



机电工程类专业“互联网+”创新型精品教材

传感器应用技术

主 编 李建萍 陈 晓 化雪荟

传感器应用技术

主 编 李建萍 陈 晓 化雪荟

北京出版集团
北京出版社

北京出版集团
北京出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

传感器应用技术 / 李建萍, 陈骁, 化雪荟主编. —
北京: 北京出版社, 2024.6
ISBN 978-7-200-18458-7
I. ①传… II. ①李… ②陈… ③化… III. ①传感器
IV. ① TP212
中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2024) 第 029658 号

传感器应用技术

CHUANGANQI YINGYONG JISHU

主 编: 李建萍 陈 骁 化雪荟
出 版: 北京出版集团
北 京 出 版 社
地 址: 北京北三环中路 6 号
邮 编: 100120
网 址: www.bph.com.cn
总 发 行: 北京出版集团
经 销: 新华书店
印 刷: 定州启航印刷有限公司
版 印 次: 2024 年 6 月第 1 版 2024 年 6 月第 1 次印刷
成品尺寸: 185 毫米 × 260 毫米
印 张: 12
字 数: 270 千字
书 号: ISBN 978-7-200-18458-7
定 价: 39.80 元

教材意见建议接收方式: 010-58572341 邮箱: jiaocai@bphg.com.cn
如有印装质量问题, 由本社负责调换
质量监督电话: 010-82685218 010-58572341 010-58572393

目 录

项目一 初识传感器 1

任务一 传感器的认知	2
任务二 测量误差与分析处理	16
实训 根据误差挑选仪器	23

项目二 温度传感器 27

任务一 认识温度传感器	28
任务二 常见的温度传感器	32
任务三 温度传感器的应用	45
实训 简易孵化恒温控制器的设计与制作	48

项目三 湿度传感器 53

任务一 认识湿度传感器	54
任务二 常见的湿度传感器	56
任务三 湿度传感器的应用	60
实训 制作简易下雨报警器	63

项目四 力敏传感器 67

任务一 认识力敏传感器	68
任务二 常见力敏传感器及应用	72
实训 组装实用电子秤测量电路	84

项目五 光敏传感器 89

任务一 认识光敏传感器	90
任务二 常见光敏传感器及应用	98
实训 简易光控制器的制作	105

项目六 气敏传感器 109

任务一 认识气敏传感器	110
任务二 常见气敏传感器及应用	114
实训 简易酒精测试器的安装与调试	118

项目七 磁敏传感器 122

任务一 认识磁敏传感器	123
任务二 常见磁敏传感器及应用	129
实训 利用干簧管接近开关检测磁性物体	142

项目八 超声波传感器 146

任务一 认识超声波传感器	147
任务二 超声波传感器的转换电路	152
任务三 超声波传感器的应用	156
实训 用超声波传感器检测液位或者透明物体的位移	160

项目九 无线传感器网络 163

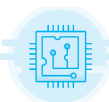
任务一 认识无线传感器网络	164
任务二 典型无线通信技术	169
任务三 无线传感器网络的应用领域	174
实训 基于 Wi-Fi 的无线控制系统调试与应用	178

参考文献 182

项目一

初识传感器

人们在生产、生活中，往往需凭借各种感觉器官去获取外界的信息，以此决定做什么。人的感觉器官——眼、耳、鼻、舌、皮肤分别具有视、听、嗅、味、触觉，这些器官能帮助人们获取各种信息。而机器在代替人的劳动时，也需要获取同样的信息。那么机器靠什么来获取这样的信息呢？就是利用传感器。为此，人们研发出各种传感器。例如，光敏传感器、图像传感器相当于机器的眼睛；声音传感器、压电传感器相当于机器的耳朵；气敏传感器相当于机器的鼻子；振动传感器、温度传感器、压力传感器相当于机器的皮肤……不仅如此，随着传感器技术的不断发展，有些人类感官无法直接获取的信息，传感器也能精确地获取，使机器完成人类无法完成的工作，为人们的生活和社会的进步带来前所未有的发展前景。本项目主要介绍传感器的相关概念，测量误差的相关定义及分析处理方法和传感器的选用原则。



任务一

传感器的认知



任务描述

传感器的英文为 sensor，它能将感受到的外界信息按照一定的规律转换成所需的有用信息，其作用类似于人类的五官，所以常常被人们形象地称为“电五官”。传感器为什么具有如此神奇的功能？传感器在现代生活中又有哪些应用？本任务将带领同学们进入“万能”的传感器世界。



任务目标

1. 能掌握传感器的定义、作用、组成、分类及基本特性。
2. 能认识常用传感器。
3. 会区分不同种类传感器的功能。
4. 守正创新，培养学生科技强国的信念。



任务实施

一、传感器的定义与作用

（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”。

这一定义包含以下几方面含义。

- （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，便于传输、转换、处理、显示等，可以是气、光、电物理量，主要是电信号。
- （4）输出和输入存在对应关系，且应有一定的精确程度。

美国仪表协会（Instrument Society of America, ISA）给传感器下的定义是：“传感器是把被测量变换为有用信号的一种装置。它包括敏感元件、变换电路以及把这些元件和电路组合在一起的机构。”

由于传感器所检测的信号种类繁多，为对各种各样的信号进行检测和控制，就必须获得尽量简单且易于处理的信号，能够满足这些要求的信号唯有电信号，电信号能够比

较容易地进行放大、反馈、滤波、微分、存储、远距离操作等。因此，传感器又可以狭义地定义为将外界的输入信号变换为电信号的一类器件。传感器有时又称为变换器、换能器和探测器等。

（二）传感器的作用

日常生活中，人们通过感觉器官接收外界信息，经过大脑的思维，做出相应的动作。在工业生产和自动化检测与控制系统中，通常由传感器取代人的感觉器官，用计算机取代人的大脑对传感器感知、变换来的信号进行处理，并控制执行机构对外界对象实现自动化控制。人与机器系统的对比如图 1-1 所示。

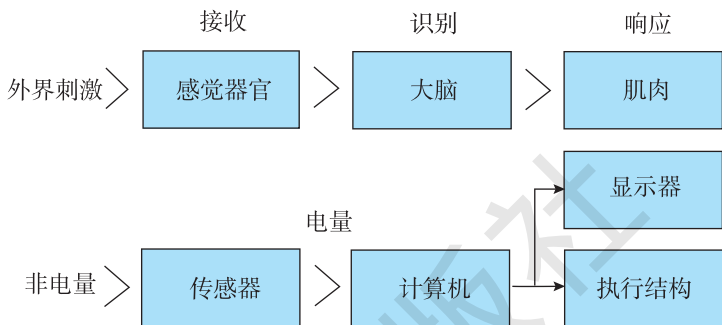


图 1-1 人与机器系统的对比

由此可见，传感器是获取自然领域中信息的主要途径与手段。同时，传感器获取的很多信息是人类自身无法获取的。比如，在基础科学、自然科学等领域的研究中，对于宇宙的认识，仅仅依靠肉眼是不可能有所突破的，诸如月球探索的月球车（图 1-2）和研究火山的火山机器人等。



图 1-2 “望舒之聲”载人月球车概念图



小贴士

2023年11月，中国载人航天工程办公室公布了载人月球车研制方案征集初选结果，由清华大学牵头的研制方案“望舒之辇”成功入选。

月球车以秦始皇帝陵出土的铜车马关键元素为灵感来源，采用一对大尺度车轮突出“辇”的特征，并覆盖圆形穹窿华盖，赋予其名为“望舒之辇”。

月球车，学名“月面巡视探测器”，是一种能够在月球表面行驶并完成月球探测、考察、收集和分析样品等复杂任务的专用车辆。世界上有200多个国家和地区，但目前仅有苏联、美国和中国这三国家成功实现了月球车在月球表面的降落和行走。

中国的探月工程名为“嫦娥”，月球车名为“玉兔”，火星车名为“祝融”，载人空间站天宫的中继通信卫星叫作“鹊桥”，卫星定位系统名为“北斗”，运载火箭称为“长征”，太阳监测计划称为“夸父”，全球低轨卫星叫作“鸿雁”，暗物质探测器名为“悟空”，量子卫星叫作“墨子”，太空望远镜则被称为“巡天”。月球车初步方案“望舒之辇”延续以往，将中华文明和传统文化融入载人月球车的设计中。

“望舒”一词出自屈原《楚辞·离骚》中的“前望舒使先驱兮，后飞廉使奔属”。此次为载人月球车取“望舒”之名，展示了设计者想将中华文明和传统文化融入现代科技之中的巧思，以独一无二的雅称来让世界记住中国。

“辇”是中国古代交通工具，大多时候是指古代用人拉的车，还可以指代古代权贵的车子。

《史记·货殖传》记载：“卓氏见虏略，独夫妻推辇，行诣迁处。”这里的辇是指靠人拉的车。杜甫《哀江头》诗写道：“昭阳殿里第一人，同辇随君侍君侧。”这里的“辇”，则是指代皇帝专用车。

载人月球车被称为“辇”，从外形就更为贴合，最关键的特征就是明显的大尺度车轮设计，这表明了它“辇”的身份。

春秋时期，淳于髡在《玉度记》中这样记载：“天子驾六，诸侯驾五，卿驾四，大夫三，士二，庶人一。”中国古代通过拉车的马匹数量来区分不同阶级地位，所谓“天子驾六”，就是指皇帝所乘坐的马车有六匹马拉载。

“望舒之辇”的六个独立驱动的车轮，正代表拉车的六匹马。设计者独具匠心，为中国航天员打造了独有的“车驾”，以中国的传统礼仪的最高规格给予了航天员崇高的礼遇。

二、传感器的组成与分类

（一）传感器的组成

按照传感器的定义，传感器实际上是一种功能模块，其作用是将来自外界的各种信号转换成电信号，实现非电量与电量的转换。传感器主要由敏感元件、转换元件和基本转换电路组成，如图 1-3 所示。

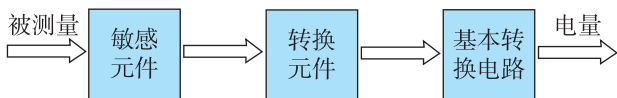


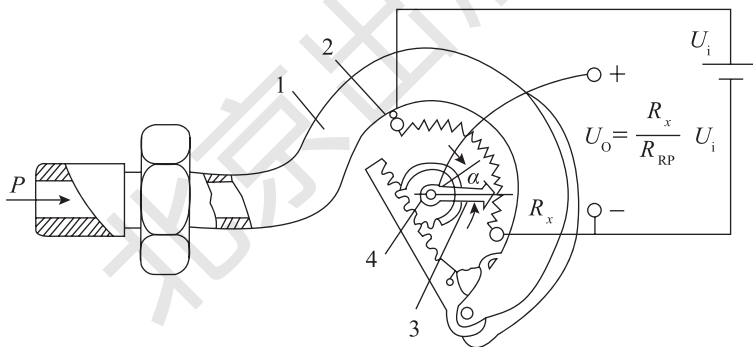
图 1-3 传感器的组成示意图

（1）敏感元件作为传感器的核心部件，直接感受被测量，如水的温度、氧气的浓度等，并输出与被测量成确定关系的物理量，通常是非电量，如位移、应变等。

（2）转换元件把敏感元件的输出作为它的输入，转换成电路参量，如电容、电阻变化等。

（3）上述电路参量接入基本转换电路，便可转换成电量输出，如电压值、电流值等。

如图 1-4 所示，以电位式压力传感器为例，其主要由弹簧管、电位器、电刷、传动机构组成，外接电源与电位器组成分压比电路。



1—弹簧管；2—电位器；3—电刷；4—传动机构

图 1-4 电位式压力传感器及结构

当被测压力 P 增大时，弹簧管撑直，通过传动机构中的齿条带动齿轮转动，从而带动电位器的电刷产生角位移，电位器电阻的变化量反映了被测压力的变化。在这个传感器中，弹簧管是敏感元件，直接接触被测压力，并将其转换为角位移；电位器是转换元件，将角位移转换为电参量，此处是电阻的变化；当电位器的两端加上电源后，电位器就组成了分压比电路，输出量为与压力呈一定关系的电压。整个信息转换过程如图 1-5 所示。

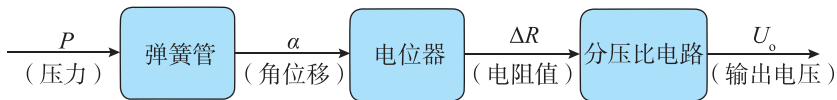


图 1-5 电位式压力传感器信息转换过程



（二）传感器的分类

传感器的分类方法多种多样,可按被测量、功能原理、敏感材料、加工工艺、传感对象、应用领域等进行分类。同时,传感器的种类繁多,同一种被测量,可以用不同原理的传感器来测量;而基于同一种传感器原理或同一类技术,又可以制作多种被测量传感器。

1. 按被测量分类

按被测量分类是一种常见的传感器分类方法,可将传感器分为物理量传感器、化学量传感器、生物量传感器三大类。一般情况下,按具体的被测量分类,主要有位移、压力、力、速度、温度、流量、气体、离子等传感器,如表 1-1 所示。我国现行国家标准也是按被测量对传感器进行分类,这种分类方法无论从使用者选用角度,还是从产品水平评价角度都便于统一标准。

表 1-1 传感器按被测量的分类

传感器	物理量传感器	机械量传感器 (按组分)	压力传感器	差压传感器
				绝压传感器
				微压传感器
				表压传感器
				负压(真空)传感器
			力传感器	荷重传感器
				力矩传感器
				张力传感器
			速度传感器	速度传感器
				线速传感器
				角速度传感器
			加速度传感器	角加速度传感器
				加速度传感器
				振动加速度传感器
				冲击加速度传感器
			流量传感器	质量流量传感器
				容积流量传感器
			位移传感器	线位移传感器
				角位移传感器
			位置传感器	物位传感器
				姿态传感器
			尺寸传感器	角度传感器
				面积传感器
				厚度传感器
				烧蚀厚度传感器
				表面粗糙度传感器
			浊度传感器	
			密度传感器	
			黏度传感器	
			硬度传感器	

续表

传感器	物理量传感器	热学量传感器	温度传感器
			热流传感器
			热导率传感器
		光学量传感器	可见光传感器
			红外传感器
			色标传感器
			图像传感器
			激光传感器
		磁学量传感器	磁场强度传感器
			磁通密度传感器
		电学量传感器	电流传感器
			电压传感器
			电场传感器
		声学量传感器	超声波传感器
			声压传感器
			噪声传感器
			表面声波传感器
		核辐射传感器	X射线传感器
			β 射线传感器
			γ 射线传感器
			辐射剂量传感器
化学量传感器	离子传感器	pH传感器	
		成分传感器	
		离子活度传感器	
	气体传感器	气体分压传感器	
		气体浓度传感器	
	湿度传感器	湿度传感器	
		水分传感器	
露点传感器			
生物量传感器	生化量传感器		
	生理量传感器		

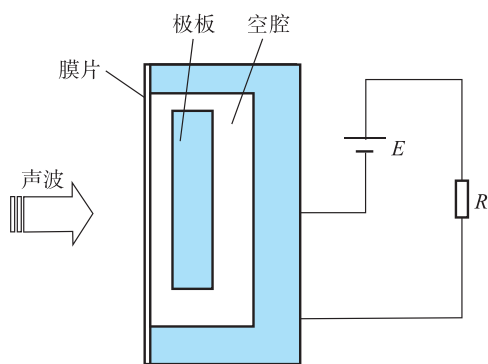
2. 按功能原理分类

常见的按功能原理进行传感器分类的方法，包括按工作机理分类、按能量种类分类、按有无电源供电分类、按对检测对象是否激励分类和按信号处理的形式或功能分类五种。

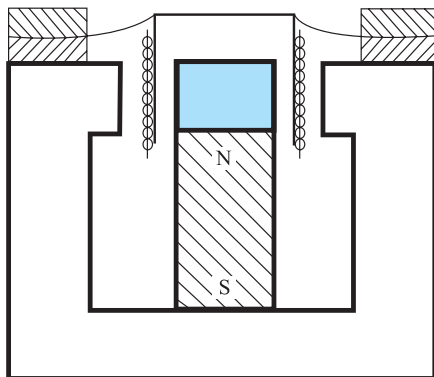
(1) 传感器按工作机理可分为结构型(空间型)和物性型(材料型)两大类，如图 1-6 所示。结构型传感器依靠传感器结构参数的变化实现信号变换，从而检测出被测量。物性型传感器则利用某些材料本身的物性变化来实现被测量的变换，主要是以半导体、电介质、磁性体等作为敏感材料的固态器件。结构型传感器可按能源种类再分为机械式、磁电式、电热式等传感器类型。物性型传感器可按其物性效应再分为压阻式、压电式、



压磁式、磁电式、热电式、光电式、电化学式等传感器类型。



(a) 声传感器（结构型）



(b) 磁电式传感器（物性型）

图 1-6 结构型和物性型传感器

(2) 传感器按能量种类可分为机械量传感器、电学量传感器、热学量传感器、光学量传感器、声学量传感器和磁学量传感器。

(3) 按有无电源供电可分为无源传感器和有源传感器。

(4) 按对检测对象是否激励可分为主动传感器和被动传感器。

(5) 按信号处理的形式或功能又可分为集成传感器、智能传感器和网络化传感器。

3. 按敏感材料分类

按所使用的敏感材料，传感器可分为陶瓷传感器、半导体传感器、高分子材料或电子聚合物传感器、金属材料传感器、光纤传感器、复合材料传感器等。

4. 按加工工艺分类

按加工工艺，传感器可分为厚薄膜传感器、MEMS 传感器和纳米传感器等。

5. 按传感对象分类

按传感对象，传感器可分为图像传感器、心电传感器、呼吸传感器、脉搏传感器、烟雾传感器、气体传感器、水质传感器、血糖传感器和轮胎传感器等。

6. 按应用领域分类

按应用领域，传感器可分为汽车传感器、机器人传感器、家电传感器、环境传感器、气象传感器和海洋传感器等。

三、传感器的基本特性

（一）静态特性

传感器的静态特性是指对静态的输入信号，传感器的输出量与输入量之间所具有的相互关系。由于此时输入量和输出量都和时间无关，它们之间的关系即传感器的静态特性，可用一个不含时间变量的代数方程表示，或以输入量作横坐标，把与其对应的输出

量作纵坐标而画出的特性曲线来描述。表征传感器静态特性的主要参数有：线性度、灵敏度、重复性和迟滞等。

1. 线性度

线性度是传感器输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离直线的程度，也称非线性误差，如图 1-7 所示。

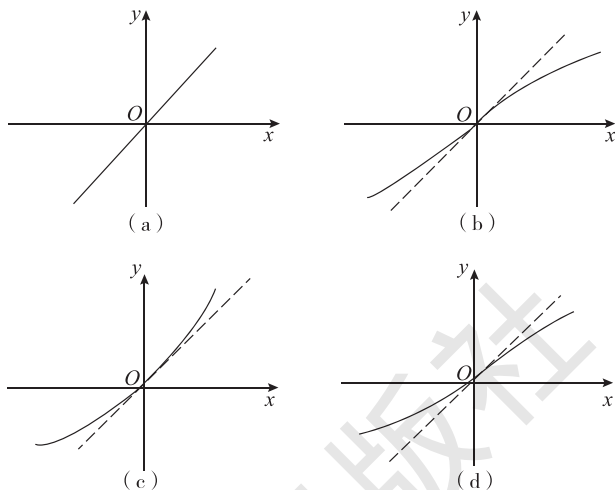


图 1-7 传感器的线性度

由图可见，除图 1-7(a) 为理想特性外，其他都存在非线性。从传感器的性能看，希望具有线性关系，即具有理想的输出/输入关系。然而如果传感器非线性的方次不高，输入量变化范围较小时，那么可用一条直线（切线或割线）近似地代表实际曲线的一部分，使传感器输出/输入特性线性化。所采用的直线称为拟合直线。图 1-8 是常用的几种直线拟合方法。

2. 灵敏度

灵敏度是传感器在稳态下输出增量与输入增量的比值。对于线性传感器，其灵敏度就是它的静态特性的斜率，如图 1-9(a) 所示，其灵敏度为

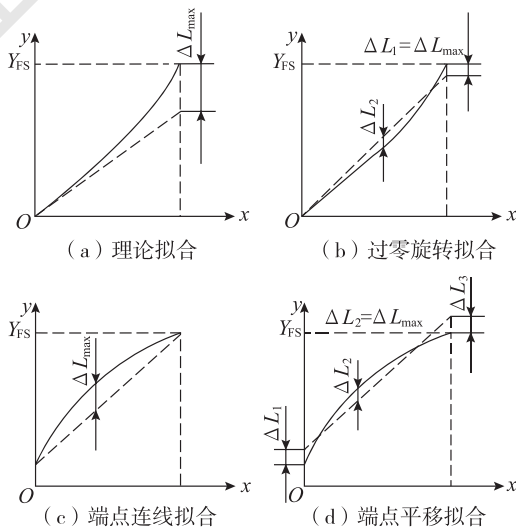


图 1-8 常用的几种直线拟合方法

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



非线性传感器的灵敏度是一个随工作点而变的变量,如图 1-9 (b) 所示,其灵敏度为

$$S = \frac{dy}{dx} = \frac{df(x)}{dx} \quad (1-2)$$

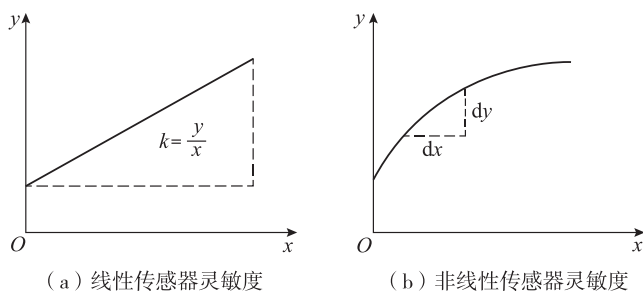


图 1-9 传感器的灵敏度

3. 重复性

重复性是传感器在输入量按同一方向做全量程多次测试时,所得特性曲线不一致性的程度,如图 1-10 所示。

传感器输出特性的不重复性主要由传感器机械部分的磨损、间隙、松动,部件的内摩擦、积尘,电路元件老化、工作点漂移等原因造成。

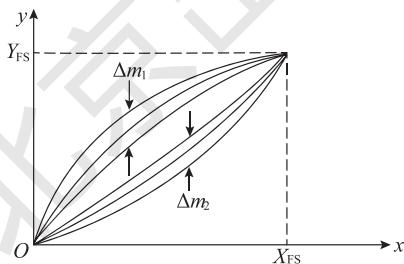


图 1-10 传感器的重复性

4. 迟滞

迟滞是传感器在正向行程(输入量增大)和反向行程(输入量减小)期间,输出/输入特性曲线不一致的程度,如图 1-11 所示。在行程环中同一输入量 x_i 对应的不同输出量 y_i 和 y_d 的差值称为滞环误差,最大滞环误差与满量程输出值的比值称为最大滞环率 $E_{\max}$,即

$$E_{\max} = \frac{\Delta m}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

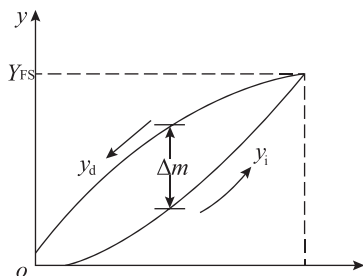


图 1-11 传感器的迟滞

5. 分辨力

传感器的分辨力是在规定测量范围内所能检测的输入量的最小变化量。有时也用该值相对满量程输入值的百分数表示。

6. 稳定性

稳定性有短期稳定性和长期稳定性之分。传感器常用长期稳定性，是指在室温条件下，经过相当长的时间间隔，如一天、一月或一年，传感器的输出与起始标定时的输出之间的差异。通常又用其不稳定度来表征稳定程度。

7. 漂移

传感器的漂移是指在外界的干扰下，输出量发生与输入量无关的不需要的变化。漂移包括零点漂移和灵敏度漂移等。零点漂移和灵敏度漂移又可分为时间漂移和温度漂移。时间漂移是指在规定的条件下，零点或灵敏度随时间的缓慢变化。温度漂移为环境温度变化而引起的零点或灵敏度的变化。

（二）动态特性

所谓动态特性，是指传感器在输入变化时，其输出特性。在实际工作中，传感器的动态特性常借助其对某些标准输入信号的响应来体现。这是因为传感器对标准输入信号的响应能够通过实验方法获得，并且它对标准输入信号的响应与对任意输入信号的响应之间存在一定的关系，通常了解了前者就能推定后者。最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号两种，所以传感器的动态特性也常用阶跃响应和频率响应来表示。

四、传感器的发展历程与发展趋势

（一）传感器的发展历程

传感器作为人类认识和感知世界的一种工具，其发展历史相当漫长，可谓伴随着人类文明的进程而发展起来的。传感器技术的发展程度影响并决定着人类认识世界的程度与能力。随着科学的进步和社会的发展，传感器技术在国民经济和人们的日常生活中占有越来越重要的地位。人们对传感器的种类、性能等方面的要求越来越高，这也进一步促进了传感器技术的快速发展。目前，许多国家都把传感器技术

传感器的发展
历程



列为重点发展的关键技术之一。

总体来说，传感器技术的发展大体经历了三代。

第一代是结构型传感器，它利用结构参数的变化来感受和转化信号。例如，电阻应变式传感器是利用金属材料发生弹性形变时电阻的变化来转化电信号的。

第二代传感器是 20 世纪 70 年代开始发展起来的固体传感器，由半导体、电介质、磁性材料等固体元件构成，利用材料的某些特性制成。例如，利用热电效应、霍尔效应、光敏效应可分别制成热电偶传感器、霍尔传感器、光敏传感器等。20 世纪 70 年代后期，随着集成技术、分子合成技术、微电子技术及计算机技术的发展，出现了集成传感器。集成传感器中所谓的集成，包括两层含义：传感器本身的集成化和传感器与后续电路的集成化。集成传感器主要具有成本低、可靠性高、性能优良、接口灵活等特点。集成传感器的发展非常迅速，正向着低价格、多功能和系列化的方向发展。

第三代传感器是 20 世纪 80 年代发展起来的智能传感器。所谓智能传感器是指其对外界信息具有一定的检测、自诊断、数据处理以及自适应能力，是微型计算机技术与检测技术相结合的产物。20 世纪 80 年代的智能化测量主要以微处理器为核心，把传感器信号调节电路、微型计算机、存储器及接口集成到一块芯片上，使传感器具有一定的人工智能。20 世纪 90 年代的智能化测量技术有了进一步的提高，使传感器具有了自诊断功能、记忆功能、多参量测量功能以及联网通信功能等。



数说传感器的发展史

最早的震动传感器——地震仪，发明于公元 132 年。

1593 年，伽利略发明了气体温度计。

1821 年，德国物理学家赛贝克将温度转换为电信号，成为后来的热电偶。

1876 年，德国西门子发明了铂热电阻。

20 世纪 30 年代，传感器的研究开始起步。

20 世纪 80 年代，日本将传感器技术列为优先发展的十大技术之首。

美国学术界认为，20 世纪 80 年代是传感器的时代。

我国传感器发展起步较晚，从 1986 年“七五”时期开始才将传感器技术列入国家重点攻关项目。

近几十年来，与传感器技术、科学仪器密切相关的诺贝尔奖获得者近 40 人。

“没有传感器就没有现代科学技术”的观点已为全世界所公认。

（二）传感器的发展趋势

根据对国内外传感器技术研究现状的分析，可以从以下四个方面概括现代传感器技

术的发展趋向。

1. 利用新材料开发新型传感器

材料是传感器技术的重要基础和前提,是传感器技术升级的重要支撑,因而传感器技术的发展必然要求加大新材料的研制力度。随着光导纤维、纳米材料、超导材料的相继出现,人工智能材料给人们带来了福音,它具有能够感知环境条件变化的功能、识别和判断功能、发出指令和自动采取行动功能,利用这样具有新效应的敏感功能材料使研制具有新原理的新型传感器成为可能。随着科学技术的不断进步,势必还将有更多的新型材料诞生。

2. 开发集成化、多功能、智能化的传感器

集成化是指传感器同一功能的多元件并列,以及功能上的一体化。多元件并列集成化使传感器的检测参数实现“点、线、面、体”多维图像化,甚至能加上时序控制等软件,变单参数检测为多参数检测;功能上的一体化集成化使传感器由单一的信号转换功能,扩展到兼有放大、运算、补偿等多功能。在实际运用中,常做到硬件与软件两方面的集成,包括传感器阵列的集成、多功能和多传感参数的复合传感器;传感系统硬件的集成;硬件与软件的集成;数据集成与融合等。

多功能是指“一器多能”,即一个传感器可以检测两个或两个以上的参数,这样可大大节省工程成本,同时降低项目复杂度,提高工作效率。运用集成化、多功能理论研究出来的传感器可以应用到更广泛的领域,并发挥出更加强大的功能效用。利用集成化、多功能原理以及现代传感技术,已制成带温度补偿的压力传感器、频率输出型集成压力传感器、霍尔集成传感器、半导体集成色敏传感器和多功能集成气敏传感器等。

在智能化传感技术方面,以微处理器为核心单元,具有检测、判断和信息处理等功能。硬件上由微处理器系统对传感器电路、接口信号转换进行处理调整;软件上进行非线性特性校正、误差的自动校准和数字滤波处理,从而构成传感技术的智能化系统。

3. 实现传感技术硬件系统与元器件的微小型化

利用集成电路微型化的经验,从传感技术硬件系统的微小型化中提高其可靠性、质量、处理速度和生产率,降低成本,节约资源与能源,减少对环境的污染。这种充分利用已有微细加工技术与装置的做法已经取得巨大的效益,极大地增强了市场竞争力。

4. 通过传感器与其他交叉学科的交叉整合,推动无线传感器网络的发展

无线传感器网络是由大量具有无线通信与计算机能力的微小传感器节点构成的自组织分布式网络系统,利用微传感器与微机械、通信自动控制、人工智能等多学科的综合技术,实现传感器的无线网络化,使其能根据环境自主完成指定任务。

五、传感器的应用

随着科学技术的进步与发展,传感器的应用已经深入工业生产、科技应用以及人们生活中的各个方面。



（一）传感器在工业领域的应用

传感器在工业领域的应用非常广泛，是当今科技产业新技术革命和信息社会的重要技术基础，也是当今世界极其重要的高科技之一，几乎所有现代化仪器、设备都离不开传感器。在工业的各种新型技术领域，常见的传感器有以下几种。

（1）应变式传感器。主要基于应变效应、压阻效应原理而工作。其典型的应用包括力传感器、重量传感器、加速度传感器等。

（2）电感式传感器。利用电磁感应（自感、互感）原理工作，主要应用于测量位移、振幅、转速和无损探伤等。

（3）电容式传感器。将非电量转换为电容量，其核心部分是可变参数的电容器。它是一种把被测的机械量，如位移、压力等转换为电容量变化的传感器。

（4）压电式传感器。基于压电效应原理而工作，其核心部件是压电材料，主要用于测量力或能变换为力参数的非电物理量。

（5）磁电式传感器。利用电磁感应工作，适用于动态测量，如霍尔传感器。

（6）热电式传感器。基于热电效应的原理工作，利用温度的变化来进行测量，一般用于温度测量、管道流量测量等。

（7）光电式传感器。基于光电效应原理而工作，将光电信号转换成电信号输出，以测量位移、速度、温度等，如 CCD 固体图像传感器、光纤传感器等。

（8）红外传感器。利用红外辐射工作，如被动式人体移动检测仪、红外测温仪、红外线气体分析仪等。

（9）微波传感器。利用反射原理与吸附效应，常见的有微波液位计、辐射计、物位计、微波温度传感器、无损探测仪、多普勒传感器等。

（10）超声波传感器。利用压电效应、磁致伸缩效应，用于测量物位、流量、厚度、探伤等。

（11）数字式传感器。利用光栅原理、光电效应，常用于机床定位、长度和角度的计量仪器。



微创手术机器人

（二）传感器在机器人中的应用

机器人之所以具备类似于人类的视觉功能、运动协调和触觉反馈，能对工作对象进行检测或在恶劣环境中工作，主要是因为装备了触觉传感器、视觉传感器、力觉传感器、光敏传感器、超声波传感器和声学传感器等。传感器为机器人提供更为详细的外界环境信息，进而促使机器人对外界环境变化做出实时、准确、灵活的行为响应。

根据传感器在机器人中应用的不同可分为机器人内部检测传感器和机器人外部探测传感器。

（1）机器人内部检测传感器。机器人内部检测传感器主要是用于检测机器人自身的工作状态（如调整前进速度）的传感器，多为检测速度和角度的传感器。

（2）机器人外部探测传感器。机器人外部探测传感器是检测机器人外部工作环境及工作状况的传感器，主要包括视觉传感器、力觉传感器、触觉传感器、声学传感器等。

其中,视觉传感器是机器人中非常重要的传感器之一。视觉一般包括图像获取、图像处理 and 图像理解三个过程。

超声波传感器作为其中的一种视觉传感器,主要用于实时地检测自身所处空间的位置,以进行自定位;实时检测障碍物,为行动决策提供依据;检测目标姿态以及进行简单形体的识别;用于导航目标跟踪等。

力觉传感器就机器人安装部位来讲,可以分为关节力传感器、腕力传感器和指力传感器。关节力传感器安装在关节驱动器上,用于控制中的力反馈;腕力传感器安装在末端执行器和机器人最后一个关节之间;指力传感器安装在机器人手爪指关节(或手指)上。

触觉传感器作为视觉的补充,能够感知目标物体的表面性能和物理特性,即柔软性、硬度、弹性、粗糙度和导热性等。一般认为,触觉包括接触觉、压觉、滑觉三种。

(三) 传感器在可穿戴智能设备中的应用

智能可穿戴设备是未来传感器应用的主要领域之一。智能可穿戴设备中传感器的应用主要包括以下几个方面。

1. 生物型传感器

生物型传感器包括血糖传感器、血压传感器、心电传感器、体温传感器、脑电波传感器、肌电传感器等。此类传感器主要用于医疗电子设备中,如智能血压计,利用生物传感器采集的人体信号,经过信号处理来完成健康预警和病情的监控功能。借助这些医疗智能设备,医生可以提高诊断水平,家属也可以与患者更好地进行沟通。

2. 运动型传感器

运动型传感器包括陀螺仪、加速度计、压力传感器和磁力计,主要运用在手环等设备中,它们的主要功能是在智能设备中完成运动监测、导航和人机交互。通过运动型传感器随时随地记录和分析人体活动情况,用户就可以知道自己跑步的步数、骑车的距离、睡眠的时间和能量的消耗。

3. 环境传感器

环境传感器包括温湿度传感器、紫外线传感器、颗粒物传感器、气体传感器、pH 传感器、气压传感器等,可用于 PM2.5 便携式检测仪、Air Waves 口罩、便携式个人综合环境监测终端等设备,通过测试环境数据完成环境监测、天气预报和健康提醒。

(四) 传感器在(无人驾驶)汽车中的应用

汽车的电子化和智能化离不开各种传感器的应用。在普通的汽车上一般都安装有几十至几百只不同功能的传感器。

例如,在汽车发动机控制系统中,分别安装有温度传感器、压力传感器、冷却水传感器、燃油温度传感器、机油温度传感器、转速传感器、车速传感器、氧传感器、流量传感器等。

在底盘控制系统中,分别安装有变速器控制传感器、动力转向系统传感器、防抱制动系统传感器、悬架系统控制传感器等。



近几年,随着科学技术的不断进步与发展,智能化辅助驾驶和无人驾驶技术实现重大突破,对传感器技术的应用也相应提出了更高的要求。传感器是环境感知硬件,在无人驾驶各阶段都不可或缺。在智能化辅助驾驶和无人驾驶汽车中应用的传感器除常规汽车用传感器外,还需要配置摄像头、毫米波雷达、激光雷达以及红外传感器等重要传感器。

(五) 传感器在物联网中的应用

物联网就是物物相连的互联网,是新一代信息技术的重要组成部分,也是“信息化”时代的重要发展阶段。物联网通过智能感知、识别技术与普适计算等通信感知技术,广泛应用于网络的融合中,因此也被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。



物联网 (the internet of things, 简称 IoT) 的定义: 通过射频识别 (RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按照约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。

物联网的架构分为感知层、网络层和应用层三层。其中,感知层由各种传感器构成,包括各种类型的传感器、二维码标签、RFID 标签和读写器、摄像头、GPS 等感知终端;感知层是物联网识别物体、采集信息的来源。

物联网的关键技术有传感器技术、RFID 标签、嵌入式系统。用传感器将被测参量检取出来,并把传感器的输出模拟信号转换成数字信号 (或数字式传感器输出的数字信号),才能被计算机识别与处理。

任务二

测量误差与分析处理



任务描述

去商店买衣服,要知道尺码;大棚种植,要监测温湿度;飞行员驾驶飞机,要时刻监视各种监测仪表……在日常生活和工农业生产中,处处离不开测量。测量是人们认识自然、改造自然的一种不可或缺的手段。在任何测量过程中,无论采用多么完善的测量仪器和测量方法,误差的存在都是绝对的,而误差的大小则是相对的。本任务我们将学习测量误差与分析处理及传感器的选用。

任务目标

1. 能进行测量误差的分析及处理。
2. 会根据被测量对象的特点和传感器的使用条件选择合适的传感器。
3. 体验实践出真知的道理，培养学生实验精神和创新思维。

任务实施

一、测量误差及表达方法

测量是指人们借助专门的设备——测量装置，通过合适的实验方法，把被测对象直接或间接地与同类已知单位的标准量进行比较，所得结果就是测量值。测量结果可用一定的数值表示，也可以用一条曲线或某种图形表示。但无论其表现形式如何，测量结果应包括测量值和测量单位两部分。确切地讲，测量结果还应包括误差部分。

（一）测量误差

在一定条件下，被测物理量客观存在的实际值称为真值。真值是一个理想状态下的值，一般来说，是无法精确得到的。在实际测量时，由于实验方法和实验设备的不完善、周围环境的影响以及人们认知能力的限制等因素，使得测量值与真值之间不可避免地存在着差异。

测量值与真值之间的差值称为测量误差。

（二）测量误差的表示方法

测量误差的表示方法主要有绝对误差、相对误差、引用误差和基本误差四种。

1. 绝对误差

绝对误差是指测量值与真值之间的差值，它反映了测量值偏离真值的绝对数值，即

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-4)$$

式中， Δx 表示绝对误差； x 为被测量实际值； x_0 为被测量真值。

由于真值的不可知性，在实际应用时，常用被测量多次测量的平均值或上一级标准仪器测得的示值作为实际真值。绝对误差 Δx 可以为正值，也可以为负值。

例 1-1 用米尺测量一物体的长度，测量数据如表 1-2 所示，求每次测量的绝对误差，并填入表中。

表 1-2 某物体长度测量值

(单位: cm)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值
测量值	12.05	11.94	12.05	11.90	12.04	11.90	12.11	12.00	12.00
绝对误差									



解：取多次测量的平均值为被测量的真值， $x_0=12.00\text{cm}$

则第1次测量的绝对误差为 $\Delta x_1=12.05\text{ cm}-12.00\text{ cm}=0.05\text{ cm}$

第2次测量的绝对误差为 $\Delta x_2=11.94\text{ cm}-12.00\text{ cm}=-0.06\text{ cm}$

第3次测量的绝对误差为 $\Delta x_3=12.05\text{ cm}-12.00\text{ cm}=0.05\text{ cm}$

第4次测量的绝对误差为 $\Delta x_4=11.90\text{ cm}-12.00\text{ cm}=-0.10\text{ cm}$

第5次测量的绝对误差为 $\Delta x_5=12.04\text{ cm}-12.00\text{ cm}=0.04\text{ cm}$

第6次测量的绝对误差为 $\Delta x_6=11.90\text{ cm}-12.00\text{ cm}=-0.10\text{ cm}$

第7次测量的绝对误差为 $\Delta x_7=12.11\text{ cm}-12.00\text{ cm}=0.11\text{ cm}$

第8次测量的绝对误差为 $\Delta x_8=12.00\text{ cm}-12.00\text{ cm}=0.00\text{ cm}$

绝对误差可以评定相同被测量的测量精度的高低，如第1次和第3次的测量精度一样，第7次的测量精度则较低。但对于不同被测量或不同物理量来说，采用绝对误差来评定就不合适了，需采用新的评定方法。

2. 相对误差

绝对误差不能确切反映测量的准确度，只能说明测量结果偏离真值的数值，而相对误差则能反映测量值偏离真值的程度。

相对误差是指绝对误差与被测量真值之比，用 γ_A 表示。

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

相对误差越小，精度越高；相对误差越大，精度越低。

例 1-2 用一种方法（或手段）测量某一长度 $L=200\text{ mm}$ 的物体，其测量绝对误差为 $\pm 9\text{ }\mu\text{m}$ ，用另一种方法（或手段）测量某一长度 $L=80\text{ mm}$ 的物体，其测量绝对误差为 $\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ，试比较两种测量方法的准确度。

解：第一种测量方法（或手段）的相对误差为

$$\gamma_{A1} = \frac{\Delta x_1}{x_{01}} \times 100\% = \pm \frac{9\text{ }\mu\text{m}}{200\text{ mm}} \times 100\% = \pm 0.0045\%$$

第二种测量方法（或手段）的相对误差为

$$\gamma_{A2} = \frac{\Delta x_2}{x_{02}} \times 100\% = \pm \frac{5\text{ }\mu\text{m}}{80\text{ mm}} \times 100\% = \pm 0.00625\%$$

由此可知，第一种测量方法精度较高，第二种较低。

3. 引用误差

在使用仪器仪表测量的过程中，由于仪器本身精度不同，测量误差也有一定的差别。引用误差用来表示仪器仪表示值的相对误差。

引用误差是指仪器仪表某一刻度点的示值误差（绝对误差）与仪表满量程之比，即

$$\gamma_m = \frac{|\Delta x|}{x_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, x_m 表示仪表满量程或量程上限; $|\Delta x|$ 表示示值误差即刻度点的绝对误差; γ_m 表示引用误差, 也称为满度相对误差。

例 1-3 拉力表的测量范围上限为 29 500 N, 在标定示值为 25 400 N 处的实际作用力为 25 300 N。此拉力表在该刻度点的引用误差是多少?

解:
$$\gamma_m = \frac{|\Delta x|}{x_m} \times 100\% = \frac{25\,400 - 25\,300}{29\,500} \times 100\% = 0.34\%$$

因此, 该拉力表在此刻度点的引用误差为 0.34%。

当 Δx 取最大值 Δx_m 时, 仪表满度相对误差(引用误差)常用来确定仪表的精度等级 S, 以评价仪表的质量。目前, 我国电工仪表精度分为 7 级: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。例如, 2.5 级表示满度相对误差的最大值不超过仪表量程上限的 2.5%。满度相对误差中的分子、分母均由仪表本身性能所决定, 因此, 仪表满度相对误差(引用误差)是衡量仪表性能优劣的一种简便实用的方法。

例 1-4 某电压测量仪表的量程范围为 0 ~ 500 V, 校验时该仪表的最大绝对误差为 6 V, 试确定该仪表的精度等级。

解: 由题知 $\Delta x_m = 6\text{ V}$, $x_m = 500\text{ V}$, 代入引用误差表达式中, 得

$$\gamma_m = \frac{|\Delta x|}{x_m} \times 100\% = \frac{6}{500} \times 100\% = 1.2\%$$

该仪表的引用误差介于 1.0% 与 1.5% 之间, 因此, 该仪表的精度等级应定为 1.5 级。

4. 基本误差

基本误差是指传感器或仪表在规定的标准条件下所具有的误差。例如, 某传感器是在电源电压 $(220 \pm 5)\text{ V}$ 、电网频率 $(50 \pm 2)\text{ Hz}$ 、环境温度 $(20 \pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$ 、湿度 $65\% \pm 5\%$ 的条件下标定的。如果传感器在这个条件下工作, 则传感器所具有的误差为基本误差。

二、测量误差产生的来源

人们研究测量误差产生的来源, 目的是提高测量误差的控制能力, 减少测量误差, 尽可能使测量结果接近真实值。测量误差的主要来源有仪器误差、影响误差、理论误差和方法误差、人员误差四种。

(一) 仪器误差

仪器误差是指测量仪器在长期使用过程中因磨损、疲劳、老化等因素, 使测量结果产生误差, 也可能是测量仪器及其附件的电气和机械性能等不完善而引起的仪器本身出厂时就自带的误差。



（二）影响误差

影响误差是指因各种环境因素，如湿度、温度、振动、电磁场、电源电压等，与设计测量要求的条件不一致而引起的误差。

（三）理论误差和方法误差

理论误差是指因测量时所依据的理论不够严密或者用近似值、近似公式计算的测量结果所产生的误差。方法误差是指当测量方法不合理时，所产生的误差。

（四）人员误差

人员误差是指因测量人员感官反应速度、分辨能力、固有习惯、视觉疲劳和缺乏责任心等因素，在测量过程中，出现观察判断错误、仪器操作不当或识读错误等情况引起的误差。

三、测量误差的分类

按测量数据中误差所体现的规律，可将误差分为系统误差、随机误差和过失误差三种。

（一）系统误差

在相同条件下，对同一被测量进行多次重复测量时，若误差固定不变或者按照一定规律变化，这种误差称为系统误差。

系统误差一般由仪器本身设计制造上的缺陷导致，也可能是由周围的环境与测量仪器需求的条件不一致等造成的。例如，测量仪器标准量值的不准确及仪表刻度的不准确而引起的误差。系统误差是具有规律性的，可通过实验或分析的方法，查明其变化规律及产生的原因，应尽量减少系统误差。系统误差是可以消除的误差。

（二）随机误差

对同一被测量进行多次重复测量时，若误差的大小随机变化，没有规律，不可预料，那么这种误差称为随机误差，也称为偶然误差。

产生随机误差可能是由仪器本身的不稳定产生噪声所致，也可能是电源电压及温度的变动等干扰原因造成的。从多次测量结果上看，随机误差遵循一定的统计规律，大多数服从正态分布规律。因此可以用统计的方法，从理论上估计其对测量结果的影响。

（三）过失误差

在一定条件下，当测量结果明显偏离其实际值时所对应的误差，称为过失误差或粗大误差。这类误差是由于测量者疏忽大意或环境条件的突然变化而引起的。包含有过失误差（或粗大误差）的测量值称为坏值，一经发现，其数据则无效，应当删除不用。

四、测量误差的分析与处理

从工程测量实践可知，测量数据中误差的性质不同，对测量结果的影响及处理方法也不同。首先，判断测量数据中是否含有过失误差，如有，则必须剔除。其次，看数据

中是否存在系统误差,对系统误差可设法消除或加以修正。最后,利用随机误差特性进行处理。

(一) 系统误差的分析与处理

查找系统误差的根源,需要对测量设备、测量对象和测量系统做全面分析,明确其中有无产生明显系统误差的因素,并采取相应措施予以修正或消除。一般主要从以下几个方面进行分析考虑。

(1) 所用传感器、测量仪表或组成元件是否准确可靠。比如,传感器或仪表灵敏度不足,仪表刻度不准确,变换器、放大器等性能不太优良等都会引起误差。

(2) 测量方法是否完善。例如,使用电压表测量电压,电压表的内阻对测量结果有影响。

(3) 传感器或仪表安装、调整或放置是否正确合理。例如,没有调好仪表水平位置,安装时仪表指针偏心等都会引起误差。

(4) 传感器或仪表工作场所的环境条件是否符合规定条件。例如,环境温度、湿度、气压等变化也会引起误差。

(5) 测量者的操作是否正确。例如,读数时的视差、视力疲劳等都会引起系统误差。

系统误差的发现一般比较困难,对于测量仪表本身存在固定的系统误差,可用实验对比法来查找。例如,一台测量仪表本身的系统误差,即使进行多次测量也不能发现,只有用精度更高一级的测量仪表测量,才能发现这台测量仪表的系统误差。

消除系统误差的方法主要有如下几点。

(1) 在测量结果中进行修正。对已知的系统误差,可用修正值对测量结果进行修正;对变值系统误差,可设法找出误差的变化规律,用修正公式或修正曲线对测量结果进行修正;对未知系统误差,则按随机误差进行处理。

(2) 消除系统误差的根源。在测量之前,应仔细检查仪器仪表,正确调整和安装;防止外界干扰影响,选好观测位置,如避光或亮光位置,消除视差;选择环境条件比较稳定时进行读数等。

(3) 在测量系统中采用补偿措施。找出系统误差的规律,在测量过程中自动消除系统误差。例如,用热电偶测量温度时,热电偶参考端温度变化会引起系统误差,消除此误差的方法之一是在热电偶回路中添加一个冷端补偿器,从而进行自动补偿。

(4) 实时反馈修正。应用自动化测量技术及微机技术,采用实时反馈修正的方法来消除复杂变化的系统误差。当某种因素变化对测量结果有明显的复杂影响时,应尽可能找出其影响测量结果的函数关系或近似的函数关系,在测量过程中,用传感器将这些变化的因素转换成某种物理量形式,如电量,及时按照其函数关系,通过计算机算出影响测量结果的误差值,对测量结果进行实时的自动修正。

(二) 随机误差的分析与处理

在测量中,当系统误差已设法消除或减小到可以忽略的程度时,如果测量数据仍



有不稳定的现象,则说明存在随机误差。在等精度测量的情况下,得到 n 个测量值 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 如这些数据只含有随机误差,则它们服从一定的统计规律,如对称性、单峰性、有界性和相消性等特点,多数情况下服从正态分布。它们的算术平均值可作为等精度多次测量的结果。其算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (1-7)$$

(三) 过失误差的分析与处理

在对重复测量所得的一组测量值进行数据处理之前,首先应将具有过失误差的可疑数据找出来加以剔除,其原则是要看这个可疑值误差是否仍处于随机误差的范围之内,是则留,不是则弃。

五、传感器的选用原则

传感器的种类很多,对于同一种被测物理量,可选用不同的传感器。例如,被测物理量是位移时,可以选用电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、数字式传感器等。

一般来说,选用传感器的原则有以下几点。

(一) 根据测量对象与测量环境确定类型

要进行一个具体的测量工作,首先要考虑采用何种原理的传感器,这需要分析多方面的因素之后才能确定。因为,即使是测量同一物理量,也有多种原理的传感器可供选用,哪一种原理的传感器更为合适,则需要根据被测量的特点和传感器的使用条件考虑一些具体问题:量程的大小;被测位置对传感器体积的要求;测量方式为接触式还是非接触式;信号的引出方法,有线或是非接触测量;传感器的来源,国产还是进口,价格能否承受等。

在考虑上述问题之后就可以确定选用何种类型的传感器,然后再考虑传感器的具体性能指标。

(二) 根据灵敏度选择

通常,在传感器的线性范围内,希望传感器的灵敏度越高越好。因为只有灵敏度高时,与被测量变化对应的输出信号的值才比较大,有利于信号处理。但要注意的是,传感器的灵敏度高,与被测量无关的外界噪声也容易混入,且会被放大系统放大,影响测量精度。因此,要求传感器本身应具有较高的信噪比,尽量减少从外界引入的干扰信号。

传感器的灵敏度具有方向性。当被测量是单向量,而且对其方向性要求较高,则应选择其他方向灵敏度小的传感器;如果被测量是多维向量,则要求传感器的交叉灵敏度越小越好。

（三）根据频率响应特性选择

传感器的频率响应特性决定了被测量的频率范围，需在允许频率范围内保持不失真。实际上，传感器的响应总有一定延迟，期望延迟时间越短越好。传感器的频率响应越高，可测的信号频率范围就越宽。

在动态测量中，应根据信号的特点（稳态、瞬态、随机等）做出选择，以免产生过大的误差。

（四）根据传感器的线性范围选择

传感器的线性范围是指输出与输入成正比的范围。从理论上讲，在此范围内，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作线性的，这会给测量带来极大的方便。

（五）根据传感器的稳定性选择

传感器使用一段时间后，其性能保持不变的能力称为稳定性。影响传感器长期稳定性的因素除传感器本身结构外，主要是传感器的使用环境。因此，要使传感器具有良好的稳定性，传感器必须具有较强的环境适应能力。

在选择传感器之前，应对其使用环境进行调查，并根据具体的使用环境选择合适的传感器，或采取适当的措施，减小环境对传感器的影响。

（六）传感器的精度不可忽视

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即可，不必选得过高。如果测量目的是定性分析，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。

实训

根据误差挑选仪器

一、实训目标

每类仪器的量程和精度不同，可以分为多个型号和种类。本实训要求根据测量值及误差，选择合适的仪器。

二、器材准备

精度为 0.5 级、量程为 $0 \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，精度为 1.0 级、量程为 $0 \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度计各一支，量程为 $0 \sim 10\text{ cm}$ 的米尺和精度为 0.1 mm 的游标卡尺各一把。



三、操作训练

(一) 选用温度计

用准备好的两支温度计，分别测量温度为 80 ℃ 的水，试问选用哪一支温度计好？为什么？

提示：

用精度为 0.5 级温度计测量时可能出现的最大绝对误差为

$$|\Delta x|_{m1} = \gamma_{m1} \cdot x_{m1} = 0.5\% \times (300 - 0)^\circ\text{C} = 1.5^\circ\text{C}$$

测量 80 ℃ 水的温度可能出现的最大示值相对误差为

$$\gamma_{x1} = \frac{|\Delta x|_{m1}}{x} \times 100\% = \frac{1.5}{80} \times 100\% = 1.88\%$$

用精度为 1.0 级温度计测量时可能出现的最大绝对误差为

$$|\Delta x|_{m2} = \gamma_{m2} \cdot x_{m2} = 1.0\% \times (100 - 0)^\circ\text{C} = 1.0^\circ\text{C}$$

测量 80 ℃ 水的温度可能出现的最大示值相对误差为

$$\gamma_{x2} = \frac{|\Delta x|_{m2}}{x} \times 100\% = \frac{1}{80} \times 100\% = 1.25\%$$

计算说明，用 1.0 级温度计反而比 0.5 级温度计测量时示值相对误差小。因此，在选用仪表时，不能单纯追求高精度，而是应兼顾精度等级和量程。



小贴士

值得注意的是，对于同一仪表，所选量程不同，可能产生的最大绝对误差也不同。当仪表准确度等级选定后，测量值越接近满度值时，测量相对误差越小，测量越准确。因此，一般情况下应尽量使指针处在仪表满度值的 2/3 以上区域。该结论只适用于正向线性刻度的仪表。对于万用表电阻挡等非线性刻度的仪表，应尽量使指针处于满度值 1/2 左右的区域。

(二) 选用游标卡尺

用量程为 0 ~ 10 cm 的米尺和精度为 0.1 mm 的游标卡尺测量一长度为 5 cm 的物体，将测量值填入表 1-3，比较其相对误差。最后，选用合适的游标卡尺并说明理由。

表 1-3 物体长度测量值

(单位：mm)

测量序号	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值
测量值									
绝对误差									
相对误差									

项目评价

以小组为单位，配合指导老师完成如表 1-4 所示的项目评价表。

表 1-4 项目评价表

项目名称	评价内容	分值	评价分数		
			自评	互评	师评
职业素养考核项目 (20%)	考勤、仪容仪表	5			
	责任意识、纪律意识	5			
	团队合作与交流	10			
专业知识考核项目 (40%)	传感器的定义、组成、分类	10			
	传感器的基本特性与应用	10			
	测量误差的基本概念	10			
	测量误差的分析处理方法与传感器的选用原则	10			
专业能力考核项目 (40%)	能举例说明传感器在生产、生活中的应用（至少 3 个实例）	20			
	能按要求测量相关物理量，并能进行误差分析与处理	20			
合计：综合分数 _____ 自评（20%）+ 互评（20%）+ 师评（60%）		100			
综合评语	教师（签名）：				

职业技能知识点考核

一、选择题

- 下列不属于物理量传感器的是（ ）。
A. 热学量传感器 B. 离子传感器 C. 力传感器 D. 核辐射传感器
- 关于系统误差，说法不正确的是（ ）。
A. 系统误差可能是仪器本身设计制造上的缺陷导致
B. 系统误差具有规律性
C. 系统误差是可以消除的误差
D. 系统误差的大小随机变化，没有规律，不可预料
- 某仪器厂需要购买压力表，希望压力表的满度相对误差小于 0.9%，考虑到经济效益，应购买（ ）级的压力表。
A. 0.2 B. 0.5 C. 1.0 D. 1.5
- 某采购员分别在三家商店购买 100 kg 大米、10 kg 苹果、1 kg 巧克力，发现均缺少约 0.5 kg，但该采购员对卖巧克力的商店意见最大，在这个例子中，产生此心理作用的主要因素是（ ）。
A. 绝对误差 B. 相对误差 C. 引用误差 D. 精度等级



5. 仪表准确度等级越小, 表示仪表的测量精度 ()。
- A. 越高 B. 越低 C. 不变 D. 不能确定

二、填空题

1. 传感器一般由 _____、_____ 及 _____ 三部分组成。
2. 传感器的静态特性指标主要有 _____、_____、_____、_____、_____、_____、_____。
3. 传感器也称为 _____、_____ 或 _____。
4. 测量误差的表示方法主要有绝对误差、_____、引用误差和 _____ 四种。
5. 欲测 240 V 左右的电压, 要求测量示值相对误差的绝对值不大于 0.6%, 若选用量程为 250 V 的电压表, 其精度应选 _____ 级。

三、简答题

1. 传感器可以按哪些原则进行分类?
2. 简述传感器的选用原则。
3. 为节约用电, 在办公楼和居民楼的楼道需要安装一些传感器, 当夜晚有人上楼时, 楼道灯自动亮起, 过一会儿, 灯自动熄灭。你认为需要安装哪些传感器?

四、操作题

为加强对传感器应用领域、传感器企业的了解, 成长为更贴近企业需求的人才, 请通过查阅资料、实际走访及问卷调查等形式, 对传感器的应用领域、传感器相关的企业、传感器相关的工作岗位及岗位职责进行详细的调研。

1. 分组讨论任务实施方案, 每组 3 ~ 5 人。
2. 所需前期资料自行收集。
3. 完成调研资料收集与整理。
4. 提交传感器应用领域调研报告 (word 或 PPT 形式均可) 并汇报。