照射并移动时,可以看作导电带和电阻带导通,在负载 R_0 上便有输出电压,而无光照射时,导电带和电阻带可以看作开路,从而保证了 R_L 上的电压只取决于光束的位置。光电电位器的优点是完全没有摩擦、磨损,不会对仪表系统附加任何力或力矩,提高了仪表精度,寿命、可靠性,而且其分辨率也很高;缺点是输出阻抗较高,需要匹配高输入阻抗放大器。因为需要光源和光路系统,所以体积、重量增大,结构复杂,同时,线性度不容易做得很高。