

DIANZI ZHUANYE 全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

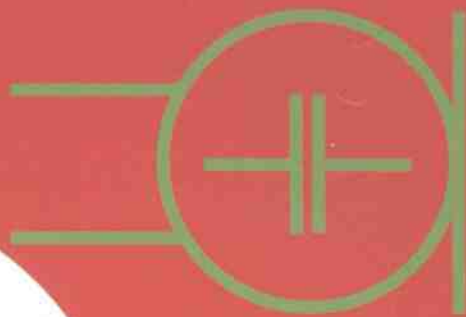
QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO DIANZILEI ZHUANYE TONGYONG JIAOCAI



QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO DIANZILEI ZHUANYE TONGYONG JIAOCAI

传感器基础知识

CHUANGANQI JICHUZHISHI



中国劳动保障出版社

全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

传感器基础知识

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

传感器基础知识/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2009

全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

ISBN 978-7-5045-7686-6

I. 传… II. 人… III. 传感器-专业学校-教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 112703 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

新华书店经销

北京京安印刷厂印刷 北京密云青云装订厂装订
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 9.75 印张 231 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定价: 16.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

前 言

为了更好地适应全国中等职业技术学校电子类专业的教学要求,人力资源和社会保障部教材办公室在广泛调研的基础上,组织全国有关职业教育研究人员、一线教师和行业专家,对2003年版中等职业技术学校电子类专业教材进行了修订和补充。

这次教材开发工作的重点主要表现在以下几个方面:

第一,坚持以能力为本位,突出职业技术教育特色。根据电子类专业毕业生所从事职业的实际需要,对教材内容的深度、难度做了较大程度的调整。同时,进一步加强实践性教学内容,以满足企业对技能型人才的需要。

第二,吸收和借鉴各地中等职业技术学校教学改革的成功经验。专业课教材的编写遵循任务驱动教学理念,将理论知识与技能训练有机融为一体,尽可能再现专业岗位的工作环境,以提高学生的就业能力,同时,激发学生的学习兴趣,提高教学效果。

第三,努力反映电子技术发展,力求使教材具有鲜明的时代特征。合理更新教材内容,尽可能多地在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容,例如,教材编写充分运用了电子仿真技术。同时,在教材编写过程中,严格贯彻国家有关技术标准的要求。

第四,努力贯彻国家关于职业资格证书与学历证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神,力求使教材内容符合《电子设备装接工》《无线电调试工》《无线电设备机械装校工》《家用电子产品维修工》《电子元器件检验员》等国家职业标准(中级)的知识和技能要求。

第五,创新教材编写模式,力求给学生营造一个更加直观的认知环境。尽可能使用图片、实物照片或表格形式将各个知识点生动地展示出来,同时,针对相关知识点,设计了很多贴近生活的导入和互动性训练等,意在拓展学生思维和知识面,引导学生自主学习。

第六,强调教辅资源的开发,力求为教师教学提供更多的方便。本套教材除配有习题册、教学参考书、教学挂图外,还重点开发了多媒体教学光盘、网络课程等。

本次开发与修订的教材包括:《电工基础(第三版)》《模拟电路基础》《数字电路基础》

《无线电基础（第四版）》《电子测量与仪器（第四版）》《机械知识与钳工技能训练》《机械识图与电气制图（第四版）》《电子EDA（Proteus）》《单片机基础及应用》《传感器基础知识》《电子产品新技术应用（第二版）》《电子基本操作技能（第四版）》《电子专业技能训练（第二版）》《电视机原理与电路分析（第二版）》《电视机装接调试与维修技能训练（第二版）》。根据教学需要后期还将陆续开发和修订其他教材。

本次教材开发工作得到了河北、江苏、湖南、河南、广东、云南等省人力资源和社会保障厅及有关学校的大力支持，对此，我们表示诚挚的谢意。

人力资源和社会保障部教材办公室

2009年6月

简介

《传感器基础知识》的主要内容有：传感器概述、力传感器、温度传感器、光电式传感器、位移传感器、气体和湿度传感器等。各部分教学内容参考学时见下表。

本书由王润主编，张志林、刘民庆任副主编，李煜、张善俊参编；刘进峰审稿。

参 考 学 时 表

模 块	学时
模块一 传感器概述	4
模块二 力传感器	14
模块三 温度传感器	12
模块四 光电式传感器	10
模块五 位移传感器	14
模块六 气体和湿度传感器	6
总 计	60

目 录

模块一 传感器概述.....	(1)
任务 1 认识传感器	(2)
任务 2 传感器的技术指标	(8)
模块二 力传感器.....	(16)
任务 1 压电式传感器	(16)
任务 2 电阻应变式传感器	(27)
任务 3 电容式传感器	(37)
模块三 温度传感器.....	(45)
任务 1 电阻式温度传感器	(45)
任务 2 热电偶温度传感器	(60)
模块四 光电式传感器.....	(73)
任务 1 光电式传感器	(73)
任务 2 红外传感器	(88)
模块五 位移传感器.....	(98)
任务 1 电感式位移传感器	(98)
任务 2 超声波位移传感器	(108)
任务 3 接近传感器	(120)
模块六 气体和湿度传感器.....	(133)
任务 1 气体传感器	(133)
任务 2 湿度传感器	(143)

模块一

传感器概述

在日常生活中,人们通过自己的五官来感受外界事物的变化,如看到秀美的景色,听到优美的音乐,闻到诱人的香味,摸到水温烫,尝到饭苦等,这些感觉的信息被送到大脑,大脑再对信息进行判断、处理,使肢体做出相应的反应,例如,水烫把手缩回来,饭苦把它吐出来……,因此,五官是人非常重要的器官,五官的感觉信息(视、听、嗅、触、味)是人类了解事物的重要信息来源。传感器就相当于人的感官,承担着采集和转换信息的任务,被称为“电五官”。

自然界中有电量和非电量两大类参数。非电量是指除电量之外的参数,例如,压力、流量、位移、质量、速度、加速度、温度、浓度及酸碱度等。人们对物质和事物本质的认识,主要是通过检测各种非电量来实现的,而非电量不能直接用一般的电工仪表和电子仪器进行测量。因为一般的电工仪表和电子仪器要求输入电信号,只能测量电量,所以非电量的测量任务就交给了传感器来完成。

自18世纪产业革命以来,人类就借助于传感器进行实验测量,以得到被测对象的确切数据。随着科学技术的发展,传感器技术、通信技术和计算机技术构成了现代信息产业的三大支柱,分别充当信息系统的“感官”“神经”和“大脑”,共同构成了一个完整的自动检测系统。传感器作为检测系统的前哨,首先提取外界的信息,并转换为系统易于处理的电信号后再传递给微机,微机对电信号进行处理并发出控制信号给执行器,再由执行器对外界对象进行控制。传感器提取信息的准确与否直接决定着整个检测系统的精度。因此,传感器是现代信息产业必不可少的重要工具。

一个国家的现代化水平主要是用其自动化水平来衡量的,而自动化水平主要是用仪表及传感器的种类和数量多少来衡量的。由此可见,传感器技术非常重要,因而得到了世界各国的普遍重视,人们不断投资进行开发、研究,使传感器的发展十分迅速,在近十几年中,其产量及市场需求年增长率均在10%以上。目前,传感器已广泛应用于航天、航空、电力、交通、冶金、石油、建筑、医学、食品制造、机器人等诸多领域,并逐渐深入到人们的生活中。

任务1 认识传感器

学习目标

1. 掌握传感器的概念、组成和分类。
2. 掌握导电式水位报警器的安装与测试。

工作任务

传感器的种类很多,形状各异,如图1—1所示为力传感器、图1—2所示为温度传感器、图1—3所示为液位传感器、图1—4所示为接近传感器、图1—5所示为气体传感器、图1—6所示为湿度传感器。大家都见过这些传感器吗?了解什么是传感器吗?熟悉传感器的种类和基本特性吗?



图1—1 力传感器



图1—2 温度传感器



图1—3 液位传感器



图1—4 接近传感器



图 1—5 气体传感器

图 1—6 湿度传感器

本次任务：详细介绍传感器的定义、组成及分类，让大家认识传感器，通过制作导电式水位报警器，进一步领会传感器在自动控制电路中所起的作用。

相关知识

一、传感器的定义

在国家标准 GB/T 7665—2005《传感器通用术语》中，传感器被定义为“能感受（或响应）规定的被测量，并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置”。

这个定义包含了如下几个方面的含义：

- (1) 传感器是测量装置，能完成测量任务。
- (2) 它的输入被测量可以是物理量，也可以是化学量、生物量等。
- (3) 它的输出量是某种便于传输、转换、处理和显示的物理量，主要是电物理量，因为电物理量是物理量中最容易传输、转换和处理的量。
- (4) 输出与输入有一定的对应关系，而且这种关系要有一定的规律和精度。

传感器有时也被称为变能器、变换器、变送器或探测器，通俗地说，“传感器就是把待测非电量转换成与之相对应的电信号的元件、器件或装置的总称”。

传感器的作用有两方面：一是对非电量进行测量，二是把非电量转化成与其有一定关系的电量。

二、传感器的组成和分类

1. 组成

传感器通常由敏感元件、传感元件、测量电路及辅助电源组成，如图 1—7 所示。

其中，敏感元件是指传感器中直接感受或响应被测量的部分。传感元件是指传感器中能将敏感元件的输出信号转换成适于传输和测量的电信号部分，传感元件输出的电量种类很多，如电压、电荷量、电阻、电容、电感等。由于传感元件输出的电信号一般都很微弱或不易传输或含有大量的噪声干扰，因而就需要把这样的电信号变换为便于处理、记录、显示和控制的形式，完成这项功能的电路一般被称为测量电路。测量电路的类型视传感元件的不同而定，经常使用的测量电路有放大器、电桥、振荡电路等，它可以安装在传感器的壳体里，



图 1—7 传感器的组成示意框图

也可以与敏感元件一起集成在同一芯片上。

应该指出的是，并不是所有的传感器都必须包括敏感元件和传感元件两部分。如果它能直接感受被测量的变化而输出与之成一定关系的电信号，那么它既是敏感元件又是传感元件，例如，压电晶体、热电偶、热敏电阻及光电器件等，就是把敏感元件与传感元件两者合二为一的器件。实际上，有的传感器结构简单，有的传感器结构复杂，组成不尽相同。最简单的传感器只有一个敏感元件，如热电偶、气敏电阻传感器；有些传感器由敏感元件和传感元件组成，没有测量电路，如压电式加速度传感器；有些传感器的传感元件不止一个，且要经过多次转换。

2. 分类

传感器技术是一项知识密集型技术，它所涉及的知识非常广泛，与许多学科都有关系。传感器的种类很多，同一种被测量可以用不同的传感器来测量；同一种工作原理的传感器又可以测量多种不同的物理量。因此，目前对传感器尚无一个统一的分类方法，但比较常用的分类方法有以下 3 种：

(1) 按被测物理量来分类

按被测物理量来分，传感器分为压力传感器、温度传感器、位移传感器、加速度传感器、流量传感器、气体传感器、湿度传感器及转矩传感器等。这种分类方法的优点是比较清楚地表达了传感器的用途，使用户一目了然，便于选用；缺点是造成传感器的种类繁多，又把同一用途而原理不同的传感器归为一类，不便于用户掌握各种传感器的基本原理和分析方法。

(2) 按传感器的工作原理来分类

按传感器的工作原理来分，传感器分为电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、霍尔式传感器、光电式传感器等。这种分类方法的优点是对传感器的工作原理表达得比较清楚，而且类别少，有利于专业工作者对传感器的工作原理与设计进行深入的研究，使传感器的设计与应用更具合理性与灵活性；缺点是会令对传感器不够了解的用户感到传感器的使用很不方便。

(3) 按传感器输出信号的性质分类

按传感器输出信号的性质来分，传感器分为输出为开关量的开关型传感器、输出为模拟量的模拟型传感器、输出为脉冲或代码的数字型传感器。

小资料

传感器的工艺分类

按照制造工艺的不同，传感器可以分为集成传感器、薄膜传感器、厚膜传感器、陶瓷传感器。

集成传感器是用标准的硅半导体集成电路工艺技术制造的,通常将用于初步处理被测信号的部分电路也集成在同一芯片上。

薄膜传感器是通过在介质衬底(基板)上沉积相应敏感材料的薄膜形成的,使用混合工艺同样可将部分电路制造在同一基板上。

厚膜传感器是将相应材料的浆料涂覆在陶瓷基片上,然后进行热处理,使厚膜成形制成的,基片通常采用三氧化二铝(Al_2O_3)制成。

陶瓷传感器是采用标准的陶瓷工艺或其某种变种工艺(溶胶-凝胶等)完成适当的预备性操作之后,将已成形的元件经高温烧结而成的。制作厚膜传感器和陶瓷传感器的这两种工艺之间有许多共同特性,在某些方面可以认为厚膜工艺是陶瓷工艺的一种变形。

每种工艺技术都有各自的优点和不足。由于陶瓷传感器和厚膜传感器的参数稳定性高,研究、开发和生产所需的资本投入较低,所以已被广泛采用。

实践操作

实操 制作导电式水位报警器

一、实操器材

所用元器件、工具清单见表 1—1。

表 1—1 元器件、工具清单

代号	名称	型号、规格	数量
R1	电阻器	20 k Ω	1
R2	电阻器	680 k Ω	1
R3	电阻器	1 k Ω	1
C	电解电容器	47 μF	1
B	蜂鸣器(有源讯响器)	工作电压 3 V	1
VT1	三极管	CS9013	1
VT2	三极管	CS9012	1
	电烙铁	35 W	1
	导线		若干
	指针式万用表	MF47	1
	干电池	1.5 V	2
	万能电路板		1
	盛水的容器		1

二、实操工作原理

图 1—8 所示是导电式水位报警器电路。导电电极 1(常称为检知电极)放在检测水位

要求的高度,它可以根据检测水位要求的高低进行升降调节,导电电极2浸没于水中(其他的导电液体都可)。当水位低于检知电极时,两电极间处于绝缘状态,水位报警电路断开,蜂鸣器B不发声。当水位上升到与检知电极相接触时,由于水具有一定的导电性,两电极间导通,这样就接通电路,使得VT1、VT2导通,蜂鸣器B中有VT2的集电极电流流过,发出“嘀、嘀”的连续报警声,提示已到达警戒水位。

这实际上是一个导电式水位传感器的工作电路。导电式水位传感器的结构简单,工作可靠,在抽水及储水设备、工业水箱、汽车水箱等方面已被广泛采用。

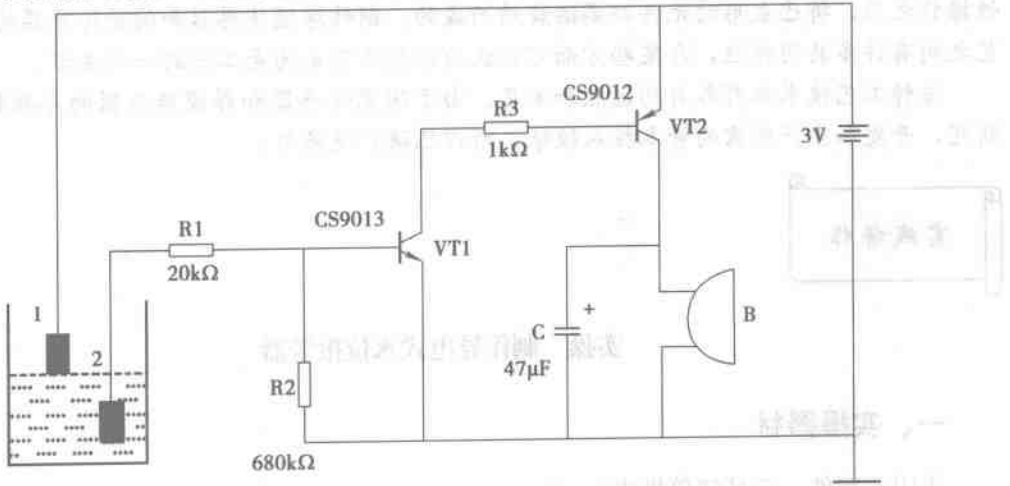


图 1—8 导电式水位报警器电路图

三、实操内容及步骤

1. 识别、检测元器件

按配套清单表 1—1,核对元器件的数量、型号和规格;用万用表的 $R \times 1\text{ k}$ 挡对电阻器、三极管进行检测,用 $R \times 10\text{ k}$ 挡对电容器进行检测,剔除并更换不符合质量要求的元器件。

2. 电路装接

按照图 1—8 所示导电式水位报警器电路图,在万能电路板上插装和焊接电路。插装元件时,要注意元器件的布局和连线,元件排列整齐。电容器、三极管等元件采用立式插装,元件要排列整齐。焊接前,对照电路图进行检查,确保元件插装正确。焊接时,先焊电阻器和电容器,后焊三极管和蜂鸣器。焊接后,检查各焊点是否焊接可靠,避免出现连焊、虚焊和漏焊现象。

3. 检测电路

电路接入两节 1.5 V 干电池,开始让水位低于报警水位,蜂鸣器不发声。然后往容器中注水,让水位逐渐上升,蜂鸣器依然不发声。直到水与检知电极相接触,蜂鸣器发出“嘀、嘀”的连续报警声。

四、任务评价

根据表 1—2,对任务完成情况做出评价。

表 1—2

实操评分标准

项目		工艺标准	配分	得分
装配	元件识别与检测	1. 能正确识读色环电阻 2. 能利用万用表判断三极管的管脚、管型, 检测三极管的好坏 3. 能利用万用表检测电容器的好坏	30	
	插件	1. 电阻元件卧式插装, 贴紧万能电路板, 排列要整齐, 横平竖直 2. 电容器、三极管立式插装, 高度符合工艺要求	20	
	焊接	1. 焊点光亮、清洁, 焊料适量 2. 无漏焊、虚焊、连焊、溅锡等现象 3. 焊接后, 元件引脚剪脚留头长度小于 1 mm	30	
检测	检测	通电后, 向水槽内注入水, 当水位低于检知电极时, 蜂鸣器不发声; 当水位达到检知电极时, 蜂鸣器发声	10	
安全、文明生产		1. 安全用电, 不人为损坏工具、设备和元器件 2. 保持环境整洁, 秩序井然, 操作习惯良好	10	

巩固与练习

一、填空题

1. 传感器是把感受的力、温度、光、声、化学成分等_____按照一定的规律转换为容易进行测量、传输、处理和控制的电压、电流等_____的器件。
2. 传感器由_____、_____、_____和_____四部分组成。

二、简答题

1. 简述传感器的概念及作用。
2. 传感器有哪几种分类方法? 各有何优、缺点?
3. 做一个调查: 你的家庭、学校和附近的公共设施中有哪些地方使用了传感器? 它们起到什么作用? 为人们带来了哪些方便? 带来了哪些经济效益?
4. 按照个人对传感器的理解, 可以查阅相关的资料和咨询相关专业人员, 填写下面的题表 1—1。

题表 1—1

传感器或器件名称	输入的量	输出的物理量	工作原理
电子秤			
电子血压计			
热电偶			
热敏电阻			

续表

传感器或器件名称	输入的量	输出的物理量	工作原理
光电池			
声控灯			
红外报警器			
传声器			
土壤水分测试仪			
酒精气体测试仪			

任务2 传感器的技术指标

学习目标

1. 理解传感器的技术指标。
2. 了解传感器的选用原则和发展方向。
3. 掌握传感器常用技术指标的简单检测方法。

工作任务

在日常生活中,人们常常使用如图1—9所示电子秤来称量物体的质量,电子秤所采用的测力装置就是力传感器(物体所受重力与它的质量成正比)。电子秤的型号有许多种(见表1—3),其型号不同,量程、分辨力(分度值)、准确度也有很大差别,在应用中可根据实际需要进行选择。



图1—9 电子秤

表1—3

电子秤的型号

型号	量程/kg	最小感量/g	分度值/g
ACS-1.5	1.5	0.1	0.02
ACS-3	3	0.2	0.04
ACS-7.5	7.5	0.5	0.1
ACS-15	15	1	0.2
ACS-30	30	2	0.4

那么,什么是传感器的分辨力和准确度呢?传感器还有哪些技术指标?如何选择传感

器呢?

本次任务:通过检测电子秤的量程、迟滞、最小感量、分辨率等技术指标,来理解传感器技术指标的含义,掌握检测这些技术指标的简单方法。

相关知识

一、误差与准确度等级

传感器作为一种把非电量转换为电量的仪器,测得值与真实值之间的差值即为测量误差,它有两种表示方法:

1. 绝对误差 Δx

绝对误差是指测量值 x 与真实值 A_0 之间的差值,用公式表示为:

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-1)$$

因为真实值一般无法得到,所以常用高精度等级的标准仪器所测得的实际值 A 代替真实值,则这时绝对误差可表示为:

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

绝对误差表示了测量值偏离真实值的程度。

2. 相对误差

相对误差有以下 3 种表示方法。

(1) 实际相对误差 γ_A

实际相对误差是指绝对误差 Δx 与被测量的实际值 A 的百分比,即:

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-3)$$

(2) 示值相对误差 γ_x

示值相对误差又称标称相对误差,是指绝对误差 Δx 与仪器(仪表)的测量值 x 的百分比,即:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-4)$$

对于一般的工程测量,用 γ_x 来表示测量的准确度较为方便。

(3) 满度相对误差 γ_m

满度相对误差又称引用相对误差,是绝对误差 Δx 与仪器(仪表)的满度值 x_m 的百分比,即:

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

3. 准确度等级

满度相对误差主要用于仪器(仪表)的准确度定级。我国工业仪表等级分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七个级别,标志在仪器(仪表)刻度标尺或铭牌上。准确度习惯上称为精度,准确度等级习惯上称为精度等级。

二、传感器的基本特性

在传感器的使用过程中,要求其能检测被测量的变化,并将其不失真地转换成相应的电量,这种变换关系主要取决于传感器的基本特性,即输出—输入特性。由于被测量的状态不同,传感器的基本特性分为静态特性和动态特性两种。

1. 静态特性

静态特性是指被测量处于稳定状态时的输出—输入关系,它主要有以下技术指标:

(1) 线性度

线性度是指传感器输出量 y 与输入量 x 之间的实际关系曲线(静特性曲线)偏离拟合直线的程度,又称为非线性误差。

从传感器的性能上来看,希望它具有线性关系。但在实际应用中,大多数传感器的静特性曲线都是非线性的。为了得到线性关系,常引入各种非线性补偿环节,如采用非线性补偿电路或计算机软件进行线性处理。在实际中,如果传感器非线性的次方不高,输入量变化范围较小时,可用一条直线(切线或割线)近似地代表实际曲线的一段,图 1—10 所示中的直线 2 被称为拟合直线。实际特性曲线与拟合直线之间的偏差称为传感器的非线性误差。

(2) 灵敏度 K

灵敏度 K 是指传感器在稳态工作情况下,输出增量 Δy 与输入增量 Δx 的比值,表示为:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-6)$$

对于线性传感器来说,它的灵敏度 K 是个常数。

(3) 迟滞

迟滞是指传感器在正向(输入量增大)行程和反向(输入量减小)行程期间,输出—输入特性曲线不重合的现象,如图 1—11 所示。 $\Delta H_{\max}$ 是正、反行程输出值间的最大差值。

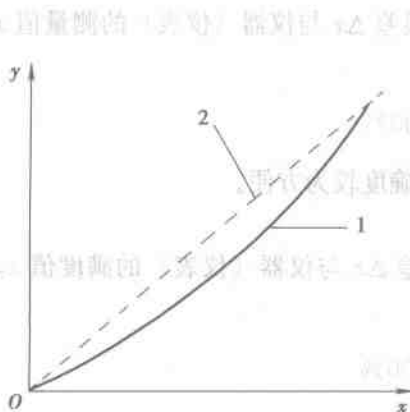


图 1—10 传感器的线性度示意图

1—实际特性曲线 2—拟合直线

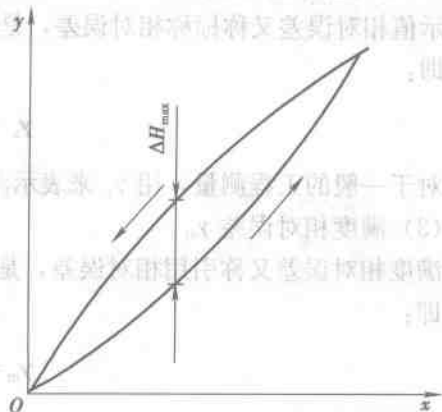


图 1—11 迟滞

产生迟滞的主要原因在于传感器的敏感元件材料的物理性质和机械零部件存在的缺陷,例如,弹性敏感元件的弹性滞后、运动部件摩擦、传动机构的间隙、螺钉松动、元器件腐蚀或碎裂等。