



仪器仪表工人 技术培训教材

传感器装校工艺学

机械工业部仪器仪表工业局 统编

机械工业出版社



73.862
878

仪器仪表工人技术培训教材

传感器装校工艺学

机械工业部仪器仪表工业局 统编



机械工业出版社

8910362

022/31
本书是为机械装校类工人技术培训的教学需要而编写的。

本书共分四章。内容包括：传感器的分类，工作原理及其应用，传感器的典型制造工艺和装配调整，传感器的检验和标定，以及传感器的发展。

本书编审人员为：罗绍基、冯翰、任跃斌、陈金土、赵文达、龚宝勋、杨凤鸣、潘洪良、许大才、朱淑球、郑素珍、金惠福同志。

传感器装校工艺学

机械工业部仪器仪表工业局 统编

*

责任编辑：卢若薇 王 斌 版式设计：冉晓华
责任印制：王国光 责任校对：熊天荣

*

机械工业出版社出版（北京皇城根外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 77¹/₈·字数 171千字

1989年11月北京第一版·1989年11月北京第一次印刷

印数 0,001—22,10 定价：5.10元

*

ISBN 7-111-00806-5/TH·138

前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训，是智力开发的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容；才能逐步建立起正规的工人技术教育体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。²为此，我们在全国仪器仪表行业有关的重点企业中，组织了有长期从事技术、教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套仪器仪表专业工种的初级、中级工人技术培训教材，共七大类四十六本。

这套教材编写的依据是原国家仪器仪表工业总局一九八一年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（仪器仪表专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中本工种三级以下的“应知”要求；学完中级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要求。在教材编写过程中，注意了工人培训和仪器仪表行业的特点，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。考虑到工种工艺学的特殊性，避免不必要的重复，对工种工艺学初级、中级教材采用合一册或上、下册的形式。通过教学计划和大纲，体现初级、中级培训的阶段性和连续性。

这套教材的出版，得到了北京、天津、上海、江苏等省

IV

市仪表局、机械厅和有关企业、学校、研究单位的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

原机械工业部仪器仪表工业局
工人技术培训教材编审领导小组
一九八二年十二月

目 录

前言	1
绪论	1
一、传感器在非电量电测技术中的作用和发展	1
二、传感器的定义和组成	2
三、传感器装校工艺对技术性能的影响	3
第一章 传感器的分类、工作原理及其应用	5
1-1 传感器的分类	5
1-2 电阻式传感器	6
一、电位计式传感器的工作原理及其结构形式	6
二、电位计式传感器的应用	10
三、电阻应变式传感器的工作原理	11
1-3 电感式传感器	18
一、自感式传感器的工作原理及其结构形式	18
二、差动变压器	22
三、电感式传感器的应用	23
1-4 电容式传感器	24
一、电容式传感器的工作原理及其结构形式	25
二、电容式传感器的应用	28
1-5 压电式传感器	29
一、压电效应	29
二、压电材料及其性能	29
三、压电式传感器的应用	31
1-6 磁电式传感器	32
一、基本原理	32

二、磁电式传感器结构形式及其应用	33
1-7 振弦式传感器	34
一、振弦式传感器的工作原理	34
二、振弦式传感器的特性	35
三、振弦振动的激发	36
四、振弦式传感器的应用	38
1-8 光电式传感器	39
一、光电效应和光电器件	39
二、光电式传感器的结构形式及其应用	42
1-9 磁弹性传感器	43
一、压磁效应	43
二、磁弹性传感器的工作原理	44
三、磁弹性传感器的结构形式及其应用	45
1-10 霍尔传感器	46
一、霍尔元件和霍尔效应	46
二、霍尔传感器的结构形式及其应用	47
第二章 传感器的典型制造工艺和装配调整	49
2-1 电阻应变式传感器制造工艺	49
一、电阻应变片	50
二、弹性体	58
三、应变片粘结剂	63
四、电阻应变片的粘贴工艺	66
五、接线和防潮保护	70
六、电阻应变式传感器的线路补偿	71
2-2 电感式传感器的典型制造工艺和装配调整	78
一、电感式传感器的种类及其结构	78
二、弹性敏感元件	84
三、电感线圈和铁心	86
四、电感式传感器的装配和调整	95

2-3 电容式差压变送器制造工艺	96
一、电容式差压变送器的结构及其工作原理	96
二、差动电容膜盒的制作	101
2-4 压电式传感器的典型制造工艺和装配调整	113
一、压电式传感器的结构和特点	113
二、压电式传感器的等效电路及测量电路	117
三、压电式传感器制造应用中的几个问题	120
四、压电式传感器的典型制造工艺	123
2-5 磁电式传感器制造工艺	130
一、磁电式传感器的结构	130
二、磁电式传感器零部件的制造工艺	133
三、磁电式传感器的装配和测试	135
2-6 光电式传感器	137
一、光电式传感器的结构	137
二、光电式传感器的装配工艺	141
三、光电式传感器的性能检验	143
2-7 磁弹性测力称重传感器的装校工艺	145
一、磁弹性传感器的结构	145
二、磁弹性变换元件的制造工艺	147
三、弹性机架和承力外壳制造工艺	154
四、磁弹性传感器装配工艺	156
五、磁弹性测力称重传感器的调整工艺	159
2-8 其它传感器	161
一、电位计式位移传感器	161
二、霍尔传感器	167
三、振弦式压力传感器	172
第三章 传感器的检验和标定	180
3-1 传感器的工作特性	181
一、静态特性	181

二、动态特性	188
三、时间稳定性	191
四、工作条件	192
3-2 传感器的检验规程	193
一、质量检验规则	194
二、测量方法和测量器具	195
三、检验项目和规定条件	197
四、基本性能检验	199
五、工作条件试验	210
3-3 传感器的标定	212
一、单独标定法	213
二、组合标定法	213
三、标定工作线的选择方法	214
3-4 传感器的精确度评定	217
一、传感器的误差分析	218
二、精确度评定方法	230
第四章 传感器的发展	235
一、概述	235
二、结构型传感器的发展途径	236
三、新型传感器发展的特点	238
四、与传感器有关的技术	240

绪 论

一、传感器在非电量电测技术中的作用和发展

利用各种信息变换技术，把非电量的各种参数变换成电量的测量技术，通称为非电量电测技术。

要实现非电量 $\rightarrow$ 电量的转换，首先要有一种能感受被测参数的仪器，并把它转换成可以测量的量（最常用的是电量），这种仪器称为传感器。人们把传感器称为测量的“五官”，在生产上可通过它知道各种运行参数的大小和变化。

随着科学技术的发展，要测的参数越来越多，特别在环保、海洋、生理和生态等方面有许多前所未有的参数需要加以测量，因而传感技术得到很大发展。除了比较成熟的结构型传感器不断得到发展外，许多物性型传感器，如光敏、味敏、色敏、磁敏等新型传感器也应运而生。这类传感器具有体积小、重量轻、耗能少等特点，解决了许多结构型传感器无法解决的问题，有的已经取代某些老式传感器。但尽管如此，在工业生产中所使用的传感器绝大多数仍是结构型的。这是因为物性型传感器目前品种还不多，而且还存在许多不足之处，如精度、稳定性方面还达不到结构型传感器的水平。比如应变式测力传感器，由于近几年来结构和工艺都有极大改进，目前其精度已可达到 $0.02\sim 0.05\%$ ，稳定性极佳，几乎无需维护仍能长期工作。这样的性能是物性型传感器目前无法比拟的。因此可以说，在相当长的时间内结构型传感器在工业生产中仍将起着关键性的作用。因此学习和

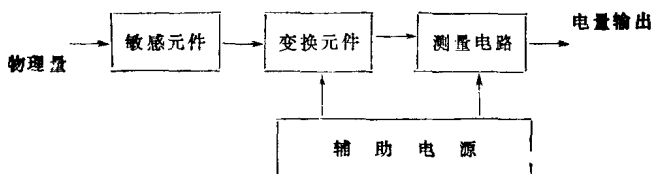
8910362

掌握结构型传感器的原理、结构、制造和装校方法，很有必要。本书的重点放在装校工艺方面，这是提高传感器质量最重要的一环，希望本书的出版，对于提高工人的装校水平，能起一定的作用。

二、传感器的定义和组成

传感器是以物理或化学定律和原理为基础，利用物质或能量来变换信息的一个完整的测量装置。它能把被测物理量转变为与之有确定对应关系的电量输出，以满足信息的传递、处理、显示、记录和控制等需要。

传感器一般由敏感元件、变换元件组成，有时还需加上测量电路和辅助电源。其组成可用下图来表示。



传感器有的很简单，有的却相当复杂；有带反馈的闭环系统，也有不带反馈的开环系统。因此，传感器的组成将依不同的情况而定。

敏感元件是直接感受被测量（一般为非电量），并输出与被测量成确定关系的其它量（也可以包括电量）的元件，如膜片和波纹管可以把被测压力变成位移量，应变弹性体可以把被测力变成应变。还有一些传感器，如压阻式谐振式压力传感器、差动变压器式位移传感器等，它们的敏感元件与变换元件就完全合为一体了。

变换元件又称传感元件，是传感器的重要组成部分。变换元件如热电偶和光敏电阻，可以直接感受被测量（一般为非电量）并输出与被测量成确定关系的电量，变换元件也可以不直接感受被测量，而只是感受与被测量成确定关系的其它非电量。如电阻应变式测力传感器，它的变换元件为电阻应变片，并不直接感受被测力，而是感受与被测力成确定关系的应变变量，然后通过电阻应变效应输出电量。在常用的传感器中，变换元件多数属于此种形式。

测量电路是能把变换元件输出的电信号转换成为便于显示、记录、控制和处理电信号的电路。测量电路根据变换元件类型而定，使用较多的是电桥电路，也可使用如高阻抗输入、载波调制、维持振荡的激振电路等。由于变换元件的输出信号一般比较小，为了满足显示和记录，大多数测量电路还包括放大器。

三、传感器装校工艺对技术性能的影响

传感器同其它各种仪器仪表、精密机器一样，是由若干个满足各种功能要求的零件组成的。如果每个零件都经精心加工，各项技术条件均满足设计图纸的规定要求，然后组装为整件或产品，是否每个传感器的技术性能都能达到预定的指标呢？回答是不一定的。这是由于在装配中会产生装配误差。提高零件加工的精确度，并不能使传感器的性能成比例地提高，而且这样做往往是不经济的，有的甚至是不可能的，所以，一般通过适当的装校来达到传感器的性能指标。

鉴于传感器的种类、品种和型号繁多，而且批量少，尺寸小、重量轻和使用条件复杂等特点。因此，要保证传感器的精确度、稳定性和可靠性等使用质量，在装校工艺过程中就包括了很多调整、时效和补偿等试验工作。

另外，传感器在装校过程中，装配的零部件相互间有机械和电气的作用，对环境条件都很敏感。常常要求装校车间恒温、恒湿、防尘、通风和工作人员进出换衣、换鞋等。如制作箔式应变片就是在空气经过净化的室内进行的。

为了不断地提高传感器的质量和降低成本，必须在研究零件加工工艺的同时，也研究装配与调校的工艺，以便能在装配和调校过程中，采用先进的、合理的工艺方法。

第一章 传感器的分类、 工作原理及其应用

1-1 传感器的分类

传感器通常按其变换原理或被测参数进行分类。前一种分类方法明确地说明了传感器的变换原理，比较适用于设计和制造。后一种分类方法清楚地指明了传感器的测量对象，便于应用选择。现将一些常用的传感器按上述两种方法的分类见表 1-1 和表 1-2。事实上，变换原理和被测量还远不止这些内容。

表1-1 传感器按变换原理分类

能量直接变换 (自源式传感器)	传感器举例	能量间接变换 (它源式传感器)	传感器举例
光电效应	光电池	电阻	电位计式、应变式、压阻式
磁电效应	磁电式	电磁	电感式、差动变压器式、涡流式
压电效应	压电式	谐振	振筒(弦、膜、梁)式
热电效应	热电偶	电容	电容式

表1-2 传感器按被测参数分类

基本被测参数		派生被测物理量
位移	线位移	长度、厚度、位置、应变
	角位移	偏转角、舵角

(续)

基本被测参数		派生被测物理量
速度	线速度	振动、流量、动量
	角速度	转速、角动量、角振动
加速度	线加速度	振动、冲击、应力、力
	角加速度	角振动、角冲击、力矩
力	压力	重量、密度、推力、转矩、应力

非电量虽然名目繁多,但许多非电量可从基本量派生出来。如长度、表面粗糙度可从位移基本量派生出来,加速度是速度的微分,振幅(位移)是速度的积分。若选用速度传感器,只要在测量电路中加上适当的微分或积分环节,就可以测速度、加速度和振幅了。了解基本量与派生量以及量纲的相互关系将有助于发挥传感器的功能。

1-2 电阻式传感器

电阻式传感器是用电阻作为变换元件,将被测量的变化变换成电阻值的变化,再经相应的测量电路输出电压(电流)信号进行测量的传感器。

常用的电阻式传感器按其工作原理可分为:电位计式和电阻应变式两大类。

一、电位计式传感器的工作原理及其结构形式

电位计式传感器主要用于线位移或角位移的测量。传感器的变换元件为电位计。电位计的结构形式,根据测量的需要,可作成线性式的或函数式的。由于常用的多数为线性式的结构,所以下面仅叙述分析此种结构的工作原理。

图 1-1 为测量线位移和角位移的电位计式传感器两种典型结构形式。

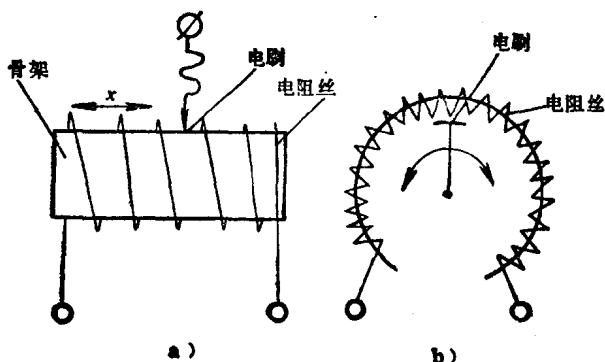


图1-1 电位计式传感器的结构

a) 线位移式 b) 角位移式

当被测量位移的变化带动电刷滑动时，它与固定端之间的电阻就发生变化，于是电刷的位移就变换为电阻的变化。图 1-1 a 所示是把位移 x 变为电阻的线性变化的线位移式，图 1-1 b 所示是把转角 θ 变为电阻的线性变化的角位移式。

另外，根据输出量要求的不同，电位计可作变阻器用，也可作分压器用，其工作电路如图1-2所示。

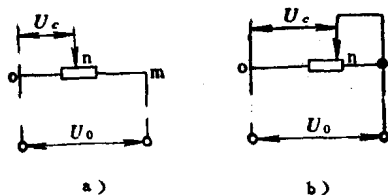


图1-2 电位计式传感器的工作电路

a) 分压器式 b) 变阻器式

作分压器时，电阻元件两端点 o m 之间加电压 U_0 ，当电刷从电阻元件一端移动至另一端时，作为输出量 o n 之间电

压 U_x 为 U_0 的一部分, 且将从零增至外加电压 U_0 , 故称为分压器。用作变阻器时, 电刷在电阻元件上滑动, 引起输出量 α 两点间电阻的变化。

1. 灵敏度和线性度 理想线性电位计的特性曲线应是一条严格的直线。它的骨架截面应处处相等, 并且由材料非常均匀的导线, 按相等的节距绕制而成, 如图 1-3 所示。

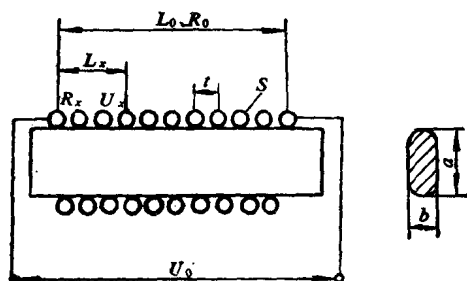


图1-3 线性电位计的原理图

U_0 —电位计端电压 U_x —电位计输出电压 R_0 —电位计总电阻 L_0 —电刷总行程 L_x —电刷的行程 R_x —电刷行程 L_x 处对应的电阻 l —节距, 即相邻两导线间的距离 b —骨架短轴 a —骨架长轴 S —导线的截面积

线性电位计的电阻元件上, 其单位长度的电阻是处处相等的。当电刷行程为 L_x 时, 其对应输出电阻和输出电压分别为

$$R_x = \frac{R_0}{L_0} L_x \quad (\Omega) \quad (1-1)$$

$$U_x = \frac{U_0}{R_0} \frac{R_0}{L_0} L_x = \frac{L_x}{L_0} U_0 \quad (V) \quad (1-2)$$

而其对应的电阻灵敏度和电压灵敏度则分别为