

★ 服务热线: 400-615-1233
★ 配套精品教学资料包
★ www.huatengedu.com.cn



“十四五”职业教育国家规划教材



“十四五”职业教育河南省规划教材

新增工业常用检测数据传输网络、嵌入式系统、
机器视觉及Python语言基础知识。



主编 张建忠
主审 华云松



(第3版)

传感器与 检测技术

CHUANGANQI YU JIANCE JISHU

传感器与检测技术 (第3版)

主编 张建忠

北京邮电大学出版社



定价: 48.00元

传感器与 检测技术

CHUANGANQI YU JIANCE JISHU

(第3版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

策划编辑: 马子涵
责任编辑: 马子涵
封面设计: 刘文东



“十四五”职业教育国家规划教材



“十四五”职业教育河南省规划教材

主 编 张建忠
副主编 沈艳河
主 审 华云松

传感器与 检测技术

CHUANGANQI YU JIANCE JISHU

(第3版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书除绪论外共分为八个项目,分别为开关量检测、位移检测、精密位移检测系统、速度和加速度检测系统、力和压力检测系统、温度检测系统、信号处理、图像传感与处理。

本书可作为高职高专机电一体化、电气自动化等专业的教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术 / 张建忠主编. -- 3 版. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2020.11(2024.1 重印)
ISBN 978-7-5635-6249-7

I. ①传… II. ①张… III. ①传感器—检测—高等职业教育—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 209548 号

策划编辑: 马子涵 责任编辑: 马子涵 封面设计: 刘文东

出版发行: 北京邮电大学出版社

社址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 16 插页 1

字 数: 331 千字

版 次: 2020 年 11 月第 3 版

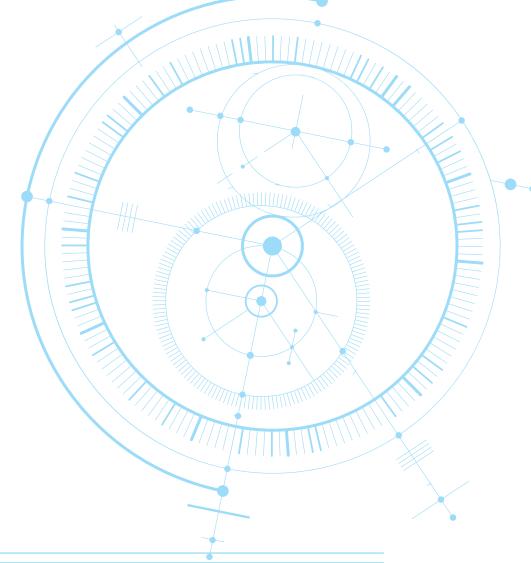
印 次: 2024 年 1 月第 8 次印刷

ISBN 978-7-5635-6249-7

定 价: 48.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话: 400-615-1233



Preface 第3版前言

本书深入贯彻党的“二十大”会议精神,弘扬技术强国,贴近工业现场中各种信号的转换和提取技术,尽量反映主流先进检测技术。得益于信息技术在检测领域的深入应用,传感器与检测技术近年来得到了迅猛的发展,主要体现在传感器形式的日益集成化、机器视觉的快速应用(如自动识别车牌、人脸等),以及物联网和工业网络自动化的发展。传感器与检测技术已经成为推动社会经济发展的重要技术力量。为了反映这种工业中应用的主流技术,第3版教材进行了如下改进。

(1)增加了工业常用检测数据传输网络的内容,主要有RS485和CAN总线。其中,RS485总线模块和Modbus协议可较为可靠地传输数据。事实上,很多检测模块已经具有上述协议,可以很方便地实现工业现场检测和控制。

(2)增加了嵌入式系统的内容。以树莓派ARM单片机系统为例,介绍了使用单片机实现检测系统的方法。随着单片机系统性能的提高(如采用4核1.5GHz的CPU和GPU芯片,其性能已能满足工业现场的计算要求),嵌入式系统应用会更加广泛。嵌入式系统应用的主要特点是将计算直接嵌入工业设备,实现复杂数据的计算和推测(如人工智能等);而且,现代开发对于非实时情况(反应时间在0.01s以上)采用了Python语言,与硬件相关的复杂接口程序均由程序库文件完成,开发者只需要知道有关接口函数即可进行操作,进一步简化了开发过程,开发难度并不比普通的PLC程序更为复杂,完全适合作为高职类学生的能力提升内容。

(3)增加了机器视觉的基本内容,包括硬件和软件的相关基础知识,使用SimpleCV和OpenCV等库函数实现工件有无和尺寸的检测。可以预计,在未来的检测技术中,机器视觉将得到广泛应用。目前,这种视觉的应用配合嵌入式系统,已经广泛应用于各种物体的识别(如产品表面质量检测、尺寸检测和运动信息检测等方面),在大学生技能竞赛中也得到了充分体现。

(4)在附录中增加了树莓派单片机系统的有关内容,其主要目的是引起学生兴趣,要进行更深一步的学习,可参考其他书籍。

本书建议学时安排如下表所示。

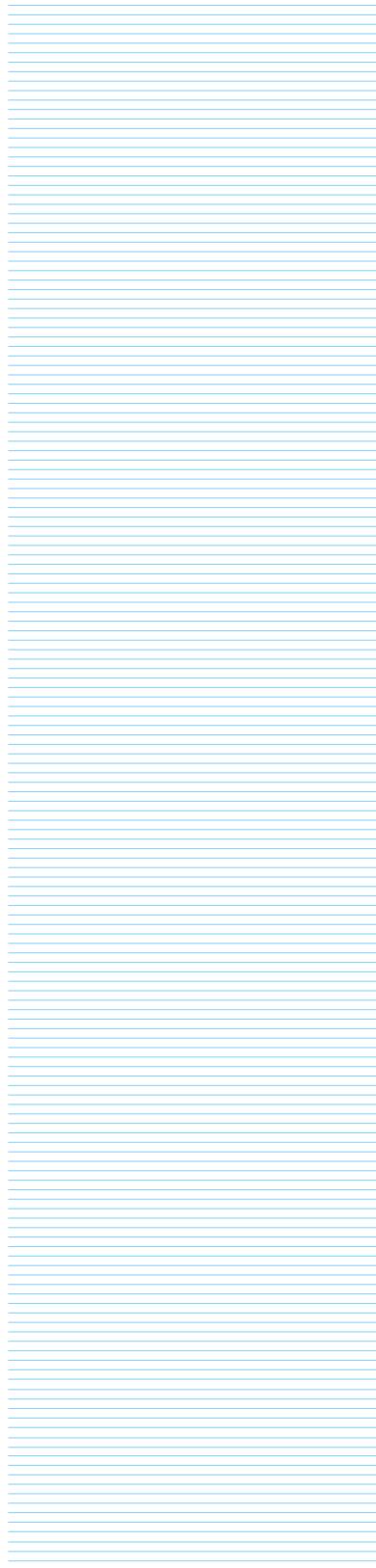


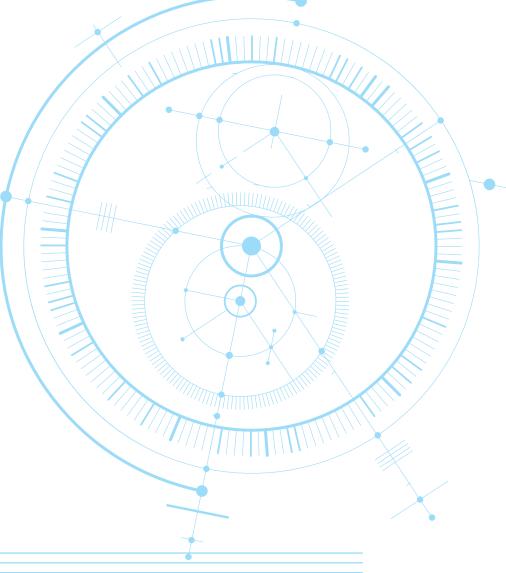
序号	学习内容	学时
0	绪论	2
1	开关量检测	10
2	位移检测	11
3	精密位移检测系统	6
4	速度和加速度检测系统	7
5	力和压力检测系统	7
6	温度检测系统	7
7	信号处理	8
8	图像传感与处理	6
合计		64

本书由黄河水利职业技术学院张建忠副教授担任主编,沈艳河担任副主编,李自鹏参与编写,华云松副教授主审。具体编写分工为:张建忠编写绪论、项目一、项目四、项目五和项目七,沈艳河编写项目二和项目三,李自鹏编写项目六和项目八。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,希望广大读者不吝赐教。

编 者





Preface 第1版前言

目前,工程上将传感和检测的各种功能封装为单元模块,测试工程中智能化、集成化、模块化已经成为应用趋势。这种趋势反映在教学上,学生不必过分掌握传感和检测的内部细节,只需要针对特定任务组合功能模块形成完整工作系统,所以教学应着重传授传感模块选用、将信号处理和数据处理模块组合形成完整的测试功能的各项技巧。

本书针对项目化教学编写而成,以传感器应用方向为单元,简要介绍了其效应原理、电路处理和性能参数,重点讲解各种传感器在实际工作中,如在位移测量、速度和加速度测量、力和压力测量、温度测量中的应用,结合机械与自动控制工程实际,讲解数据采集卡、虚拟仪器和计算机测量等现代检测技术在工程中的应用实例,以各种检测模块为主,图文并茂,使学生有直观的认识,具备“够用、能用”的实践能力。

本书按照传感器的工业应用分类,由绪论和七个项目组成:绪论介绍了检测技术的基本知识,包括传感器与检测技术的有关定义及发展趋势、误差与检测装置的特性和标定;项目一为工业中常用的开关量检测,以接近开关为主,介绍了霍尔、光电和感应型开关量检测方法的应用;项目二为位移检测,包括电阻尺、感应同步器、编码器、光栅尺和超声波传感器等工业应用主流的位移传感器,以电阻尺、光栅尺和超声波非接触检测为主要实训内容阐述位移传感器的使用方法;项目三为精密位移检测系统,主要介绍量程小、精度高的检测,包括电容、电感和激光检测方法;项目四为速度和加速度检测系统,包括测速发电机和压电传感器等内容;项目五为力和压力检测系统,主要内容为电阻应变片和压阻式压力传感器的使用;项目六为温度检测系统,包括热电阻和热电偶式温度传感器以及后续仪表的使用;项目七为信号处理,主要使用 LabVIEW 程序实现信号的处理和分析,包括 RS232 信号串口和数模相互转换。

建议学时安排如下表所示。如课时和实训条件有限,可删减部分内容(如信号处理等),自行安排教学学时和实训内容。



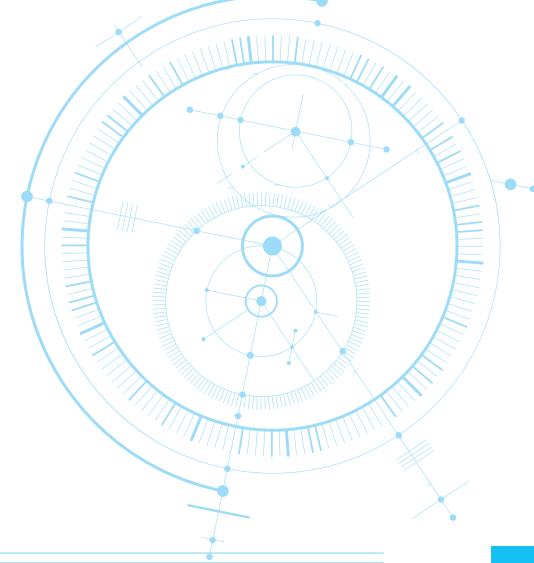
序号	学习内容	学时
0	绪论	2
1	开关量检测	10
2	位移检测	11
3	精密位移检测系统	6
4	速度和加速度检测系统	7
5	力和压力检测系统	7
6	温度检测系统	7
7	信号处理	6
合计		56

本书由黄河水利职业技术学院张建忠副教授担任主编,沈艳河担任副主编,李自鹏参与编写,华云松副教授主审。具体编写分工为:张建忠编写绪论、项目一、项目四、项目五和项目七,沈艳河编写项目二和项目三,李自鹏编写项目六。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏、不足之处,敬请广大读者批评、指正。

编 者

（此处提供空白页供读者填写意见或建议）



Contents 目录

绪论

1

一、检测技术基础	1
二、误差分析	7
三、信号描述	9
四、检测装置的基本特性	10
思考与练习	14

项目一 开关量检测

16

任务一 认识接近开关	16
一、霍尔效应型接近开关	17
二、光电效应型接近开关	22
三、感应型接近开关	29
实训一 接近开关的特性检测	29
任务二 接近开关的应用(一)	32
一、开关电源的基础知识	32
二、开关电源的选择与使用	33
实训二 接近开关对不同材料的敏感性检测	34
任务三 接近开关的应用(二)	36
一、数显表简介	36
二、数显表的规格与应用	37
三、数显表的选用	39
实训三 使用接近开关检测转动次数	39
思考与练习	41

项目二 位移检测

42

任务一 认识位移传感器	42
一、电阻尺	44
二、感应同步器	46



三、磁栅尺	49
四、光电编码器	50
实训一 认识电阻式位移传感器	52
任务二 直线型光栅位移传感器的应用	54
一、光栅尺	55
二、光栅检测系统的几个关键问题	58
三、光栅尺专用数显表头	62
实训二 光栅尺精密位移检测系统	63
任务三 超声波位移传感器的工作特性	66
实训三 超声波位移传感器的特性检测	70
思考与练习	72

项目三 精密位移检测系统 73

任务一 高精度位移传感器的应用	74
一、电容式传感器	74
二、电感式传感器	80
实训一 认识电感式高精度位移传感器	87
任务二 激光高精度位移传感器	89
一、图像传感器	91
二、激光传感器	94
三、光纤式传感器	98
实训二 使用高精度激光位移传感器检测物体高度差	100
思考与练习	104

项目四 速度和加速度检测系统 105

任务一 认识速度传感器	105
一、测速发电机传感器的要求	106
二、直流测速发电机	106
三、交流异步测速发电机	110
四、无刷直流测速发电机	113
实训一 使用测速发电机检测转轴转动速度	113
任务二 压电传感器的应用	116
一、压电式传感器	117
二、加速度计简介与选型	119
实训二 使用加速度传感器检测振动值	121
思考与练习	124

**项目五 力和压力检测系统**

125

任务一	认识力传感器	125
一、	电阻应变片式测力传感器	125
二、	压磁式力传感器	128
三、	振弦式力传感器	129
四、	检测电桥	130
实训一	认识电阻应变片及其使用方法	131
任务二	压阻式压力传感器的应用	136
一、	压阻式压力传感器	137
二、	压力传感器检测常识	138
三、	压力传感器的性能指标	139
实训二	使用压阻式压力传感器检测气压	140
	思考与练习	142

项目六 温度检测系统

143

任务	认识温度传感器	144
一、	热电阻式温度传感器	144
二、	热电偶式温度传感器	147
三、	红外传感器	151
实训一	认识热电阻传感器	156
实训二	使用热电阻温度传感器检测水的温升曲线	159
实训三	使用热电偶温度传感器检测火焰中心温度	160
	思考与练习	164

项目七 信号处理

165

任务一	认识 RS232 信号接口	166
一、	虚拟仪器和 LabVIEW 语言	166
二、	串口知识	170
实训一	使用带串口的数显表头和虚拟仪器	
	LabVIEW 程序记录水的温升曲线	171
任务二	认识数字量和模拟量的转换	176
一、	数 / 模转换和模 / 数转换	176
二、	数据采集	179
实训二	使用数据采集卡模拟量接口传输信号	183
任务三	使用总线传递数据	185



一、RS485 总线	188
二、Modbus 通信协议	189
三、CAN 总线	194
四、嵌入式系统	197

实训三 使用树莓派单片机系统构建传递检测数据的

RS485 网络	199
----------	-----

思考与练习	203
-------	-----

项目八 图像传感与处理 204

任务 数字图像检测基础	204
-------------	-----

实训 利用图像传感器检测工件有无和尺寸	220
---------------------	-----

思考与练习	224
-------	-----

附 录 225

附录 A LabVIEW 应用程序初步	225
---------------------	-----

附录 B 树莓派单片机系统	242
---------------	-----

参考文献 247



绪 论

传感器是能感受被检测量并按照一定规律将其转换成可用输出信号的器件或装置。检测的基本任务是利用传感器获得有用的信息，这些信息主要反映被测对象中的被测量。工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等都与检测技术息息相关，特别是近代广泛应用的自动控制技术。检测装置往往是控制系统的前端，因此，检测技术已经成为控制系统的重要组成部分，各种仪器仪表作为控制系统的感受器发挥着关键作用。传感器和检测技术是机电行业中的支撑技术之一。

一、检测技术基础

信息总是蕴涵在某些物理量之中，并依靠它们来传输。这些物理量就是信号，就具体物理性质而言，有电信号、光信号和力信号等。其中，电信号在转换、处理、传输和运用等方面都有明显的优点，因而其已成为目前应用最广泛的信号。各种非电信号往往也被转换成电信号，而后传输、处理和运用。传感器的作用一般是将非电信号转换为电信号，是检测中的转换器件。

《传感器通用术语》(GB/T 7665—2005)对传感器的定义是“能感受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，通常由敏感元件和转换元件组成”。即传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息按一定规律转换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

传感器另外一个定义是“从一个系统接受功率，通常以另一种形式将功率送到第二个系统中的器件”。根据这个定义，传感器的作用是将一种形式的能量转换成另一种形式的能量，所以可认为“换能器”即“传感器”。

常用传感器一般以传感原理和工作用途命名，如电容式压力传感器，其传感原理是通过压力变化引起电容的极板距离变化，在后续电路中经过电学信号的调制形成电压电流信号，或者通过模拟量变换为数字量形成数字信号，它的工作用途是测量压力。传感器以传感原理分类见表 0-1 所示。





表 0-1 传感器的分类

转换形式	中间参量	转换原理	传感器名称	典型应用
电参数	电阻	移动电位器触点改变电阻	电位器传感器	位移
		电阻丝伸缩	电阻应变传感器	微应变,力,载荷
	电阻	电阻温度效应	热丝传感器	气体流速,液体流速
			电阻温度传感器	温度,辐射热
			热敏电阻传感器	温度
		电阻光敏效应	光敏电阻传感器	光强
		电阻湿度效应	湿敏电阻传感器	湿度
	电容	电容几何构型	电容传感器	力,压力,载荷,位移
		电容的介电常数		液位,厚度,含水量
	电感	磁路几何尺寸,位置	电感传感器	高精度位移传感器
		涡流效应	涡流传感器	位移,厚度,硬度
		压磁效应	压磁传感器	力,压力
		互感效应	差动变压器	位移
			旋转变压器	位移
	频率	谐振回路中的参数	振弦式传感器	压力,力
电量	计数	莫尔条纹	光栅	位移(角度)
		改变互感	感应同步器	
		数字增量	增量编码器	
	数字	编码方式	绝对值编码器	
	电动势	温差电动势	热电偶	温度,热流
		霍尔效应	霍尔传感器	磁通,电流
		电磁感应	磁电传感器	速度,加速度
		光电效应	光电池	光强
	电荷	辐射电离	电离传感器	离子计数,放射性
		压电效应	压电传感器	振动加速度

有关传感器还有以下几个概念。

(1) 变送器。当传感器输出为规定的标准信号时,称为变送器。常用的标准信号为0~5 V/0~10 V电压信号或4~20 mA电流信号。此外,以输出数字量为特征,满足某种传输协议(如现场总线协议)的变送器,也在各种工业检测领域大量应用。

(2) 微传感器。利用微细加工工艺,尤其是硅微加工工艺制作的传感器称为微传感器。其具有尺寸微小的特性,一般指那些外形尺寸小于毫米量级的传感器。

(3) 智能传感器。将敏感元件、信号处理电路、处理单元和通信单元等集合成一体的传感器称为智能传感器。其可看作计算机化的传感器,具有自我诊断、数据处理和自适应等功能。



(4) 测量、测试与检测。测量是指用特定的工具或仪器直接获得被测对象的特性数据,结果是数据,如用秤称重量、用尺量长度。测试是指用一系列的方法(包括仪器仪表、工具或计算等)检查特定的对象的性能是否满足所预期的要求,获得的结果是合格或不合格。检测就是借助专门的技术工具通过试验、计算而获得被测量的值(大小和方向),将被测量与同性质的标准量进行比较,并确定出被测量对标准量的倍数。根据以上各有关定义,测量、测试和检测概念的主要区别在于侧重点和结果不同,测量主要利用仪器直接获得量值属性,测试则面向设计并检验是否达到要求,而检测是利用仪器间接获得量值属性,中间增加了分析环节。工业中,中间的细微差别往往为使用者忽略,在不影响结果的基础上,本书中使用检测作为上述三种名词的统称。

1. 检测技术的重要性与发展趋势

人们为了从外界获取信息,必须借助于感觉器官。而单靠人们自身的感觉器官,在研究自然现象和规律时就远远不够了。为适应这种情况,就需要借助于传感器。因此,传感器是人类五官的延伸,又将其称为“电五官”。

1) 检测技术的重要性

在人类各项生产活动和科学试验中,为了了解和掌握整个过程的进展及其最后结果,经常需要对各种基本参数或物理量进行检查和检测,从而获得必要的信息,作为分析判断和决策的依据。因此,可以认为检测技术是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性的了解和定量的掌握而采取的一系列技术措施,是以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的一项技术。检测技术已经成为一门完整的技术学科,在促进生产发展和科技进步等广阔领域发挥着重要作用。其主要应用如下。

(1) 检测技术是产品检验和质量控制的重要手段。借助于检测工具对产品进行质量评价是人们十分熟悉的,这是检测技术重要的应用领域。但传统的检测方法只能将产品区分为合格品和废品,起到产品验收和废品剔除的作用。这种被动检测方法,对废品的出现并没有预先防止的能力。在传统检测技术基础上发展起来的在线检测技术使检测和生产加工同时进行,能及时地利用检测结果对生产过程主动地进行控制,使之适应生产条件的变化或自动地调整到最佳状态。这样检测的作用已经不只是单纯的检查产品的最终结果,还要过问和干预造成这些结果的原因,从而进入质量控制的领域。

(2) 检测技术在设备安全经济运行监测中得到广泛应用。电力、石油、化工和机械等行业的一些大型设备通常在高温、高压、高速和大功率状态下运行,保证这些关键设备安全运行在国民经济中具有重大意义。因此,通常设置故障监测系统以对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期动态监测,以便及时发现异常情况,加强故障预防,达到早期诊断的目的。这样做可以避免严重的突发事故,保证设备和人员安全,提高经济效益。另外,在日常运行中,这种连续监测可以及时发现设备故障前兆,采取预防性检修。随着计算机技术的发展,这类监测系统已经发展为故障自诊断系统,可以采用计算机来处理检测信息,进行分析、判断,及时诊断出设备故障并自动报警或采取相应的对策。

(3) 检测技术和检测装置是自动化系统中不可缺少的组成部分。任何生产过程都可以看作是由“物流”和“信息流”组合而成的。反映物流的数量、状态和趋向的信息流是人们管理和控制物流的依据。人们为了能够有目的地对其进行控制,首先必须通过检测获取有关信息,然后才能进行分析判断以便实现自动控制。所谓自动化是指用各种技术工具与方法





代替人来完成检测、分析、判断和控制工作。一个自动化系统通常由多个环节组成,分别完成信息获取、信息转换、信息处理、信息传递及信息执行等功能。在实现自动化的过程中,信息的获取与转换是极其重要的组成环节,只有精确、及时地将被控对象的各项参数检测出来,并转换成易于传送和处理的信号,整个系统才能正常地工作。因此,自动检测与转换是自动化技术中不可缺少的组成部分。

(4)检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步。人们在自然科学各个领域内从事的研究工作,一般是利用已知的规律对观测、试验的结果进行概括、推理,从而对所研究的对象取得定量的概念并发现它的规律性,然后上升到理论。因此,现代化检测手段所达到的水平在很大程度上决定了科学的研究的深度和广度。检测技术达到的水平越高,提供的信息越丰富、越可靠,科学的研究取得突破性进展的可能性就越大。此外,理论研究的一些成果也必须通过试验或观测来加以验证,这同样离不开必要的检测手段。

从另一方面来看,现代化生产和科学技术的发展也不断地对检测技术提出新的课题和要求,成为促进检测技术向前发展的动力。科学技术的新发现和新成果不断应用于检测技术中,也有力地促进了检测技术自身的现代化。

检测技术与现代化生产和科学技术的密切关系,使它成为一门十分活跃的技术学科,几乎渗透到人类的一切活动领域,发挥着越来越大的作用。新技术革命的到来,世界开始进入信息时代。在利用信息的过程中,首先要解决的就是要获取准确可靠的信息,而传感器是获取自然信息和生产领域中信息的主要途径与手段。

传感器和检测技术早已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程甚至文物保护等极其广泛的领域。可以毫不夸张地说,从茫茫的太空到浩瀚的海洋,以至各种复杂的工程系统,几乎每一个现代化项目,都离不开各种各样的传感器和检测装置。

由此可见,传感器技术在发展经济、推动社会进步等方面的重要作用是十分明显的。世界各国都十分重视这一领域的发展。相信不久的将来,传感器技术将会出现一个飞跃,达到与其重要地位相称的新水平。

2) 检测技术的发展趋势

随着世界各国现代化步伐的加快,对检测技术的大量需求与日俱增,而科学技术,尤其是大规模集成电路技术、微型计算机技术、机电一体化技术、微机械和新材料技术的不断进步,大大促进了现代检测技术的发展。目前,现代检测技术发展总的趋势大体有以下几个方面。

(1) 检测范围不断拓展,检测精度和可靠性不断提高。随着科学技术的发展,对检测仪器和检测系统的性能要求,尤其是精度、检测范围和可靠性指标要求越来越高。以温度为例,为满足科研试验需求,研制测温下限接近绝对零度(-273.15°C)的高精度超低温检测仪表。同时,某些场合需连续检测液态金属的温度或长时间连续检测 $2\,500\sim3\,000^{\circ}\text{C}$ 的高温介质温度,目前虽然已能研制和生产最高上限超过 $2\,800^{\circ}\text{C}$ 的热电偶,但其测温范围超过 $2\,500^{\circ}\text{C}$,准确度将下降,且极易氧化而严重影响其使用寿命和可靠性。因此,寻找能长时间连续准确检测上限超过 $2\,000^{\circ}\text{C}$ 被测介质温度的新方法是急需研究的课题。

几十年前,如果在长度、位移检测中仅存在 0.01 mm 以下的检测误差,会被大家认为是高精度检测;但随着近几年许多国家大力开展微机电系统、超精细加工等高技术研究,微米、纳米技术很快成了人们熟知的词汇,这就意味着科技的发展迫切需要有达到纳米级,甚至更



高精度检测技术和检测系统的出现。

各行各业随着自动化程度的不断提高,其高效率的生产更依赖于各种检测、控制设备的安全可靠。努力研制在复杂和恶劣检测环境下能满足用户所需精度要求,且能长期稳定工作的各种高可靠性检测仪器和检测系统,将是检测技术的一个长期发展方向。对用于航空、航天和武器装备系统等特殊用途的检测仪器的可靠性要求更高,例如,在卫星上安装的检测仪器,不仅要求其体积小、质量轻,而且要求其既能耐高温,又能在极低温和强辐射的环境下长期稳定工作,因此,所有检测仪器都应有极高的可靠性和尽可能长的使用寿命。

(2)传感器逐渐向集成化、组合式和数字化方向发展。以往传感器与信号调理电路分开,微弱的传感器信号在通过电缆传输的过程中容易受到各种电磁干扰信号的影响,且各种传感器的输出信号形式众多,使检测仪器与传感器的接口电路无法统一和标准化,实施起来颇为不便。随着大规模集成电路技术与产业的迅猛发展,采用贴片封装方式,体积大大缩小的通用和专用集成电路越来越普遍。因此,目前已有不少传感器实现了敏感元件与信号调理电路的集成和一体化,对外直接输出标准电信号,成为名副其实的变送器。这对检测仪器整机研发与系统集成提供了很大的方便,从而也使得这类传感器身价倍增。

另外,一些厂商把两种或两种以上的敏感元件集成于一体,制成可实现多种功能的新型组合式传感器。例如,将热敏元件、湿敏元件和信号调理电路集成在一起,一个传感器可同时完成温度和湿度的检测。还有些厂商把敏感元件与信号调理电路、信号处理电路统一设计并集成化,成为能直接输出数字信号的新型传感器,进一步增强了信号的稳定性。如美国DALLAS公司推出的数字温度传感器DS18B20,可检测温度范围为 $-55\sim150^{\circ}\text{C}$,精度为 0.5°C ,封装和形状与普通小功率三极管十分相似。

(3)重视非接触式检测技术的研究。在检测过程中,往往把传感器置于被测对象表面,检测敏感被测量的变化,这种接触式检测方法通常比较直接、可靠,检测精度高。但在某些情况下,因传感器加入会对被测对象的工作状态产生干扰,影响检测精度;在有些被测对象上,根本不允许或不可能安装传感器,如检测高速旋转轴的振动、转矩及工件内部裂纹等。因此,各种非接触式检测技术的研究越来越受到重视,目前已商品化的光电式传感器、电涡流式传感器、超声波检测仪器、核辐射检测仪器等正是在这种背景下不断发展起来的。在这些应用场合,不仅需要改进和克服非接触式检测仪器易受外界干扰及绝对精度较低等问题,而且对一些难以采用接触式检测,或无法采用接触方式进行检测,尤其是那些具有重大军事、经济或其他应用价值的非接触检测技术课题的研究投入会不断增加,非接触检测技术的研究、发展和应用步伐都将明显加快。

(4)检测系统智能化。近年来,由于微处理器、单片机等大规模集成电路的成本和价格不断降低,功能和集成度不断提高,许多以单片机、微处理器或微型计算机为核心的现代检测仪器实现了智能化,这些现代检测仪器通常具有系统故障自测、自诊断、自调零、自校准、自选量程、自动测试和自动分选功能、自校正功能、强大数据处理和统计功能、远距离数据通信和输入、输出功能,可配置各种数字通信接口,传递检测数据和各种操作命令等,可方便地接入不同规模的自动检测、控制与管理信息网络系统。与传统检测系统相比,智能化的现代检测系统具有更高的精度和性价比。

正是由于智能化检测仪器、检测系统具有上述优点,所以其市场占有率多年来一直维持强劲的上升趋势。





2. 检测系统的组成

一般来说,检测工作的全过程所包含的环节有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检测结果。检测系统可采用如图 0-1 所示的方式来表示。

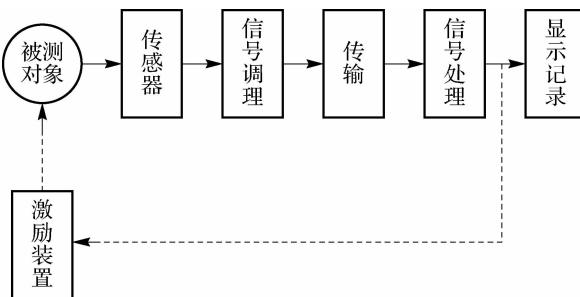


图 0-1 检测系统

客观事物多种多样,检测工作所希望获取的信息,有可能存在于某种可检测的信号中,如位移、温度信号等;也有可能尚未载于可检测的信号中,需要采用合适的方式对被测对象进行激励,使其性能能够充分表现出来并能被检测,如结构的共振频率等,就需要对结构施加一定频率的力或位移,检测其振动值,间接反映其振动性能,为高速条件下的加工提供试验依据。因此,激励装置在检测系统特别是动态检测中是必要的,某些情况下,可以采用现场检测方法作为激励,如检测汽车悬挂系统的平顺性,可以路面为激励装置,在车辆行进中对其进行动态力大小的检测。激励装置有时候需要调整参数,如激振频率和振幅,这种调整往往以检测结果的趋势为依据改变激励装置参数,如寻找共振频率,所以有时需要引入检测结果信号至激励装置中。

传感器直接作用于被测量并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,如电压或电流等。事实上,这种检测方法还可称为非电量的电测法。

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。当所检测的信息经过传感器变换后成为电参量(如电压或电流等)时,这类信号往往很微弱,难于直接显示或传递。因此,在传感器后一般均有放大电路。在信号放大的过程中,不可避免地会出现其他不必要的干扰信号也被放大的情况,以至于影响真实信号的检测,所以一般后续电路均有过滤干扰的措施。这些电路一般集合封装为一体,形成专用模块。有时候,还需要将这些信号转换为计算机能够识别的数字信号通过工业总线网络传给控制器(如 PLC 等),或将这些信号进行分析变换,成为更容易反映被测量本质特性的量值,这种分析就是信号处理技术。

调理后的信号传输到信号分析模块。在检测工作的许多场合中,忽略信号的具体物理性质,而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进行分析研究,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检测技术,并成为检测技术的重要组成部分。事实上,这些分析往往是很多经验公式的来源,也是很多理论的试验依据。

信号显示、记录环节以观察者易于识别的形式来显示检测的结果,或者将检测结果存储,供必要时使用。



背景知识:传感器产业

传感器产业是国内外公认的具有发展前途的高技术产业,它以技术含量高、经济效益好、渗透能力强、市场前景广等特点为世人瞩目。其应用领域涉及机械制造、工业过程控制、汽车电子产品、通信电子产品、消费电子产品和专用设备等。世界上传感器品种达3万余种,许多国家都把传感器技术列为国家重点开发的关键技术之一。

目前,全世界约有40个国家从事传感器的研制、生产和应用开发,研发机构有6000余家。其中以美、日、俄等国实力较强,它们建立了包括物理量、化学量、生物量三大门类的传感器产业,研发生产单位有4000余家,产品达20000余种,对应用范围广的产品已实现规模化生产,大企业的年生产能力已达到几千万件到几亿件。

世界传感器市场正在以持续稳定的增长趋势向前发展。就世界范围而言,传感器市场上增长最快的是汽车市场,占第二位的是过程控制市场,另一个前景被看好的是通信市场。高精度、快响应、高可靠性、宽温度范围、微型化、微功耗及无源化、智能化、集成化、网络化的传感器将成为未来市场中的宠儿。

传感器材料是传感器技术的重要基础,材料科学的进步使传感器技术越来越成熟,种类越来越多。采用纳米材料制作的传感器具有庞大的界面,提供大量物质通道,导通电阻很小,有利于传感器向微型化发展。纳米技术传感器主要包括纳米化学/生物传感器、纳米气体传感器和其他类型的纳米传感器(如压力、温度和流量传感器等)。开发纳米传感器的厂家有安捷伦、波音、IBM、洛克希德马丁、摩托罗拉和三星,还有像纳诺米克斯这样的新兴公司。

二、误差分析

由于仪器、试验条件、环境等因素的限制,检测不可能无限精确,物理量的检测值与客观存在的真实值之间总会存在着一定的差异,这种差异称为测量误差。误差不同于错误,错误是应该而且可以避免的,而误差是不可能避免的。从试验的原理、试验所用的仪器及仪器的调整,到对物理量的每次检测,都不可避免地存在误差,误差贯穿于整个试验始终。

1. 误差的概念

检测值与真实值之差称为误差。设被测量的真实值(真正的大小)为 a ,检测值为 x ,误差为 ϵ ,则有

$$x - a = \epsilon \quad (0-1)$$

事实上,由于不可能事先知道被测量的真实值,误差值多由统计估计值和实际检测值的差表示。一般的估计值选用平均值。

在实际工程应用中,相对误差比绝对误差更能表现测量的精度。相对误差分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差等。

实际相对误差是指绝对误差与测量值的百分比

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{a} \times 100\% \quad (0-2)$$

式中, γ_x 为相对误差; Δx 为绝对误差; a 为实际值。

例如,采购员分别在三家商店购买 100 kg 大米,10 kg 苹果,0.5 kg 巧克力,它们的实际值分别为 99.75 kg、9.75 kg、0.25 kg,绝对误差均为 0.25 kg,相对误差分别为 0.25%、





2.5%、50%，巧克力的实际相对误差最大。

实际值往往不能准确取得，一般采用测量值作为相对误差算式[式(0-2)]中的分母，所得到的相对误差称为示值相对误差，即

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (0-3)$$

式中， x 为测量值。

满度相对误差是指绝对误差与测量的量程即满度的百分比值，即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (0-4)$$

式中， x_m 为量程。显然，满度相对误差在相当程度上代表了测量仪器的性能。实际上，最大绝对误差与仪器量程比值的百分比值就是通常意义上的精度，即

$$S = \left| \frac{\Delta_m}{x_m} \right| \times 100\% \quad (0-5)$$

式中， S 为仪器或者测量系统的精度； Δ_m 为最大绝对误差值。精度一般规定取一系列标准值，精度等级越小，则测量系统的相对测量误差越小。

检测时，由于各种因素会造成少许的误差，这些因素必须去了解，并有效地解决，方可使整个检测过程中误差减至最小。检测时的误差主要有系统误差和随机误差，而系统误差包括误读、误算、视差、刻度误差、磨耗误差、接触力误差、挠曲误差、余弦误差、阿贝误差和热变形误差等。系统误差的大小在检测过程中是不变的，可以用计算或试验方法求得，可以预测并可修正或调整使其减小。

随机误差又称为偶然误差，是指检测结果与同一待测量的大量重复检测值的平均结果之差。“同一待测量的大量重复检测值的平均结果”是指在重复条件下得到待测量的期望值或所有可能测得值的平均值。它的特点是大小和方向都不固定，无法检测或校正。随机误差的性质是随着测定次数的增加，正负误差可以相互抵偿，误差的平均值将逐渐趋于零。其产生因素十分复杂，如电磁场的微变，零件的摩擦、间隙，热起伏，空气扰动，气压及湿度的变化，检测人员感觉器官的生理变化等，以及它们的综合影响都可以成为产生随机误差的因素。

2. 误差来源及减小误差的一般方法

导致误差的原因可归纳为四大类，详细内容叙述如下。

(1) 方法误差。方法误差的产生原因是方法不完善、不适当，原理上的近似及定义不严密等因素在检测结果表达式中没有得到反映，而在实际检测中对结果有影响作用。

(2) 设备误差。设备误差的产生原因是检测所使用仪器或量具不准确。

(3) 环境误差。环境误差的产生原因是环境偏离了检测工具所规定的条件，如温度、湿度、气压、电磁场、电源电压等。

(4) 人为误差。人为误差的产生原因是检测人员的素质、生理特点、工作责任心、检测知识水平、操作习惯等。

检测完毕后，所得数据可根据原理和经验进行坏值(明显与事实不符的检测值)剔除，如检测振动过大引起检测值出现明显误差，或检测条件发生重大改变，这时应予以重新检测。除以上物理方法判别检测值外，处理数据还可采用统计办法，即在一定的置信概率下确定一个置信界限，凡超过此界限的误差可判为粗大误差(坏值)，其结果予以剔除。其中，最常用的为 3σ 方法，即如果某一个数值超过所得测量数值的标准差的 3 倍，则可以认为是异常数



值,这种数值产生的原因大多为人为因素,如工作不认真等。根据这种统计学方法,产生了 6σ 管理方法。

提高检测准确度意味着减小或消除误差,因此可在检测装置的设计制造方面采取措施,但对于使用者更为有效的方法是改进检测方法,校正测量手段和数据处理等方面。系统误差往往与检测原理有关,是有规律可循的,因此,应按规律引入校正补偿;随机误差的出现有统计规律,据此可对检测结果进行统计修正,减小分散性;粗大误差则应依据检测原理予以剔除。

三、信号描述

信号是运载消息的工具。在传感器和检测技术中,承载信息的物理参量可统称为信号,如电阻应变片传感器将物体表面应变量转换为电阻变化,然后经过电路转换为电压变化,由电压变化转换为数字量。这些参量的共同特点是它们是由应变引起本身量值的变化,均与应变量相关。

显然,信号除包含真实信号外,还包含其他误差因素信号,如上面电阻应变片例子中,由于电流热效应造成电阻值变化折算入检测信号中,引起检测结果不准确。从信号中分析出真实信号是信号处理的一个目的。另外,检测动态参量(如振动值)时,得到的往往是时间序列上的一系列数值,但这些数值是无法直接观察得出结论的,需要转换为频率的变化,以各个不同频段的变化揭示事物的本质特征。

1. 信号的分类

根据信号变化情况,信号可分为确定信号和不规则信号两类。确定信号是可用适当的方法预测其波形的信号,相反,不规则信号的波形无论用什么样的方法都不能完全预测。波形被确定为不规则变化的信号有很多不规则信号的性质。对时间性质不变的不规则信号称为恒定的不规则信号。不规则信号的性质即使进行周期分析,在进行多次相同的处理时,其处理结果每次都是波动而不确定的。检测技术中,一个信号往往包含确定信号和不规则信号,大多数情况下,不规则信号由噪声和不确定性因素引起,需要从信号中剔除,保留确定信号,而后者则是由于物理或者其他自然规律支配的现象,是检测的最终目的。

信号根据数学关系、取值特征、能量功率、处理分析、所具有的时间函数特性、取值是否为实数等,可以分为连续信号和离散信号(即模拟信号和数字信号)、能量信号和功率信号、时域信号和频域信号、时限信号和频限信号、实信号和复信号等。

传感器信号在工程上还有一种分类方法,即以信号特征为基础,将其分为以下三种形式的信号。

(1)开关信号。开关信号又称为逻辑信号,指的是非 0 即 1 的变化信号,一般可描述的有开关、明暗和有无等变化量。事实上,这类信号在工业工程中应用最为广泛,使用量最大。

例如,工件是否安装在空间某一个位置可以看作是一个信号,这个信号可以由传感器将工件的有无转换为电路是否接通,如果接通,则有电压存在,否则电压为 0。这样,传感系统就将工件有无转换为电压是否存在,用逻辑数学的语言,称为 1-0 开关信号。这类信号检测简单,物理含义明确,在工程环境下的耐用度(鲁棒性)要远远超过其他种类的传感器,而且由于简单,价格也大大降低。所以,这类信号大量存在于工业环境中是工业逻辑的必然。





(2) 模拟信号。模拟信号是指在一定范围内连续变化的量,即变量在一定范围(定义域)内可以取任意值,反映在检测电路中一般是指电压或电流的变化,这类信号可以描述井口水位、运动位移、受力变化等,在工程中常用于检测精度要求较高的领域。例如,锅炉中的温度变化可以使用热电偶将温度转换为电压变化,这个电压随着电炉温度的提高连续变化,这种连续变化的信息就是模拟信号,模拟信号所携带的信息又常称为模拟量。在工业中,大多数指针式仪表以及流量、力、压力等数值的测量均是模拟信号。显然,模拟信号比开关信号蕴含的信息要更加丰富和精确,但是,这种精确性很容易受到电路噪声的影响。例如,电路的热效应使得电路温度上升,反映到测量结果则有可能产生误差,这种误差在精确性较高的测量中是难以接受的。

(3) 数字信号。数字信号是分立量,而不是连续变化量,只能取二进制数字变量,其大多由模拟信号经过 A/D 转换器转换为数字信号。数字信号的好处是信号传递稳定可靠,不会出现失真,易于和控制系统连接。由于电子计算机的大量应用以及软件算法的突飞猛进,现代检测大多要将信号转换为计算机能够接收的信号,这时,模拟信号需要转换为数字信号。同时,由于转换为数字信号,在每一位上的信号实际上就是逻辑开关量信号,显著提高了信号的稳定性,不易受到工业现场环境的影响。如果采用数据总线,使用 2 根线就可以连接几十台或者几百台自动化设备,明显提高了现代工业效率和自动化水平。因此,目前大多数检测设备均有数字接口。

2. 信号时域和频域描述

直接观测或记录到的信号一般是以时间为独立变量的,称为时域描述信号。它能反映信号幅值随时间变化的关系,而不能明显揭示信号的频率组成关系。

为了研究信号的频率结构和各频率成分的幅值、相位关系,应对信号进行频谱分析,把信号的时域描述通过适当方法变成信号的频域描述,即以频率为独立变量来表示信号。

数学上,这两种信号可通过傅里叶无穷积分相互转换。在信号分析中,将组成信号的各频率成分找出来,按序排列,得到信号的频谱。以频率为横坐标,以幅值或者相位为纵坐标,便得到了信号的幅频谱图或相频谱图。

信号的时域描述直观地反映信号瞬时值随时间的变化关系,频域描述则反映信号的频率组成及幅值、相位关系。为了解决不同的问题,往往需要掌握信号的不同方面的特征,因而可采用不同的信号描述方式。例如,评定机器的振动强度,需要振动速度的均方根值作为判据。如速度信号采用时域描述,就能求得均方根值。在寻找振动源头时则需要掌握振动信号的频率分量,这就需要采用频域描述。实际上,这两种方法可互相转换,且含有同样的信息量。

四、检测装置的基本特性

为了获得准确的检测结果,对检测装置提出多方面的性能要求。这些性能大致上可分为静态特性和动态特性两方面。对于那些用于静态检测的检测装置,一般只需利用静态特性指标考察其质量。在动态检测中,需要同时运用静态特性指标和动态特性指标来描述检测仪器的质量,因为两方面的特性都将影响检测结果。

1. 检测装置的静态特性

1) 线性度

从使用的角度,总是希望输入和输出近似线性,这样即可用拟合直线来表示传感器的特



性,由此造成的误差称为线性误差(δ)。线性误差多采用相对值的方法进行描述,其表达式为

$$\delta = \frac{\Delta y_m}{y_p} \times 100\% \quad (0-6)$$

式中, Δy_m 为实际曲线与拟合曲线间的最大偏差; y_p 为检测系统的满量程输出,即最大检测值与最小检测值之差。

线性度反映了检测中输入和输出变化的均匀性,是衡量检测系统的重要指标。线性度如图 0-2 所示,图中曲线代表真实的输入和输出,直线代表其拟合后的关系。

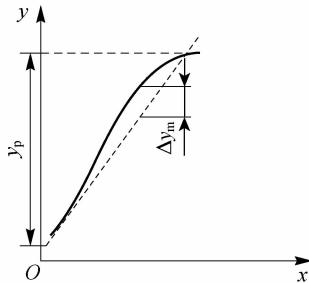


图 0-2 线性度

2) 灵敏度

灵敏度(S)是指系统在稳态下输出变化与输入变化之比,其表达式为

$$S = \frac{dy}{dx} \quad (0-7)$$

式中, dy 为输出变化量,已知理论公式情况下为输出量的微分,或为输出量与输入量的差值; dx 为输入变化量,已知理论公式情况下为输入量的微分,或为输入量的差值。灵敏度表示单位输入量的变化所引起传感器输出量的变化,显然,灵敏度越大,表示传感器越灵敏,如图 0-3(a) 所示。通常情况下传感器系统的输入和输出关系为非线性,其灵敏度为工作点处的切线斜率,如图 0-3(b) 所示。

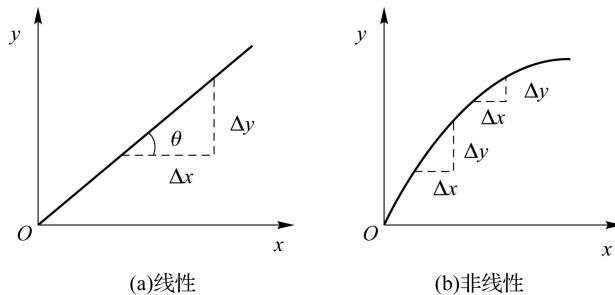


图 0-3 系统灵敏度

一般情况下,灵敏度高说明检测系统很小的输入量变化即可引起较大的输出量变化,检测系统能较好地反映输入信号的变化,但过于灵敏则会造成检测系统不易稳定的问题。

3) 分辨力

分辨力是指系统能检测到被测量的最小变化的能力,也称为阈值。检测系统间隙和内





部噪声常常使得系统难于感知微小的输入变化,分辨力是衡量检测系统分辨这种微小变化范围的特性。对于数字式仪表,分辨力就是仪表指示值的最后一位数字所代表的值。在表现上,被测量连续变化而输出显示值则呈现阶梯变化,其中的阶梯差值即为分辨力。

4)回程误差

回程误差是指当被测量由小变大或由大变小时,具有两条不重合的输入输出曲线,其中最大差值称为回程误差。这是由于系统有死区,且有滞后特性的元件(如磁性元件和弹性元件),主要原因是传感器敏感元件材料的物理性质和机械零部件的缺陷。例如,弹性敏感元件弹性滞后、运动部件摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动等。回程误差又称为迟滞,如图 0-4 所示。

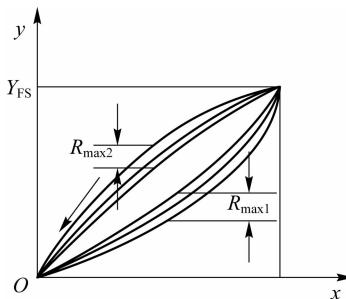


图 0-4 回程误差特性

5)稳定度和漂移

稳定度是指检测装置在规定条件下保持其检测特性恒定不变的能力。通常在不指明影响量时,稳定度是指装置不受时间变化影响的能力。如果是用其他影响量来考察稳定度,则需要特别说明。

检测装置的检测特性随时间的缓慢变化称为漂移。在规定条件下,对一个恒定的输入在规定时间内的输出变化,称为点漂;标定范围内最低值处的点漂,称为零点漂移或零漂。最常见的漂移是温度漂移,即周围环境温度变化而引起输出量的变化。温度漂移主要表现为温度零点漂移和温度灵敏度漂移。温度漂移(ξ)通常用传感器工作环境温度偏离标准环境温度(一般为 20 °C)时的输出值的变化量与温度变化量之比来表示,即

$$\xi = \frac{y_t - y_{20}}{\Delta t} \quad (0-8)$$

式中, Δt 为工作环境温度 t 与偏离标准环境温度 t_{20} 之差, 即 $\Delta t = t - t_{20}$; y_t 为传感器在环境温度 t 时的输出; y_{20} 为传感器在环境温度 t_{20} 时的输出。

2. 检测装置的动态特性

传感器的动态特性是指传感器对于随时间变化的被测量的响应特性,是传感器的输出值能够真实地再现变化着的被测量能力的反映。动态特性好的传感器,其输出量随时间变化的曲线与相应被测量随时间变化的曲线相同或近似,即输出—被测量有相同类型的时间函数,因此可以实时反映被测量的变化情况。这一指标对于如动态测控系统等对实时性要求较高的场合至关重要。例如,检测控制热处理炉温前端的温度传感器和检测系统,如果检测过程过长,就会失去炉温控制的时机,这种相位(即时间滞后)检测系统的动态性能难于保证检测的实时性。在这个例子中,当前检测到的炉温是前一个时刻的温度,如果检测系统稳定,那么可以根据温升曲线和检测系统的动态性能预测当前的温度,也可改善检测性能,然



而这一切的前提是检测装置具有良好的动态性能。

数学上,动态特性与静态特性的描述形式不同。静态特性反映稳定状态下传感器对被测量输入信号的响应能力,与时间无关。例如,具有线性特性的传感器的静态特性可表示为

$$y = Ax + B \quad (0-9)$$

式中, x 为输入信号; y 为输出信号; A 为拟合直线的斜率; B 为零点偏移量。

式(0-9)没有时间项。动态特性则反映传感器对动态输入的响应情况,如零阶及一阶传感器的动态特性可分别表示为

$$\text{零阶} \qquad \qquad \qquad y(t) = kx(t) \quad (0-10)$$

$$\text{一阶} \qquad \qquad \qquad a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = x(t) \quad (0-11)$$

式中, t 为时间; k 为动态灵敏度; a_0 、 a_1 为一阶系统响应函数的系数。

由式(0-10)和式(0-11)扩展, n 阶传感器的动态特性用 n 阶微分方程描述为

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = x(t) \quad (0-12)$$

式(0-10)~式(0-12)中, $y(t)$ 为传感器检测系统的输出值; $x(t)$ 为被测量; a_0 、 a_1 、 \dots 、 a_{n-1} 、 a_n 为 n 阶系统的系统参数,一般为常量,这种系统也称为线性系统。由于被测量往往是随机变化的,方程不易求解。实际应用中,更有意义的是这种微分方程所代表的特性,即输出量和输入量的比值,使用拉普拉斯或者傅里叶变换求得传递函数,通过研究传递函数的性质揭示检测装置的动态特性,有关的研究和工程实践已经成为一个广阔的检测领域。

检测装置的动态特性和静态特性不相关,良好的静态特性并不一定能带来良好的动态特性。但是,静态特性恶劣的系统其动态特性一定不好,即静态特性良好是动态特性的基础。因此,在实际生产中,一般首先要确定检测系统的静态特性,如果需要,再测试系统的动态特性。

对于测试系统,动态性能往往不是一次就能调整好的,需要不断提高传感器和测试系统的性能,主要的方法如下。

1)采用线性化技术

要保证传感器的输出能够不失真地复现被测量,要求传感器的输出与输入必须具有线性关系,而实际的传感器特性或多或少都具有不同程度的非线性,这就要求在设计和制造传感器时对其输出输入特性进行必要的线性化处理,以提高和改善传感器的性能。例如,在一定条件下忽略某些高次项,或者以直线代替曲线等。

2)采用闭环技术

利用电子技术和自动控制理论中的闭环反馈控制理论,采用传感器、放大电路等组成闭环反馈测量控制系统,可以有效地改善测量精度和控制系统的性能。

3)采用补偿和校正技术

在传感器产生误差的规律比较复杂时,可以设法找出产生误差的特点,从而进行补偿。例如,进行温度补偿、应用计算机软件实行误差修正等。

4)采用差动技术

用两个相同的传感器,使其输入信号大小相等而方向相反,并且使两个传感器的输出相减,则差值中的非线性项将只存在奇次项,差值输出曲线关于坐标原点对称,并且在坐标原点附近的一定范围内近似为直线。这种方法不仅可以减小非线性误差,还能很好地抵消共模误差,使灵敏度提高 1 倍。差动技术在电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器





等传感器中得到了广泛应用。

此外,采用平均技术、零位法和微差法、集成化和智能化、抗干扰技术、稳定性处理技术等方法,对改善传感器的性能,提高其技术指标都有着积极的意义。

3. 传感器的标定与校准

利用某种标准器具产生已知的输入,确定传感器输出量和输入量之间关系的过程,称为标定(定度)。传感器在使用前或使用一段时间后,必须对其性能参数进行复测或做必要的调整和修正,以确保传感器的检测精度。这个复测调整过程称为校准。

为确保各种量值准确一致,应按国家有关计量部门规定的标准、检定规程和管理办法对检测装置进行标定。如图 0-5 所示力值传递系统,只能按此系统,用上一级标准装置检定下一级传感器及配套仪表,如果待标定传感器精度高,也可跨级使用更高一级的标准装置。工程检测所使用的传感器的标定应在条件相似的情况下进行。有时为了获得较高的标定精度,可将传感器及其所配套使用的电缆、滤波器、放大器等环节组成的检测系统一起标定。有些传感器标定时,应注意规定的安装条件(如水平、垂直度等要求)。

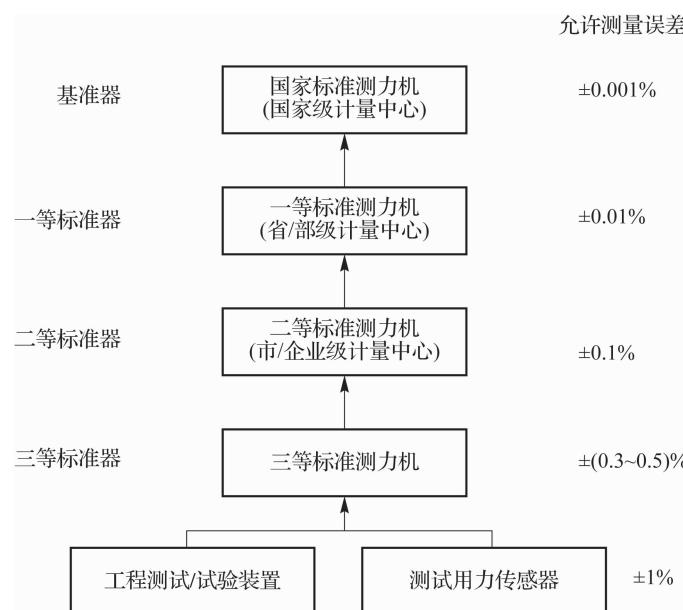


图 0-5 力值传递系统

当一个传感器或检测系统设计完成并标定后,有时工业上需要给出如前所述的精度。它是以测量范围内最大的绝对误差(测量值与真实值的差和该仪表的检测范围之比)来计算的,这种比值称为相对百分误差。例如,温度传感器的刻度为 0~100 °C,则量程范围为 100 °C,若在这个测量范围内,最大测量误差不超过 0.5 °C,则相对百分误差为 0.5%。该数值去掉“%”,称为仪表的精确度。它划分为若干等级,如 0.1 级、0.2 级、0.5 级等,以上例子中的温度传感器精度等级即为 0.5 级。



思考与练习

1. 测量一个圆柱体的直径,请想出尽可能多的测量方法,并分析这些方法中的误差影响因素和大小。



2. 请举例说明动态特性和静态区别的区别。
3. 说明传感器与检测技术的发展趋势。
4. 试举例说明频域分析能解决的问题。
5. 评价公路的路面优劣需要一个既能够快速测量,又可以反映整体的方案,请设计一个合理和可行的检测方案。
6. 根据表 0-1,查找网上出售的传感器,说明传感器的归属种类和使用方法(两种以上)。





项目

开关量检测

工业中大量出现使用开关量检测的情况,如检查工件有无、物体移动是否到位等,这些信号均可以认为是开关量。事实上,工业中很多控制量并不是复杂的模拟量或者数字量,而是简单的开关量,用于指示工作系统如何进行运转。很多复杂的控制量也可分解为几个简单的开关量,如物料运输,可以将距离控制转换为几个控制点的开关量,物料到,则相应的传感器变换,这样可以简化生产控制,增强系统的稳定性,减少生产成本。

将工业信号转换为开关量,应用简单的传感原理实现电路的通断或者电平的高低变化做成专门的开关量传感器,可以避免复杂的后续电路,能有效地提高传感器的适应能力并减少检测成本。尽管开关量传感器传递信息量较其他种类的传感器少,但它却是传感器中使用量最多的种类。因此,开关量检测是工业中的基本检测环节。

工业上,开关量检测结果可以方便地通过放大电路输出到继电器中,形成简单的通用控制器。行业中多使用开关型继电器作为检测和控制器件,如限位开关、液位开关、接近开关等,这些器件集合传感器、继电器和后续电路为一体,使用方便稳定,在工业中的灵活使用可有效地改善控制状态,降低检测难度,增强系统稳定性。

任务一

认识接近开关



知识目标

通过对接近开关电路的分析与实践例子制作,理解和掌握接近开关的基本工作原理,了解各种接近开关的环境特性和使用方法,并能识别接近开关的基本参数,能使用简单的工具判断接近开关工作是否正常。



技能目标

通过实践操作和训练理解,能够基本判断工业现场中开关量传感器的应用场合,掌握开关量传感器的基本使用方法,掌握传感器正常工作状态的评价方法。



知识链接

接近开关又称为无触点行程开关,它的任务是检查特定环境下的特定工件有无状态,输入信号一般为工件与传感器之间的距离,输出信号一般为电压。由于使用方便、稳定可靠,接近开关在工业中得到大量使用。使用时安置传感器敏感面与移动物体距离小于一定值时,输出电压信号,由于检测精度不高,通常采用6~36V开关电源供电。如图1-1所示,接近开关种类众多,按照传感原理,一般有霍尔、感应、光电和电容等形式。为适应不同工业环境,均有连接螺纹或者螺纹孔,便于安装调试。多直接从传感器本体给出信号引线,连接电源和负载。

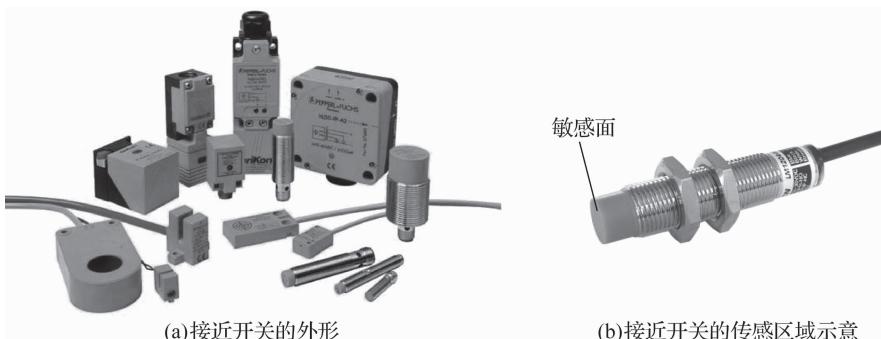


图 1-1 接近开关

由于接近开关检测物体形态、使用环境和距离的多样性,其传感器传感原理也不尽相同。本项目的主要目的是使学生能够了解和掌握多种接近开关的选择和使用方法,因此认识接近开关是本项任务的基础。



动画
霍尔效应

一、霍尔效应型接近开关

霍尔效应型接近开关是将检测磁性物体的霍尔效应元器件集成至一个传感器继电器中。由于普通情况下磁场很难自然生成,所以这种传感器检测灵敏且很少产生误报现象。但是,霍尔效应型接近开关只能检测磁性物体。霍尔效应型接近开关具有无触点、无磨损、无火花、低功耗、寿命长、灵敏度高、工作频率高等特点,能在各种恶劣环境下可靠稳定地工作。

1. 霍尔效应

霍尔效应的产生是运动电荷在磁场作用下受到洛伦兹力作用的结果。如图1-2所示,把N型半导体薄片放在磁场中,通以固定方向的电流*i*(从*a*点至*b*点),那么半导体中的载流子(电子)将沿着与电流方向相反的方向运动。从物理学上讲,任何带电质点在磁场中沿磁力线垂直方向运动时,均受到磁场力的作用,这个力又称为洛伦兹力。由于洛伦兹力,电子向一边偏移,并形成电子积累,而另一边则积累正电荷,于是形成了电场。该电场将阻止运动电子继续偏移,当电场力与洛伦兹力

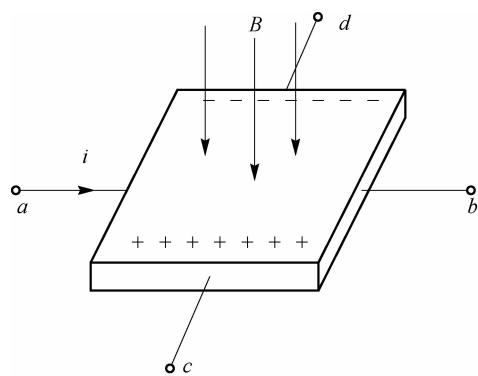


图 1-2 霍尔效应





相等时,电子的积累便达到了动态平衡。这时元件c,d两端之间建立的电场称为霍尔电场,相应的电动势称为霍尔电动势(U_H),其大小为

$$U_H = K_H i B \sin \alpha \quad (1-1)$$

式中, K_H 为霍尔常数, m^3/C ,其取决于元件材质、温度、元件尺寸; i 为电流,A; B 为磁感应强度,T; α 为电流与磁场方向之间的夹角。

霍尔常数等于霍尔片材料的电阻率与电子迁移率的乘积。若要霍尔效应强,则希望有较大的霍尔常数,因此要求霍尔片材料有较大的电阻率和载流子迁移率。一般金属材料载流子迁移率很高,但电阻率很小;而绝缘材料电阻率极高,但载流子迁移率极低,故只有半导体材料才适于制造霍尔片。目前常用的霍尔元件材料有锗、硅、砷化镓、锑化镓等半导体材料。其中N型锗容易加工制造,其霍尔常数、温度性能和线性度都较好。N型硅的线性度最好,其霍尔常数、温度性能同N型锗。锑化镓对温度最敏感,尤其在低温范围内温度系数大,但在室温时其霍尔常数较大。砷化镓的霍尔常数较小,温度系数也较小,输出特性线性度好。

根据式(1-1),如果改变 K_H 或者*i*,或者两者同时改变,就可以改变 U_H 值。运用这一特性,可以把被测参数转换为电压量的变化,如利用 K_H 变化引起霍尔电动势 U_H 变化检测不同材质,同样也可以应用于检测磁性物体的接近程度。

2. 霍尔元件

霍尔元件是根据霍尔效应,用半导体材料制成的元件,一般具有对磁场敏感、结构简单、输出电压变化较大及寿命长等优点。其可分为线性霍尔元件和开关型霍尔元件两种。线性霍尔传感器由霍尔元件、线性放大器和射极跟随器组成,输出为模拟量;开关型霍尔传感器由稳压器、霍尔元件、差分放大器和施密特触发器等组成,输出为开关量。据此,只要设定磁场位置,就可以检测位移、速度、压力、压差和加速度等参量。

霍尔元件的结构简单,由霍尔片、四根引线和壳体组成,其结构示意如图1-3(a)所示。在电路中,霍尔元件一般可用两种符号表示,如图1-3(b)所示。霍尔片是一块矩形半导体单晶薄片,引出四根引线:1、1'两根引线加激励电压或电流,称为激励电极(或控制电极);2、2'引线为霍尔输出引线,称为霍尔电极。霍尔元件的壳体是用非导磁金属、陶瓷或环氧树脂封装的。

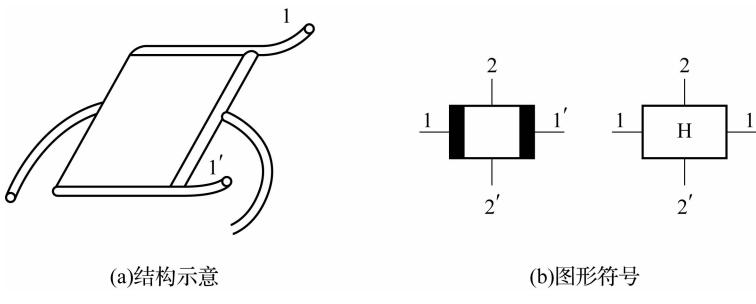


图 1-3 霍尔元件

通常,霍尔电动势的转换效率比较低,为了获得更大的霍尔电动势输出,可以将若干个霍尔元件串联起来使用。而在霍尔元件输出信号不够大的情况下,可以采用运算放大器对霍尔电动势进行放大,如图1-4所示。当然,最好还是采用集成霍尔传感器。

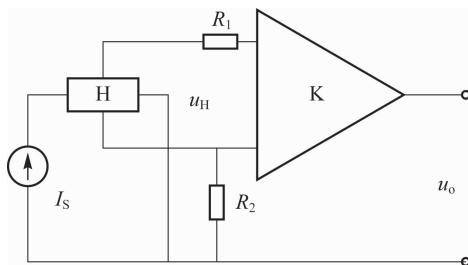


图 1-4 霍尔电动势的放大

如图 1-5 所示为一种微型的霍尔集成传感器，正面为敏感面，导线由金属薄片制成，各个金属薄片上均附有半导体结晶片（通常为硅芯片），而在结晶片中利用集成电路技术形成霍尔组件及信号处理电路。为防止整个组件性能的劣化，通常利用树脂加以封闭；为了方便施加磁场，其厚度也尽量减薄。

这种霍尔元件可置于传感模块中，实现各种无接触传感器功能。只要磁感应强度与霍尔元件正面的夹角小于 90° ，当磁场接近霍尔元件时，磁场信号转换成电气信号。此信号经在同一元件中的信号处理电路放大后，取出信号电压。需要注意的是，由于半导体材料的温度特性有较大的非线性，如果需要较高精度的检测，可采用差动检测法，选用两个霍尔元件串联使用的结晶片作为传感器。

3. 霍尔元件的性能参数

1) 额定激励电流

使霍尔元件温升 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 时所施加的激励电流称为额定激励电流。以元件允许最大温升为限制所对应的激励电流称为最大允许激励电流。因霍尔电动势随激励电流增加而线性增加，所以使用中希望选用尽可能大的激励电流以获得较高的霍尔电动势输出。但是由于受到最大允许温升的限制，可以通过改善霍尔元件的散热条件，使激励电流增加。

2) 灵敏度 K_H

霍尔元件在单位磁感应强度和单位激励电流作用下的空载霍尔电动势值，称为霍尔元件的灵敏度（即霍尔常数）。

3) 输入电阻和输出电阻

霍尔元件激励电极间的电阻值称为输入电阻。霍尔电极输出电动势对电路外部来说相当于一个电压源，其电源内阻即为输出电阻。以上电阻值是在磁感应强度为零，且环境温度在 $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ 时所确定的。

4) 不等位电动势

当磁感应强度为零，霍尔元件的激励电流为额定值时，则其输出的霍尔电动势应该为零，但实际不为零，用直流电位差计可以测得空载霍尔电动势，这时测得的空载霍尔电动势称为不等位电动势。

产生不等位电动势的主要原因如下。

(1) 霍尔电极安装位置不对称或不在同一等电位面上。



图 1-5 霍尔元件





(2) 半导体材料不均匀造成了电阻率不均匀或是几何尺寸不均匀。

(3) 激励电极接触不良造成激励电流不均匀分布等。

5) 寄生直流电动势

在外加磁场为零、霍尔元件用交流激励时,霍尔电极输出除了交流不等位电动势外,还有一直流电动势,称为寄生直流电动势。

产生寄生直流电动势的原因如下。

(1) 激励电极与霍尔电极接触不良,形成非欧姆接触,造成整流效果。

(2) 两个霍尔电极大小不对称,则两个电极点的热容不同,散热状态不同而形成极间温差电动势。

寄生直流电动势一般在 1 mV 以下,它是影响霍尔片温漂的原因之一。

6) 霍尔电动势温度系数

在一定磁感应强度和激励电流下,温度每变化 1 ℃时,霍尔电动势变化的百分率称为霍尔电动势温度系数。它同时也是霍尔常数的温度系数,与霍尔元件的材料有关,一般约为 0.1 %/℃。

4. 霍尔开关

霍尔开关是在霍尔效应原理的基础上,利用集成封装和组装工艺制作而成的,可把磁输入信号转换成实际应用中的电信号,同时具备工业场合实际应用易操作和可靠性的要求。霍尔开关的输入端是以磁感应强度 B 来表征的,当磁感应强度达到一定值后,霍尔开关内部的触发器翻转,霍尔开关的输出电平状态也随之翻转。霍尔开关的外形如图 1-6 所示,当有磁性物体或者电磁场与图 1-6 中左下方的敏感端接近至一定距离时,信号灯亮,输出电平发生翻转。

霍尔开关输出端采用晶体管输出,主要类型有 NPN 型、PNP 型、常开型、常闭型、锁存型(双极性)和双信号输出型等。NPN 型与 PNP 型传感器的接线方式如图 1-7 所示,有三条引出线,即电源线 V_{cc} 、0 V 线和 OUT 信号输出线(标识黑的引出端口)。以常用的 NPN 型接近开关为例,一般有 NO 型和 NC 型两种。对于 NPN-NO 型,在没有信号触发时,输出线是悬空的,就是 V_{cc} 电源线和 OUT 线断开;有信号触发时,发出与 V_{cc} 电源线相同的电压,也就是 OUT 线和 V_{cc} 电源线连接,输出高电平 V_{cc} 。对于 NPN-NC 型,在没有信号触发时,发出与 V_{cc} 电源线相同的电压,也就是 OUT 线和 V_{cc} 电源线连接,输出高电平 V_{cc} 。当有信号触发后,输出线是悬空的,就是 V_{cc} 电源线和 OUT 线断开。



图 1-6 霍尔开关

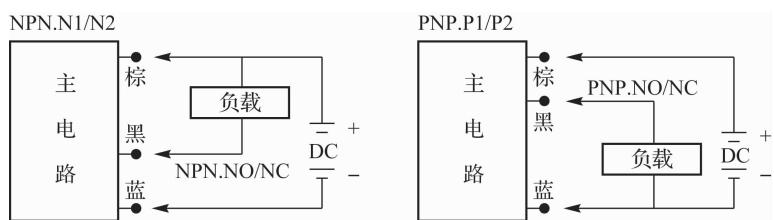


图 1-7 NPN 型和 PNP 型传感器的接线方式

霍尔开关具有无触点、低功耗、使用寿命长、响应频率高等特点,内部采用环氧树脂封装为一体化元器件,所以能在各类恶劣环境下可靠地工作。霍尔开关可应用于接近开关和里



程表等仪器中。

5. 霍尔传感器的应用

1) 霍尔式位移传感器

霍尔元件具有结构简单、体积小、动态特性好和寿命长的优点,它不仅用于磁感应强度、有功功率及电能参数的测量,也在位移测量中得到广泛应用。

如图 1-8 所示为一些霍尔式位移传感器的工作原理。如图 1-8(a)所示为磁感应强度相同的两块永久磁铁,同极性相对地放置,霍尔元件处在两块磁铁的中间。由于磁铁中间的磁感应强度 $B=0$,因此霍尔元件输出的霍尔电动势 U_H 也等于零,此时位移 $\Delta x=0$ 。若霍尔元件在两磁铁中产生相对位移,霍尔元件感受到的磁感应强度也随之改变,这时 U_H 不为零,其量值大小反映出霍尔元件与磁铁之间相对位置的变化量。这种结构的传感器,其动态范围可达 5 mm,分辨率为 0.001 mm。

图 1-8(b)所示的是一种结构简单的霍尔位移传感器,是由一块永久磁铁组成磁路的传感器,在霍尔元件处于初始位置 $\Delta x=0$ 时,霍尔电动势 U_H 不等于零。

图 1-8(c)所示的是一个由两个结构相同的磁路组成的霍尔式位移传感器,为了获得较好的线性分布,在磁极端面装有极靴,霍尔元件调整好初始位置时,可以使霍尔电动势 $U_H=0$ 。

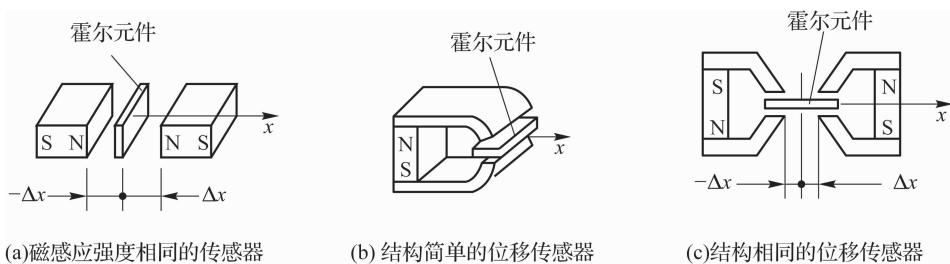


图 1-8 霍尔式位移传感器的工作原理图

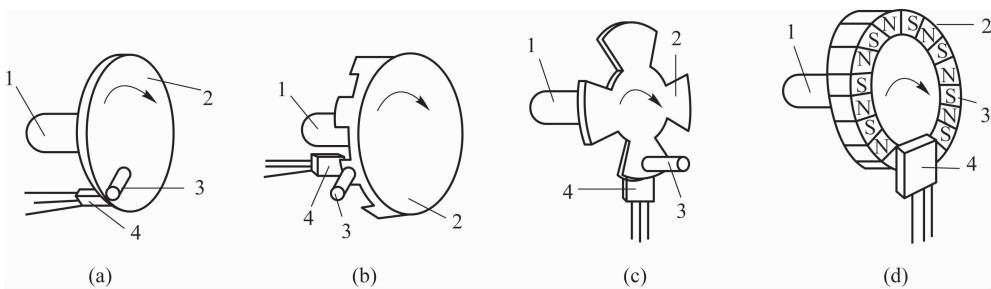
这种传感器灵敏度很高,但它所能检测的位移量较小,适合于微位移量及振动的测量。

2) 霍尔式转速传感器

图 1-9 所示的是几种霍尔式转速传感器的结构。转盘的输入轴与被测转轴相连,当被测转轴转动时,转盘随之转动,固定在转盘附近的霍尔传感器在每一个小磁铁通过时产生一个相应的脉冲,检测出单位时间的脉冲数,便可知被测转速。根据磁性转盘上小磁铁的数目就可确定传感器测量转速的分辨率。



动画
霍尔转速计



1—输入轴; 2—转盘; 3—小磁铁; 4—霍尔传感器。

图 1-9 几种霍尔式转速传感器的结构





3) 霍尔计数装置

霍尔集成元件是将霍尔元件、放大器等集成在一块芯片上。它由霍尔元件、放大器、电压调整电路、电流放大输出电路、失调调整及线性度调整电路等几部分组成,有三端T形单端输出和八脚双列直插型双端输出两种结构。它的特点是输出电压在一定范围内与磁感应强度呈线性关系。霍尔开关传感器SL3501是具有较高灵敏度的集成霍尔元件,能感受到很小的磁场变化,因而可对黑色金属零件进行计数检测。如图1-10所示的是对钢球进行计数的工作示意图和电路图。当钢球通过霍尔开关传感器时,传感器可输出峰值20 mV的脉冲电压,该电压经运算放大器(μ A741)放大后,驱动半导体三极管VT(2N5812)工作,输出端便可接计数器进行计数,并由显示器显示检测数值。

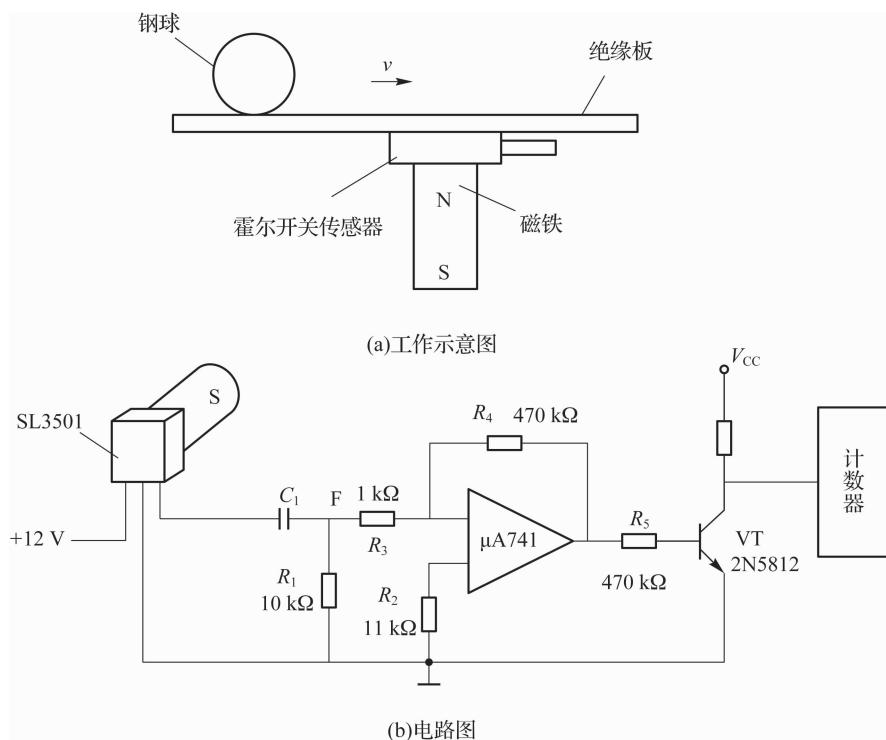


图 1-10 霍尔计数装置

二、光电效应型接近开关

光电效应开关属于光电式传感器的一种。光电式传感器就是将光信号转换成电信号的一种器件,简称光电器件。要将光信号转换成电信号,必须经过两个步骤:一是先将非电量的变化转换成光量的变化;二是通过光电器件的作用,将光量的变化转换成电量的变化。这样就实现了将非电量的变化转换成电量的变化。

光电效应型接近开关是利用光电效应原理将光学量转换为电量的一种检测控制器件,是利用被检测物对光束的遮挡或反射,由光敏元件控制电路通断,从而检测物体有无。被检测物体不限于金属,所有能反射光线的物体均可被检测。但是光电效应型接近开关对于环境的依赖性较强,在不良光学环境下容易产生错误信号。



动画
光电式传感器
工作原理



1. 光电效应

光照射到某些物质上,引起物质的电性质发生变化,这类光致电变的现象统称为光电效应,如图 1-11 所示。更确切地讲,光电效应是指金属表面在光辐射作用下发射电子的效应,发射出来的电子称为光电子。光电效应分为光电子发射、光电导效应和光生伏打效应三种。第一种现象发生在物体表面,称为外光电效应;后两种现象发生在物体内部,称为内光电效应。光电现象是 1887 年赫兹在试验研究麦克斯韦电磁理论时偶然发现的。1888 年,德国物理学家霍尔瓦克斯证实光电效应是由于在放电间隙内有电荷出现的缘故。

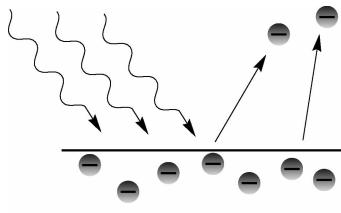


图 1-11 光电效应

光电效应在现代物理学发展中具有极为重要的意义,爱因斯坦通过研究光的电动力学而获得诺贝尔物理学奖。

光电效应制作的器件称为光电器件,也称光敏器件。光电器件的种类很多,但其工作原理都是建立在光电效应这一物理效应基础上的。光电器件的种类主要有光电管、光电倍增管、光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、光电耦合器件等。

2. 光电管

光电管的典型结构如图 1-12 所示。它由玻璃壳、两个电极(光电阴极 K 和阳极 A)、引出插脚等组成。光电管将球形玻璃壳抽成真空,在内半球面上涂上一层光电材料作为阴极 K,球心放置小球形或小环形金属作为阳极 A。阴极 K 受到光线照射时便发射电子,电子被带正电位的阳极 A 吸引,朝向阳极 A 方向移动,这样就在光电管内产生了电子流,从而在外电路中产生了电流。

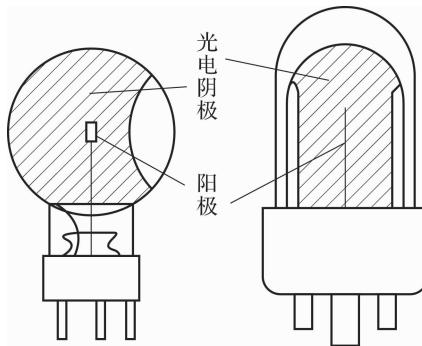


图 1-12 光电管的典型结构

光电管分为真空光电管和充气光电管两种。充气光电管的结构与真空光电管的结构基本相同,所不同的是充气光电管球内充了低压惰性气体。当光电极被光线照射时,光电子在飞向阳极的过程中与气体分子碰撞而使气体电离,从而使阳极电流急速增加,因此增加了光电管的灵敏度。





光电管的伏安特性曲线是指当光通量一定时,阳极电流与阳极电压之间的关系曲线。如图 1-13 所示为真空光电管的伏安特性曲线,如图 1-14 所示为充气光电管的伏安特性曲线。通过观察这两种伏安特性曲线,在阳极电压的一段范围内,阳极电流不随阳极电压的变化而变化,达到了比较稳定的饱和区。这就是光电管的工作静态点。选择光电管的工作参数点时,就应选在光电流与阳极电压无关的区域内。

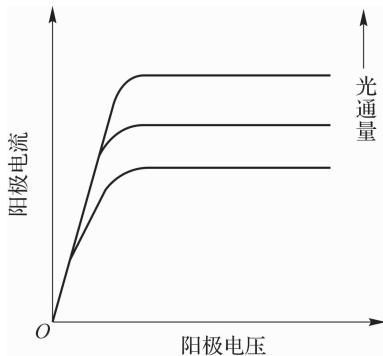


图 1-13 真空光电管的伏安特性曲线

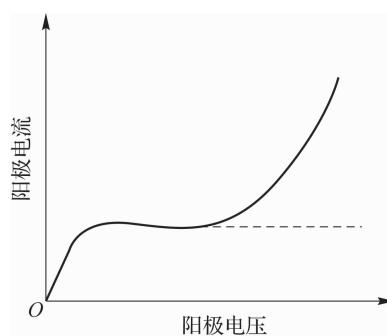


图 1-14 充气光电管的伏安特性曲线

两种光电管相比,充气光电管的优点是灵敏度较高,但是灵敏度随电压变化的稳定性,以及频率特性比真空光电管差。总体而言,光电管的缺点是灵敏度低、体积大、易破损,适用于对比较强的光信号的检测,使用时要注意防震动等事项。

3. 光电倍增管

光电倍增管是一种常用的灵敏度很高的光探测器,它是把微弱光信号转变成电信号且进行放大的器件。光电倍增管的典型结构和工作原理如图 1-15 所示。光电倍增管主要由光阴极 K、阳极 A、倍增极 D₁、D₂、…、D_n、引出插脚等组成,并根据要求采用不同性能的玻璃壳进行真空封装。依据封装方法,可分成端窗式和侧窗式两大类。端窗式光电倍增管的阴极通常为透射式阴极,通过管壳的端面接收入射光,如图 1-15(a)所示。侧窗式阴极则是通过管壳的侧面接收入射光,它的阴极通常为反射式阴极,其工作原理如图 1-15(b)所示。

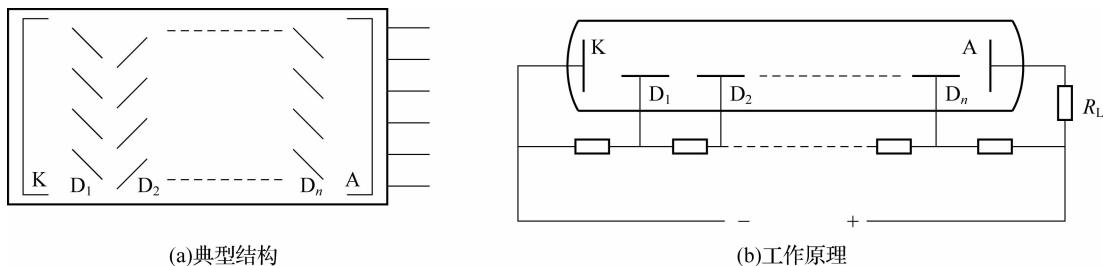


图 1-15 光电倍增管的典型结构和工作原理

光阴极通常由逸出功较小的锑铯或钠钾锑铯的薄膜组成。光阴极接负高压,各倍增极的加速电压由直流高压电源经分压电阻分压供给。灵敏检流计或负载电阻接在阳极 A 处,当有光子入射到光阴极 K 上时,只要光子的能量大于光阴极材料的脱出功,就会有电子从阴极的表面逸出而成为光电子。在 K 和 D₁之间的电场的作用下,光电子被加速后轰击第一级倍增极 D₁,从而使 D₁产生二次电子发射。每一个电子的轰击约可产生 3~5 个二次电子,



这样就实现了电子数目的放大。 D_1 产生的二次电子被 D_2 和 D_1 之间的电场加速后轰击,这样的过程一直持续到最后一级倍增极 D_n ,每经过一级倍增极,电子数目便被放大一次。倍增极的数目有8~13个,最后一级倍增极 D_n 发射的二次电子被阳极A收集,其电子数目可达光阴极K发射光电子数的 10^6 倍以上。这使光电倍增管的灵敏度比普通光电管要高得多,可用来检测微弱光信号。光电倍增管高灵敏度和低噪声的特点,使它在红外、可见和紫外波段是检测微弱光信号最灵敏的器件之一,被广泛应用于微弱光信号的测量、核物理及频谱分析等方面。

若将灵敏检流计串接在阳极回路中,则可直接测量阳极输出电流。若在阳极串接电阻 R_L 作为负载,则可测量 R_L 两端的电压,此电压正比于阳极电流。

光电倍增管的测量原理如图1-16所示。标准光源发出的光经过聚光系统被聚焦在单色仪的入射狭缝 S_1 上,通过单色仪的色散作用,在其出射狭缝处可以获得单色光。此单色光功率被光电倍增管所接收放大后,在阳极A上产生相应的电信号,可以由数字电压表直接读出。调整单色仪的色散系统(鼓轮),可以改变单色仪输出光的波长,就可以得到光电倍增管在不同波长的光照射下产生的阳极电信号。

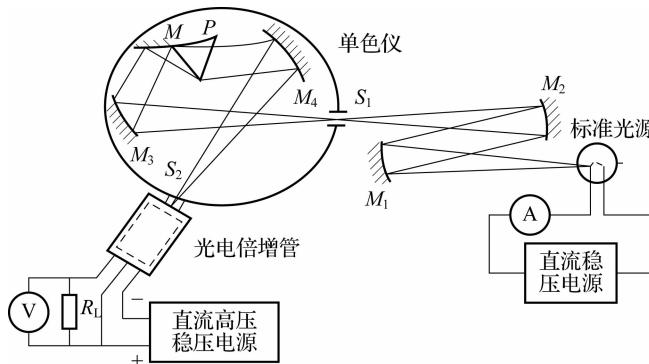


图1-16 光电倍增管的测量原理

4. 光敏电阻

光敏电阻是一种基于光电效应制成的光电器件。光敏电阻没有极性,相当于一个电阻器件。光敏电阻的测量原理如图1-17所示。在光敏电阻的两端加直流或交流工作电压的条件下,当无光照射时,光敏电阻电阻率变大,从而使光敏电阻值 R_G 很大,在电路中电流很小;当有光照射时,由于光敏材料吸收了光能,光敏电阻率变小,光敏电阻 R_G 呈低阻状态,在电路中电流很大。光照越强,阻值越小,电流越大。当光照停止时,光敏电阻 R_G 又逐渐恢复高电阻状态,电路中只有微弱的电流。光敏电阻的外形与结构如图1-18所示,由一块两边带有金属电极的光电半导体组成,电极和半导体之间组成欧姆接触。

由于半导体吸收光子而产生的光电效应,仅仅照射在光敏电阻表面层,因此光电导体一般都做成薄层。

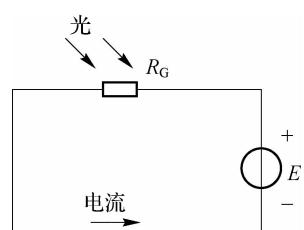
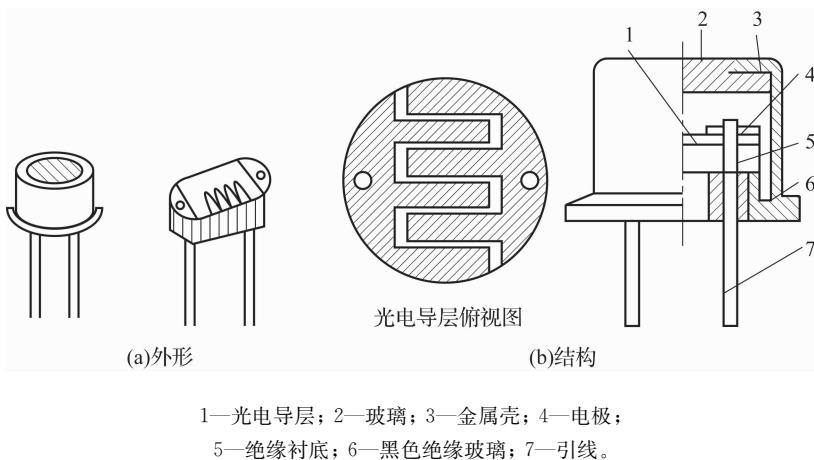


图1-17 光敏电阻的测量原理



动画
光敏电阻





1—光电导层；2—玻璃；3—金属壳；4—电极；
5—绝缘衬底；6—黑色绝缘玻璃；7—引线。

图 1-18 光敏电阻的外形与结构

光敏电阻具有灵敏度高,可靠性好以及光谱特性好,精度高、体积小、性能稳定、价格低廉等特点。因此,广泛应用于光探测和光自控领域,如照相机、验钞机、石英钟、音乐杯、礼品盒、迷你小夜灯、光声控开关、路灯自动开关以及各种光控动物玩具,光控灯饰灯具等方面。

5. 光敏二极管和光敏三极管

光敏二极管和光敏三极管是电子电路中广泛采用的光敏器件。光敏二极管具有单向导电性质,某些材料经过处理后对光线敏感。当光线照射时,二极管处于导通状态,否则其电阻值极大,接近于断路状态。

光敏二极管的结构与一般的二极管相似,其 PN 结对光敏感。将其 PN 结装在管的顶部,上面有一个透镜制成的窗口,以便使光线集中在 PN 结上。光敏二极管是基于半导体光生伏特效应原理制成的光电器件。光敏二极管的结构和工作原理如图 1-19 所示。光敏二极管工作时外加反向电压,在没有光照射时,反向电阻很大,反向电流很小,此时光敏二极管处于截止状态。当有光照射时,在 PN 结附近产生光生电子和空穴对,从而形成由 N 区指向 P 区的光生电流,此时光敏二极管处于导通状态。当入射光的强度发生变化时,光生电子和空穴对的浓度也相应发生变化,因而通过光敏二极管的电流也随之发生变化,光敏二极管就实现了将光信号转变为电信号的输出。在家用电器、照相机中,光敏二极管用来做自动测光器件。

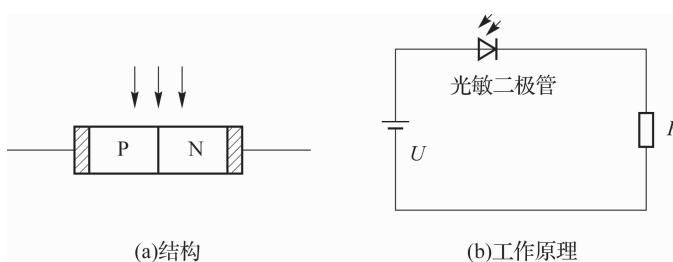


图 1-19 光敏二极管的结构和工作原理

光敏二极管是在反向电压作用下工作的,没有光照时,反向电流极其微弱,称为暗电流;有光照时,反向电流迅速增大到几十微安,称为光电流。光的强度越大,反向电流也越大。



光敏二极管的外形如图 1-20 所示。

光敏三极管有 NPN 型和 PNP 型两种,是一种相当于在基极和集电极之间接有光敏二极管的普通晶体三极管,外形与光敏二极管相似。光敏三极管的结构和工作原理如图 1-21 所示,其具有两个 PN 结。当光照射在基极-集电结上时,会在集电结附近产生光生电子-空穴对,从而形成基极光电流。集电极电流是基极光电流的 β 倍。这一过程与普通三极管放大基极电流的作用很相似。光敏三极管放大了基极光电流,它的灵敏度比光敏二极管高出许多。采用三极管形式可将工作电流增加至几十毫安。

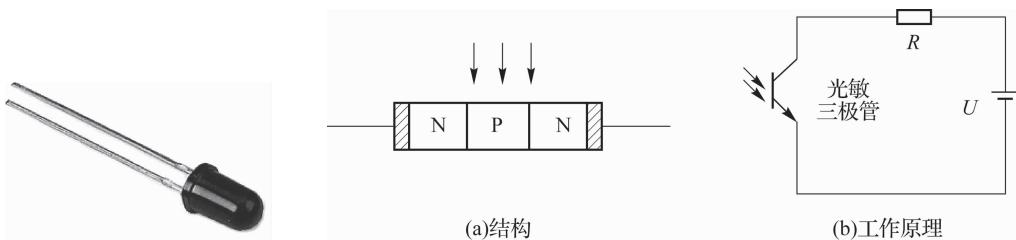


图 1-20 光敏二极管的外形

图 1-21 光敏三极管的工作原理和结构

光敏二极管和光敏三极管可用于光线有无的检测,也可利用光的稳定性,采用电—光—电的转换形式,增加信号采集的稳定性,这种器件一般称为光电耦合器件。光电耦合器件的用途很广,除作为传感器以外,还可作为信号传输器件,如在制造工业中由于采用大功率器件较多造成电力不稳定,对检测系统会产生较大的影响,还有可能损坏检测器件,而采用光电耦合器件进行中间信号传递,可避免强电电路对一般弱电信号的干扰作用。

6. 光电耦合器

光电耦合器是由发光元件(如发光二极管)和光电接收元件合并使用,以光作为媒介传递信号的光电器件。光电耦合器中的发光元件通常是半导体的发光二极管,光电接收元件有光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管或光敏复合管等。根据其结构和用途不同,光电耦合器又可分为用于实现电隔离的光电耦合器和用于检测有无物体的光电开关。

光电耦合器的发光和接收元件都封装在一个外壳内,一般有金属封装和塑料封装两种。光电耦合器常见的组合形式如图 1-22 所示。

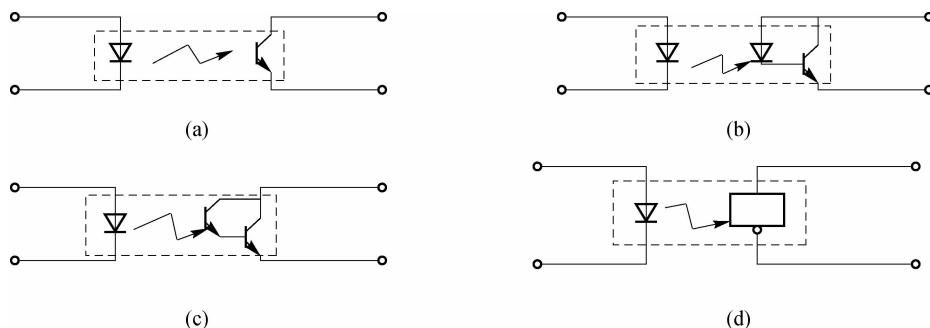


图 1-22 光电耦合器常见的组合形式





图 1-22(a)所示的形式结构简单,成本较低,且输出电流较大,可达 100 mA,响应时间为 3~4 μ s。图 1-22(b)所示的形式结构简单,成本较低,响应时间快,约为 1 μ s,但输出电流小,在 50~300 μ A。图 1-22(c)所示的形式传输效率高,但只适用于较低频率的装置中。图 1-22(d)所示的是一种高速、高传输效率的新颖形式。对图中所示无论何种形式,为保证其有较佳的灵敏度,都考虑了发光与接收波长的匹配。

光电耦合器实际上是一个电量隔离转换器,它具有抗干扰性能和单向信号传输功能,广泛应用于电路隔离、电平转换、噪声抑制、无触点开关及固态继电器等场合。

7. 光电开关

光电开关(光电传感器)是光电接近开关的简称,它是利用被检测物对光束的遮挡或反射,由同步回路选通电路,从而检测物体有无的。物体不限于金属,所有能反射光线的物体均可被检测。光电开关将输入电流在发射器上转换为光信号射出,接收器再根据接收到的光线的强弱或有无对目标物体进行探测。



图 1-23 光电开关的外形

同霍尔型开关一样,光电开关使用电压一般在 6~36 V,也有 PNP 和 NPN 等种类的输出装置,图 1-23 所示为光电开关的外形。需要说明的是,光电开关对材料要求不高,原理上只要能反射光,即可使用光电开关作为传感器。但光电开关对环境要求较高,如环境有粉尘、飞溅物体等,有可能使光电开关产生信号,影响传感的正确性。因此,在一些要求可靠性比较高的场合,需要根据环境情况斟酌使用光电开关。

用光电开关检测物体时,大部分只要求其输出信号有高、低电平(1、0)之分即可。图 1-24 所示为光电开关的基本电路。图 1-24(a)、图 1-24(b)表示负载为 CMOS 比较器等高输入阻抗电路时的情况,图 1-24(c)表示用晶体管放大光电流的情况。

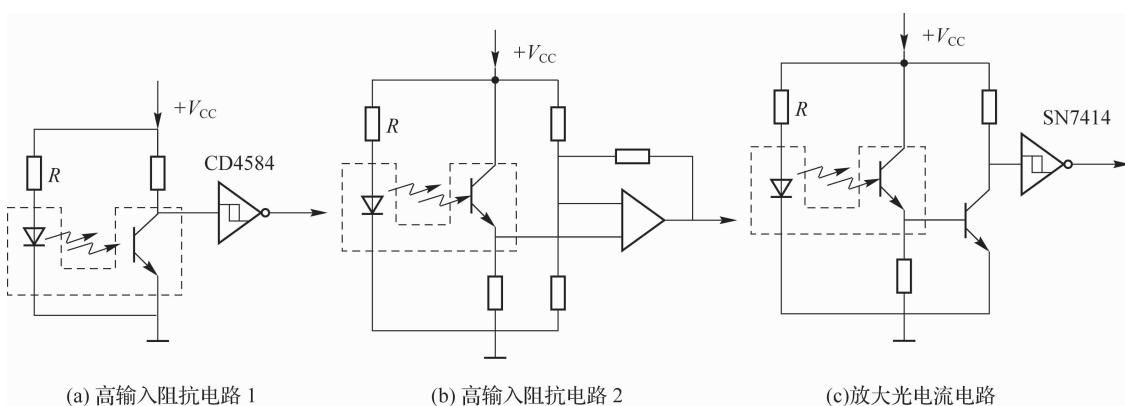


图 1-24 光电开关的基本电路

无论哪一种电路都可以直接接入如 PLC 或者数据采集装置的输入端接口,直接作为控制前端使用,这种设计在工业应用中非常广泛,不管是如前所述的霍尔型接近开关还是后面的其他类型的接近开关,均有类似的使用方法。这种统一的使用方法使得接近开关易用性增强,成为工业中应用最普遍的传感器,并且由于原理简单,维修更换方便,其也成为最易懂的传感器。



三、感应型接近开关

置于变化磁场中的块状金属导体或在磁场中做切割磁力线运动的块状金属导体，则在此块状金属导体内会产生旋涡状的感应电流的现象称为电涡流效应，该旋涡状的感应电流称为电涡流，简称涡流。

感应式传感器也称为涡流式传感器，由振荡器、开关电路及放大输出电路三部分组成。振荡器产生一个交变磁场，当金属目标接近这一磁场，并达到感应距离时，在金属目标内产生涡流，涡流反作用于接近开关，使接近开关振荡能力衰减，内部电路的电磁感应参数发生变化，由此识别出有无金属物体接近，进而控制开关的通断。

如图 1-25 所示，将一个通以正弦交变电流 I_1 ，频率为 f 的扁平线圈置于金属导体附近，则线圈周围空间将产生一个正弦交变磁场 H_1 ，使金属导体中感应电涡流 I_2 ， I_2 又产生一个与 H_1 方向相反的交变磁场 H_2 。根据楞次定律， H_2 的反作用必然削弱线圈的磁场 H_1 。由于磁场 H_2 的作用，涡流要消耗一部分能量，导致传感器线圈的等效阻抗发生变化。线圈阻抗的变化取决于被测金属导体的电涡流效应。而电涡流效应既与被测体的电阻率、磁导率及几何形状有关，还与线圈的几何参数、线圈中激磁电流频率 f 有关，同时与线圈与导体间的距离有关。

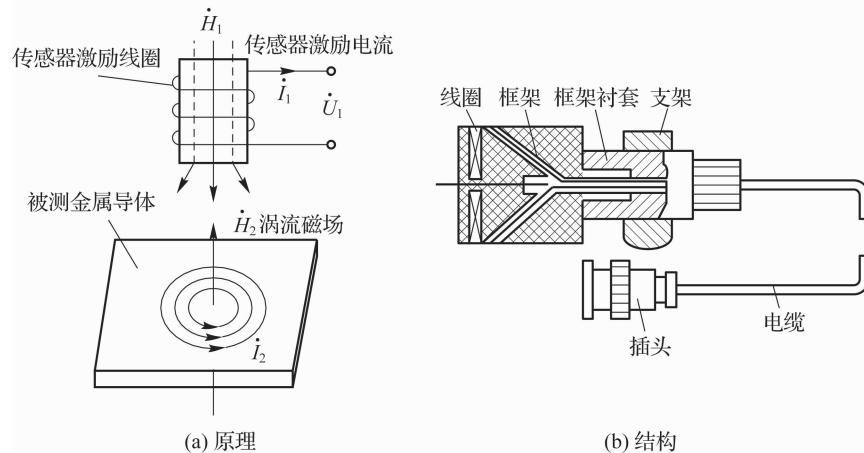


图 1-25 感应型接近开关的原理与结构

这种接近开关所能检测的物体必须是铁磁性金属物体。振荡器振荡及停振的变化被后级放大电路处理并转换成开关信号，触发驱动控制器件，从而达到非接触式的检测目的。所以，这种接近开关所能检测的物体必须是导体。

感应型接近开关的外形与其他种类的接近开关相似。

实训一 接近开关的特性检测

一、实训目标

探索和熟悉接近开关的性能特征，包括检测敏感距离和回程误差，了解光电型接近开关的一般使用方法，掌握普通三线制接近开关的接线规则。





二、实训内容

以三线制 NPN 型光电常开型接近开关为实训认识对象,如图 1-26 所示,图中方框为接近开关,方框中左边符号为接近开关敏感元件符号,右边为接近开关输出状态。图中为常开型接近开关,即当传感器敏感面没有信号时,负载处为断开状态,否则为接通状态。

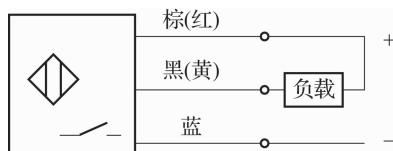


图 1-26 NPN 型光电常开型接近开关

接近开关接 24 V 直流电源,电源正极连接于图 1-26 中的“+”极符号,电源负极连接于“-”极符号,正负极符号对应的接线为棕色和蓝色电缆线,黑色电缆线为信号线,与正极共同构成了输出信号。一般接近开关的标示铭文均有类似于图 1-26 的使用方法和电路,使用时需要仔细阅读。

按照图 1-26 连接 24 V 直流电源进行接线,在信号线和电源正极(若为其他形式的传感器,按铭文图例为准)之间的负载处连接万用表的电压挡。按照图 1-27 所示的结构装配接近开关和被检测物体,在一个滑台上设置固定的接近开关支架,被检测物体安放在滑台上的滑块上。需要说明的是,被检测物体和接近开关周围需要一定的空间,以使得检测信号能够反映被测量的真实状态。



图 1-27 检测装置

检测时,使被检测物体逐渐靠近接近开关,同时观察万用表中电压的变化,在出现很大变化时,即为开关信号输出,使用游标卡尺记录反应距离 δ ,如图 1-27(a)所示。再使得被检测物体逐渐离开接近开关,同时观察电表中电压的变化,在出现很大变化时,同样记录 δ 。这两个 δ 值之差反映了回程误差的大小。

第二个需要检测的特性是接近 δ 值的稳定性,即接近信号在不同检测状态下的均匀程度。具体方法是将滑台从远处移动至传感开关近处,当电压表中电压发生很大变化时,记录 δ ,然后将滑台移至远处,重复以上过程,记录对比 8~10 次的 δ 值,并分别计算其方差,此值的稳定性即反映了接近开关的重复精度。