

江苏联合职业技术学院院本教材
经学院教材审定委员会审定通过

传感与检测技术

(第3版)

主编 耿 淬 刘冉冉
参编 郑恩兴 史玉立 王五安
查 娜 张 俊
主审 李红光

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

传感与检测技术 / 耿淬, 刘冉冉主编. —3 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 8
(2017. 9 重印)

ISBN 978-7-5682-4626-2

I. ①传… II. ①耿…②刘… III. ①传感器-高等学校-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 199438 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14.25

字 数 / 336 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 3 版 2017 年 9 月第 2 次印刷

定 价 / 37.00 元

责任编辑 / 张旭莉

文案编辑 / 张旭莉

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

江苏联合职业技术学院 机电类院本教材编审委员会

主任委员

夏成满 晏仲超

委 员

常松南	陶向东	徐 伟	王稼伟	刘维俭	曹振平
倪依纯	郭明康	朱学明	孟华锋	朱余清	赵太平
孙 杰	王 琳	陆晓东	缪朝东	杨永年	强晏红
赵 杰	吴晓进	曹 峰	刘爱武	何世伟	丁金荣

前 言

本书是根据教育部新一轮职业教育教学改革成果——最新研发的机电技术专业、数控技术专业人才培养方案中机床数控技术核心课程标准，并参照了相关国家职业标准及有关行业职业技能鉴定规范编写的。

本书打破了原来各学科体系的框架，将各学科的内容按项目进行合理整合。采用了综合化、模块化和项目化的编写思路，以实践活动为主线，将理论知识和技能训练有机结合，突出综合职业能力的培养。

本书设置了若干应用型的项目，每个项目均由若干个具体的典型工作任务组成，每个任务将相关知识和实践过程相结合，力求体现理论实践一体化的教学理念。在内容的选择上降低理论重心，删除烦冗的数学计算和复杂的电路分析，突出实践应用，注重培养学生的应用能力和解决问题的实际工作能力；在内容组织形式上强调学生的主体性，在每个任务实施前，先提出学习目标，使学生在开始学习每个项目前就知道具体的学习任务和要求，便于学生的自学与自评。在任务实施过程中，通过一系列的问题进行任务分析，将理论与实践相结合，巩固所学知识，提高实践能力。在内容的安排上采用相关知识概述—任务实施—知识拓展的顺序，既符合学生的认知规律和技能形成的规律，又兼顾了学生的可持续性发展。

本书可作为职业院校机电技术专业、数控技术专业、电气自动化专业及其他相关专业的教材，也可作为相关行业的岗位培训教材及有关人员的自学用书。

本书参考学时数为 60 学时，各项目的推荐学时如下：

序 号	项 目	学 时		
		理论	实践	合计
1	传感器的基本知识	1	2	3
2	参量传感器的使用	6	14	20
3	发电传感器的使用	4	8	12
4	脉冲传感器的使用	4	8	12
5	特殊传感器的使用	2	5	7
6	机 动	3	3	6
合 计		20	40	60

本书由常州刘国钧高等职业技术学校耿淬、刘冉冉主编，常州刘国钧高等职业技术学校郑恩兴参与了项目四、项目五的编写。本次修订中，项目一、项目二由常州刘国钧高等职业技术学校史玉立完成，项目三由连云港工贸高等职业技术学校王五安完成、项目四由镇江高等职业技术学校查娜完成，项目五由无锡技师学院张俊完成。本书由常州铁道高等职业技术学校李红光主审，并提出了许多宝贵的修改意见，在此对他们表示衷心的感谢！

由于编者学识和水平有限，书中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 认识传感器检测装置.....	1
思考与练习	22
项目二 参量传感器的使用	23
任务一 使用电阻应变式传感器	24
任务二 使用热电阻传感器	41
任务三 使用压阻式传感器	51
任务四 使用气敏电阻传感器	57
任务五 使用电容式传感器	63
任务六 使用湿敏传感器	75
任务七 使用电感式传感器	79
任务八 使用电涡流式传感器	88
思考与练习.....	100
项目三 发电传感器的使用.....	103
任务一 使用压电式传感器.....	104
任务二 使用磁电式传感器.....	111
任务三 使用霍尔式传感器.....	115
任务四 使用光电式传感器.....	122
任务五 使用热电偶传感器.....	129
思考与练习.....	144
项目四 脉冲传感器的使用.....	145
任务一 使用光栅.....	146
任务二 使用磁栅传感器.....	154
任务三 使用编码器.....	159
任务四 使用旋转变压器.....	166
任务五 使用感应同步器.....	173
思考与练习.....	188
项目五 特殊传感器的使用.....	189
任务一 使用光纤传感器.....	190



任务二 使用红外传感器.....	200
任务三 使用超声波传感器.....	207
思考与练习.....	218
参考文献.....	219



项目一

认识传感器检测装置

本项目主要包含了传感器的基本概念、组成、分类、作用及其相关参数，通过本项目的学习，了解传感器的基本知识，并知道检测技术综合试验台的组成及其使用方法。

【学习目标】

能力目标

- (1) 能识别实验台配置的相关传感器。
- (2) 会应用传感器实验系统软件。
- (3) 能说出实验台各模块的作用及面板功能。
- (4) 会计算传感器的非线性误差及灵敏度。
- (5) 知道岗位操作规程，具有安全操作意识。
- (6) 完成报告。

知识目标

- (1) 知道传感器的基本概念。
- (2) 了解传感器的基本组成部分及其分类。
- (3) 掌握传感器的特性参数。
- (4) 了解传感器与检测技术综合实验台组成。



活动1 传感器的基本知识

(一) 传感器的定义

人体的五官是感受外界刺激的感觉器官,它把感受到的刺激传给大脑,并做出相应的反应。在自动控制系统中,传感器相当于人类的感觉器官,它能把检测到的各种物理量、化学量、生物量和状态量等信息转换为电信号,并传给控制器进行处理、存储和控制。

信息处理技术取得的进展以及微处理器和计算机技术的高速发展,都需要在传感器的开发方面有相应的进展。微处理器现在已经在测量和控制系统中得到了广泛的应用。随着这些系统能力的增强,作为信息采集系统的前端单元,传感器的作用越来越重要。传感器已成为自动化系统和机器人技术中的关键部件,作为系统中的一个结构组成,其重要性变得越来越明显。

根据中华人民共和国国家标准(GB 7665—1987),**传感器(Transducer/Sensor)的定义是:能感受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。**

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种物理量的测量装置。其包含以下几个方面的意思:

- (1) 传感器是测量装置,能完成检测任务。
- (2) 输入量是某一被测量,可能是物理量,也可能是化学量、生物量等。
- (3) 输出量是某种物理量,这种量要便于传输、转换、处理、显示等,这种量可以是气、光、电量,但主要是电量。
- (4) 输入输出有对应关系,且应有一定的精确度。

传感器检测到的各种信息中,大多数是非电量信号。非电量是指除了电量之外的一些参数,如压力、流量、尺寸、位移量、重量、力、速度、加速度、转速、温度、酸碱度等,而电量一般是指物理学中的电学量,如电压、电流、电阻、电容、电感等。在机械加工中使用的数控机床,需要对工件、刀具的位置、位移等机械量进行测量,都属于非电量的检测。

非电量不能直接使用一般电工表和电子仪器测量,因为一般电工仪表和电子仪器要求输入的信号为电信号。但在自动控制系统中,要求输入的信息为电量信号,这就需要将非电量转化为电量,这要靠传感器来实现。因此,传感器的本质是一种以测量为目的,以一定的精度把被测量转换为与之有确定关系的、便于处理的另一种物理量的测量器件。目前,传感器的输出信号多为易于处理的电量,如电压、电流、频率等。

(二) 传感器的组成

传感器一般是利用某些物质的物理、化学和生物的特性或原理按照一定的制造工艺研制出来的。由于传感器的作用、原理、制造的工艺等不同,所以它们有较大的差别。但是,**传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路3部分组成**,如图1-1-1所示。

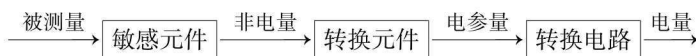


图 1-1-1 传感器的组成

1. 敏感元件

敏感元件是直接感受被测量,并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。



2. 转换元件

转换元件以敏感元件的输出为输入，把输入转换成某一电路参数。

3. 转换电路

转换电路又称测量电路，主要用来将传感器输出的电信号进行处理和变换，如放大、运算、调制、数模或模数变换等，使其输出的信号便于显示和记录。从测量电路输出的信号输入到自动控制系统，对测量结果进行信息处理。

最简单的传感器由一个敏感元件（兼转换元件）组成，它感受被测量时直接输出电量，如热电偶。有些传感器由敏感元件和转换元件组成，没有转换电路，如压电式加速度传感器，其中质量块 m 是敏感元件，压电片（块）是转换元件。有些传感器，转换元件不只有一个，要经过若干次转换。

（三）传感器的分类

传感器一般是根据物理学、化学、生物学等特性、规律和效应设计而成的。由某一原理设计的传感器可以同时测量多种非电量，而有时一种非电量又可用几种不同的传感器测量，因此传感器的分类方法有很多，一般可按以下几种方法进行分类。

1. 按被测物理量进行分类

按被测物理量的性质进行分类，可分为温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器、加速度传感器、转矩传感器等。

2. 按工作原理进行分类

这种分类方法是以工作原理，将物理和化学等学科的原理、规律和效应作为分类依据，将其分为参量传感器、发电传感器、脉冲传感器及特殊传感器。其中参量传感器有触点传感器、电阻传感器、电感式传感器、电容式传感器等；发电传感器有光电式传感器、压电式传感器、热电偶传感器、磁电式传感器、霍尔式传感器等；脉冲传感器有光栅、磁栅、感应同步器、码盘等；特殊传感器是不属于以上3种类型的传感器，如光纤传感器、超声波传感器等。

3. 按输出信号的性质进行分类

按输出信号的性质分为模拟式传感器和数字式传感器，即传感器的输出量为模拟量或数字量。数字传感器便于与计算机连用，且抗干扰性强。例如盘式角压数字传感器、光栅传感器等。

由于按工作原理的分类方法具有较为系统、避免名目过多等优点，所以本课程中主要采用这种分类方式对各种常用传感器进行介绍。常见的传感器如图1-1-2所示。

（四）传感器的特性参数

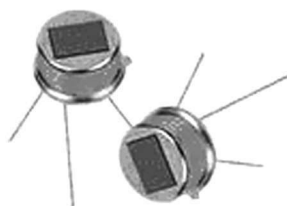
在科学试验和生产过程中，需要对各种各样的参数实时检测和控制，这就要求传感器能感受被测非电量并将其转换成与被测量有一定函数关系的电量。传感器所测量的非电量是处在不断的变动之中，传感器能否将这些非电量的变化不失真地变换成相应的电量，取决于传感器的输入-输出特性。传感器这一基本特性可用其静态特性和动态特性来描述。本课程主要就其静态特性进行介绍。传感器的静态特性是指传感器转换的被测量数值处在稳定状态时，传感器的输出与输入的关系。传感器静态特性的主要技术指标有：灵敏度、线性度、响应特性、稳定性、精度等。



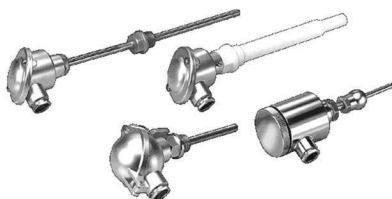
荷重传感器



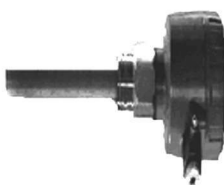
压阻式传感器



光敏传感器



热电偶、热电阻



电容式传感器



超声波传感器

图 1-1-2 常见的传感器

1. 灵敏度

传感器的灵敏度是其在稳态下输出增量 Δy 与输入增量 Δx 的比值，常用 S_n 来表示：

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

传感器的灵敏度越高，可以感知越小的变化量，即被测量稍有微小变化时，传感器即有较大的输出。但灵敏度很高时，与测量信号无关的外界噪声也容易混入，并且噪声也会被放大。因此，对传感器往往要求有较大的信噪比。

2. 非线性误差

非线性误差就是其输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离直线的程度，又称线性度，用公式 1-1-2 表示。其几何意义如图 1-1-3 所示。

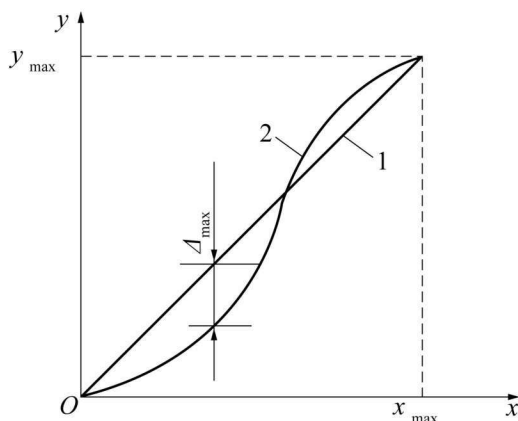


图 1-1-3 传感器线性度示意图

1—拟合直线 $y=ax$ ；2—实际特性曲线

$$E = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

式中 $\Delta_{\max}$ ——实际输入-输出特性曲线与拟合直线之间的最大偏差；
 y_{FS} ——传感器的满量程。

从理论上讲，在线性范围内，灵敏度保持定值。传感器的线性范围越宽，则其量程越大，并且能保证一定的测量精度。在选择传感器时，当传感器的种类确定以后首先要看其量程是否满足要求。



但实际上,任何传感器都不能保证绝对的线性,其线性度也是相对的。当所要求测量精度比较低时,在一定的范围内,可将非线性误差较小的传感器近似看做线性的,这会给测量带来极大的方便。

3. 频率响应特性

传感器的频率响应特性决定了被测量的频率范围,必须在允许频率范围内保持不失真的测量条件,实际上传感器的响应总有一定延迟,希望延迟时间越短越好。

传感器的频率响应高,可测的信号频率范围就宽,而由于受到结构特性的影响,机械系统的惯性较大,因而频率低的传感器可测信号的频率较低。

在动态测量中,应考虑到信号的特点(稳态、瞬态、随机等)响应特性,以免产生过大的误差。

4. 稳定性

传感器的稳定性是经过长期使用以后,其输出特性不发生变化的性能。影响传感器稳定性的因素是时间与环境。

为了保证稳定性,在选用传感器之前,应对使用环境进行调查,以选择合适的传感器类型。例如电阻应变式传感器,湿度会影响其绝缘性,温度会影响其零漂,长期使用会产生蠕变现象。又如,对于变极距型电容传感器,环境湿度或油剂浸入间隙时,会改变电容器介质。光电传感器的感光表面有灰尘或水泡时,会改变感光性质。对于磁电式传感器或霍尔效应元件等,当在电场、磁场中工作时,亦会带来测量误差。滑线电阻式传感器表面有灰尘时,将会引入噪声。

在有些机械自动化系统中或自动检测装置中,所用的传感器往往是在比较恶劣的环境下工作,其灰尘、油剂、温度、振动等干扰是很严重的。这时选用传感器时,必须优先考虑稳定性因素。

5. 精度

精度是传感器的一个重要的性能指标,它是关系到整个测量系统测量精度的一个重要环节。传感器的精度越高,其价格越昂贵,因此,传感器的精度只要满足整个测量系统的精度要求就可以,不必选得过高。这样就可以在满足同一测量目的的诸多传感器中选择比较便宜和简单的传感器。

如果测量目的是定性分析的,选用重复精度高的传感器即可,不宜选用绝对量值精度高的;如果是为了定量分析,必须获得精确的测量值,就需选用精度等级能满足要求的传感器。

对某些特殊使用场合,无法选到合适的传感器,则需自行设计制造传感器。自制传感器的性能应满足使用要求。

6. 其他选用原则

除了上述特性参数外,传感器的重复性及环境特性也是选用传感器时应考虑的重要因素。

很多传感器材料采用灵敏度高、信号易处理的半导体,所以周围环境对传感器影响最大的是温度,另外,大气压、湿度、振动、电源电压及频率都会影响传感器的特性。

重复性指在同一工作条件下输入量按同一方向在全测量范围内连续变动多次所得特性曲

线的不一致性,重复性所反映的是测量结果偶然误差的大小。

(五) 传感器技术的发展趋势

当前,传感器技术的主要发展动向,一是开展基础研究,发现新现象,开发传感器的新材料和新工艺;二是实现传感器的集成化与智能化。

1. 发现新现象,开发新材料

新现象、新原理、新材料是发展传感器技术,研究新型传感器的重要基础,每一种新原理、新材料的发现都会伴随着新的传感器种类诞生。

2. 集成化,多功能化

传感器向敏感功能装置发展,向集成化方向发展,尤其是半导体集成电路技术及其开发思想的应用。如采用微细加工技术 MEMS (Microelectro-Mechanical System) 制作微型传感器;采用厚膜和薄膜技术制作传感器等。

3. 向未开发的领域挑战

开发的传感器大多为物理传感器,今后应积极开发研究化学传感器和生物传感器,特别是智能机器人技术的发展。需要研制各种模拟人的感觉器官的传感器,如已有的机器人力觉传感器、触觉传感器、味觉传感器等。

4. 智能传感器 (Smart sensor)

智能传感器是具有判断能力、学习能力的传感器。事实上是一种带微处理器的传感器,它具有检测、判断和信息处理功能。

活动2 认识传感器与检测技术综合实验台

传感器与检测技术综合实验台如图 1-1-4 所示。



图 1-1-4 传感器与检测技术综合实验台

1. 概述

THSRZ-1 型传感器系统综合实验装置, 可以进行“传感器技术”“工业自动化控制”“非电测量技术与应用”“工程检测技术与应用”等课程的教学实验。

2. 设备构成

实验台主要由试验台部分、三源板部分、处理(模块)电路部分和数据采集通信部分组成。

1) 试验台部分

这部分设有 1~10 kHz 音频信号发生器、1~30 Hz 低频信号发生器、四组直流稳压电源: $\pm 15\text{ V}$ 、 $+5\text{ V}$ 、 $\pm 2\sim\pm 10\text{ V}$ 、2~24 V 可调电压、数字式电压表、频率/转速表、计时器以及高精度温度调节仪组成。如图 1-1-5~图 1-1-8 所示。

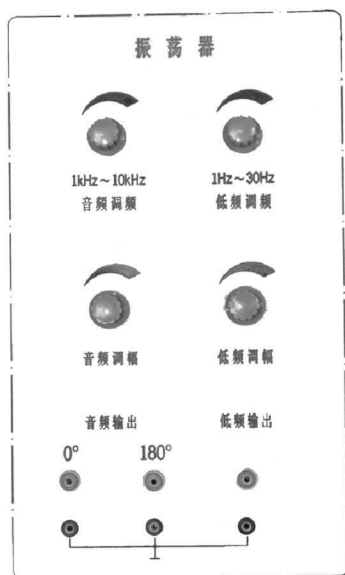


图 1-1-5 音频、低频信号发生器

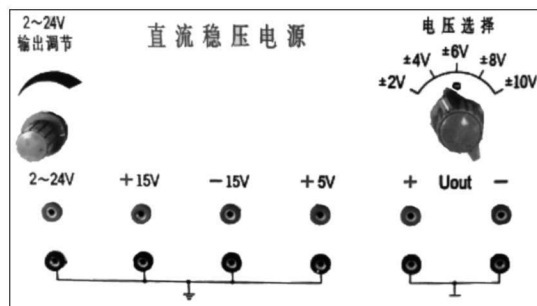


图 1-1-6 直流稳压电源



图 1-1-7 直流电压表、频率/转速表、计时器



图 1-1-8 高精度温度调节仪

2) 三源板部分

三源是指热源、转动源和振动源。三源板如图 1-1-9 所示。

(1) 热源：0~220 V 交流电源加热，温度可控制在室温与 120 ℃ 之间，控制精度为 ± 1 ℃。

(2) 转动源：2~24 V 直流电源驱动，转速在 0~4 500 rpm 可调。

(3) 振动源：振动频率为 1~30 Hz (可调)。

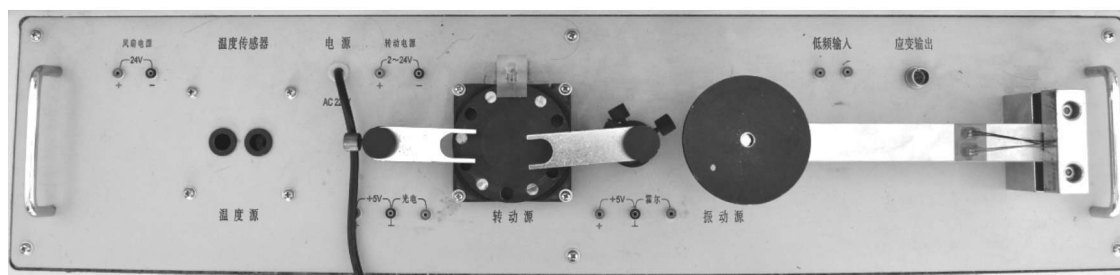


图 1-1-9 三源板

3) 处理 (模块) 电路部分

试验台配置的测量模块有应变传感器实验模块、电容传感器实验模块、差动变压器实验模块、霍尔传感器实验模块、电涡流传感器实验模块、温度传感器实验模块、压力传感器实验模块、压电传感器实验模块、光纤传感器实验模块、移相器、相敏检波器、低通滤波器、光栅传感器模块等，分别如图 1-1-10~图 1-1-20 所示。

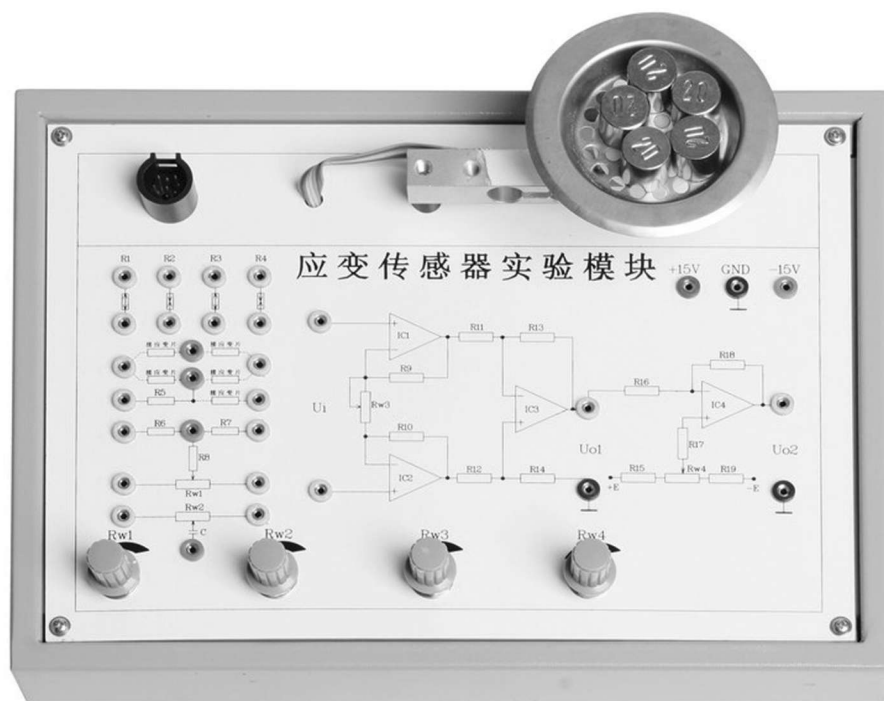


图 1-1-10 应变传感器实验模块

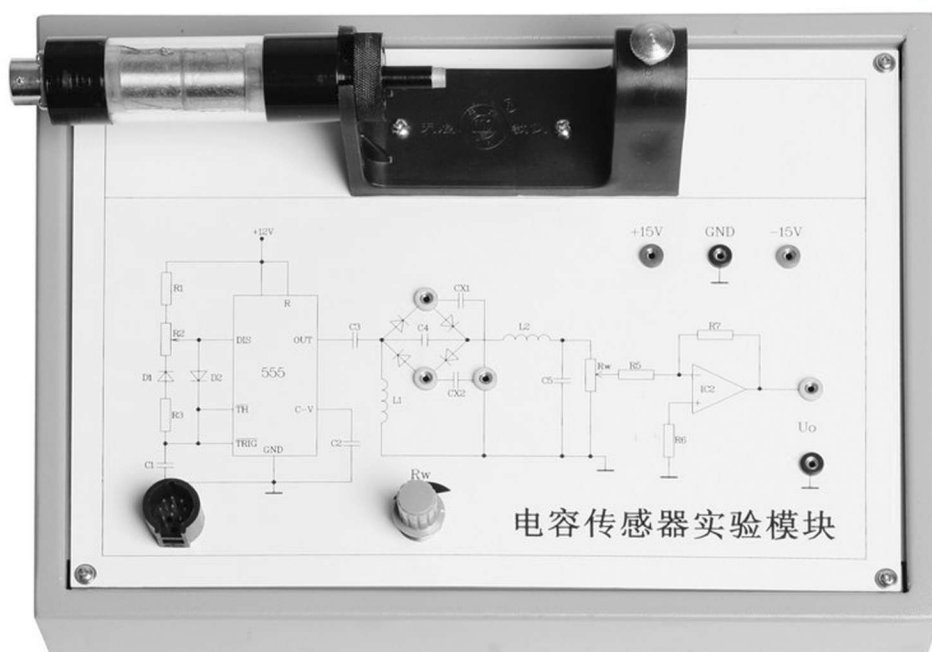


图 1-1-11 电容传感器实验模块

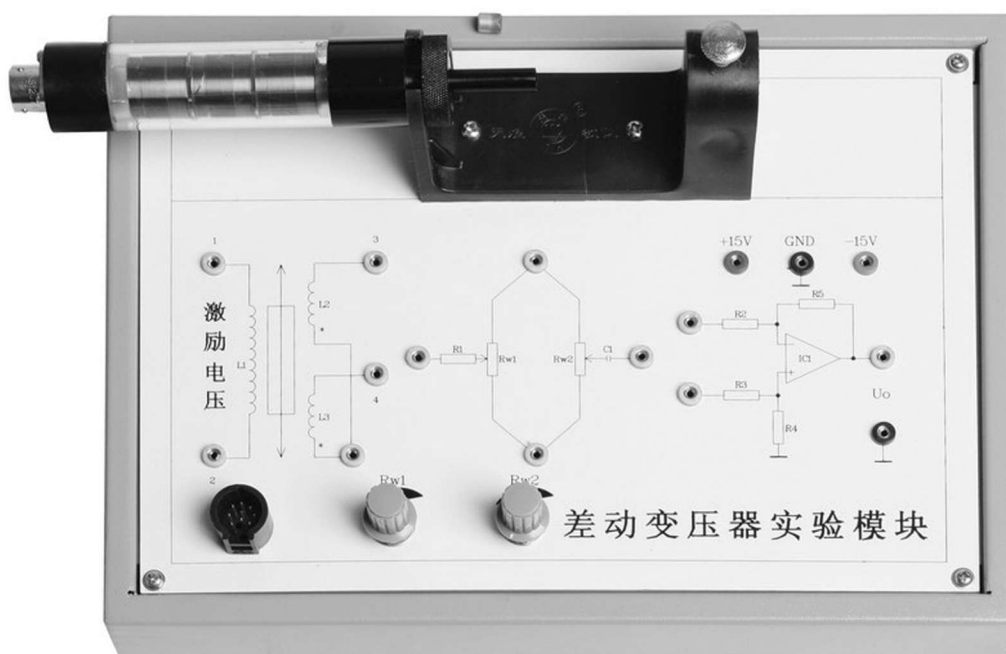


图 1-1-12 差动变压器实验模块



图 1-1-13 霍尔传感器实验模块

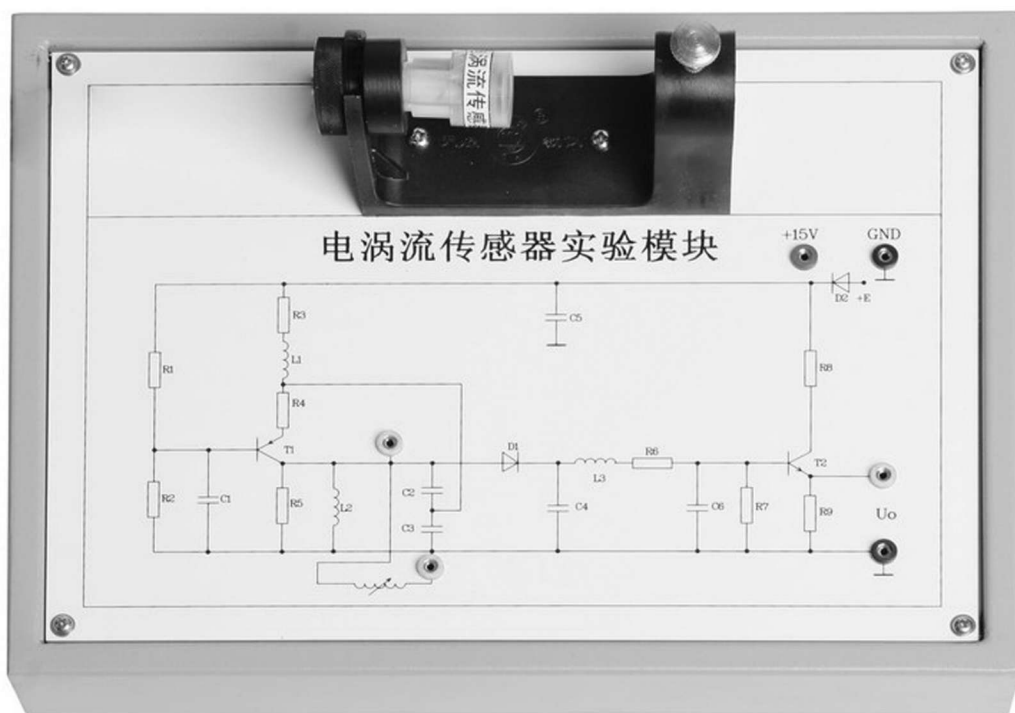


图 1-1-14 电涡流传感器实验模块