

安徽省“十四五”普通高等教育本科省级规划教材

传感器与自动检测 系统设计

主编◎韩 芳 封居强

CHUANGANQI YU ZIDONG JIANCE XITONG SHEJI



扫一扫
学习资源库

微课视频
电子教案
教学课件

航空工业出版社

内 容 提 要

本书按照“基础篇”“实践篇”“设计篇”三大模块组织内容。“基础篇”包括传感器与自动检测基础、计算机自动检测系统及虚拟仪器技术的概念和原理。“实践篇”以过程控制和机械工程中常见的参数为检测目标,以 NI ELVIS III 平台和 LabVIEW 为开发工具,结合 Quanser 机电传感器应用板,构建了自动化的测量、校准和分析实验项目。每个实验项目均有实际案例作为引入,内容包括“背景与理论”、“工作原理”及“实验与分析”等环节。“设计篇”介绍了三个基于虚拟仪器的自动检测系统设计案例。本书重新规划了面向工程的传感器检测技术的实验路径,体现了传感器与自动检测技术的基本理论、专业知识,以及实践技能的融合教学,在课程设置上具有创新性。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与自动检测系统设计/韩芳,封居强主编

.—北京:航空工业出版社,2023.4

ISBN 978-7-5165-3340-6

I. ①传… II. ①韩…②封… III. ①传感器②自动
检测 IV. ①TP212②TP274

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 062676 号

传感器与自动检测系统设计 Chuanganganqi yu Zidong Jiance Xitong Sheji

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区京顺路 5 号曙光大厦 C 座四层 100028)

发行部电话:010-85672663 010-85672683

北京荣玉印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2023 年 4 月第 1 版

2023 年 4 月第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16

字数:307 千字

印张:14

定价:46.00 元

前言

传感器是实现物理环境或人类社会信息获取的基本工具,是检测系统的重要元器件,是信息技术、物联网技术的源头,也是智能检测技术与应用的基础。我国非常重视传感器的应用和发展,在 2013 年,工业和信息化部、科技部、财政部、国家标准化委员会联合印发了《加快推进传感器及智能化仪器仪表产业发展行动计划》,实施期为 2013 年至 2025 年,《中国制造 2025》也明确把研制智能传感器、高端仪表标准作为研究的重点项目。本书基于此背景,以培养行业专业人才为目标,以党的二十大报告中“产教融合,培养高技能人才”为指导思想,设计了知识和项目训练相融合的学习内容,实现了“做中学”的教学目的。

本书内容分为“基础篇”“实践篇”“设计篇”三部分,在保证基础性实验的前提下,注重学生的工程实践训练和创新实践训练。“基础篇”包括传感器与自动检测技术基础、计算机自动检测系统及虚拟仪器技术的知识;“实践篇”包括七个虚拟仪器技术测试实验项目,基于“软件即仪器”的核心思想,将传感器实验与虚拟仪器技术相结合,利用跨学科工程教学实验平台 NI ELVIS III,结合 Quanser 机电传感器应用板测试并验证若干种工程传感器的功能原理;“设计篇”包括三个以虚拟仪器为核心的工程实践项目,体现自动检测系统构建的思路和方法,突出实用性。

本书具有以下特色。

(1) 基础理论与实践融合的内容体系。本书以“实践中阐述理论”为原则,将基本原理、基本方法、基本技能与工程实践项目深度融合,力争将理论知识做到“四用”,即实用、适用、够用和应用;降低理论难度,压缩公式推导和烦琐的计算过程。知识以基础性、系统性的逻辑设计,符合学生认知规律,并与工程应用相辅相成、融为一体。

(2) 以行业为导向。本书内容按照被测参数进行分类展开,分别介绍连续过程类、机械工程类的七种重要参数:应变、压力、温度、角位移、距离和接近度、接触、惯性。介绍传感器或测量仪表的使用特点,以及检测过程操作指南。“设计篇”的案例设计立足于一个工程场景或被测对象,通过选用合适的传感器及设计合理的检测方法,实现性价比高、精准合格的自动检测。

(3) 以检测能力为本位。本书满足应用型人才培养模式的新需求,将传感器原理与工程检测技术有机地联系起来,通过 NI ELVIS III 实验平台与虚拟仪器软件 LabVIEW 构建了虚实结合的“传感器与自动检测技术”实验项目,推动了本书从按照课程内容分工的传统模式向按照能力培养协同促进的工程实践模式的转变。

本书每个实验项目均有实际案例引入,同时对内容进行了系统挖掘和渗透,解析其中蕴

含的思政元素,以“素养园地”“拓展知识”的形式促进思政教育与专业知识教学的有机融合,从爱国主义、工程伦理、工匠精神、创新精神等角度对学生实施多元化的教育指导,提升人才培养工作的综合发展成效。本书可作为高等学校应用型自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机器人工程、电子信息工程等专业的实验和实践用书,也可作为从事传感器与检测技术相关领域工作的研究人员和工程技术人员的参考用书。

本书由韩芳、封居强主编,北京曾益慧创科技有限公司(IECUBE)课程开发经理李宁参与本书“实践篇”实验项目的撰写,安徽众愿智控科技有限公司经理梁正宝为本书“设计篇”项目案例提供技术支持。此外,特别感谢淮南师范学院机械与电气工程学院自动化系众位同仁在“传感器与检测技术”课程建设与改革的过程中给予的指导、支持和帮助。

本书的编著和出版得到了2020年教育部第一批产学合作协同育人项目(202002229001)、安徽省高等学校质量工程重点教学研究项目(2021jyxm1368)及淮南师范学院教材(大纲)建设项目的支持和资助。

由于编者水平有限,书中存在的疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2022 年 9 月

目 录

基础篇

第 1 章 传感器与自动检测

基础 1

1.1	传感器概述	2
1.1.1	传感器的定义与组成	2
1.1.2	传感器的分类	4
1.1.3	传感器的特性	6
1.1.4	传感器的标定	7
1.1.5	传感器的性能指标与选用原则	8
1.2	自动检测技术概述	10
1.2.1	检测技术	10
1.2.2	过程参数检测	11
1.2.3	检测方法分类	12
1.2.4	自动检测系统的组成	16
1.3	测量误差与数据处理	18
1.3.1	测量误差	18
1.3.2	测量仪表的误差	19
1.3.3	用经验公式拟合测量数据—回归分析	20

第 2 章 计算机自动检测

系统 26

2.1	计算机数据采集概述	27
-----	-----------------	----

2.1.1	采样过程与采样定理	27
2.1.2	常用性能指标	28
2.1.3	数据采集系统的特点	30
2.2	典型计算机数据采集系统的结构	30
2.2.1	信号调理	31
2.2.2	数据采集设备	33
2.2.3	定时与逻辑控制电路	33
2.2.4	计算机总线	34
2.3	信号类型与测量系统分类	34
2.3.1	信号的分类	34
2.3.2	模拟信号的连接方式	35
2.2.3	测量系统分类	36
2.4	数字信号处理	39
2.4.1	分类、目的与特点	39
2.4.2	数据处理方法	41
2.5	计算机自动检测系统	42
2.5.1	系统典型结构	42
2.5.2	系统的功能	43
2.5.3	系统的软件	43

第 3 章 虚拟仪器技术 47

3.1	虚拟仪器概述	48
3.1.1	虚拟仪器及其技术的基本概念	48
3.1.2	虚拟仪器的系统结构	50
3.1.3	虚拟仪器的特点	55

3.1.4 虚拟仪器的应用前景	56
3.2 虚拟仪器软件开发平台	57
3.2.1 LabVIEW 概述	57
3.2.2 LabVIEW 编程环境	65
3.2.3 控件选板与数据类型控件	70
3.2.4 获取 LabVIEW 帮助	76
3.3 NI ELVIS III	79
3.3.1 ELVIS III 基本配置	80
3.3.2 设置 ELVIS III 仪器	81
3.3.3 使用 ELVIS III 仪器进行测量	83
3.4 Quanser 机电传感器应用板	86
3.4.1 设置和配置	87
3.4.2 传感器参数	88
3.4.3 系统设置与操作	89
3.4.4 运行配套 VI	90

实践篇

第 4 章 应变检测	93
4.1 理论和背景	94
4.2 应变式传感器	95
4.2.1 应变计	95
4.2.2 惠斯通电桥	96
4.2.3 温度的影响	98
4.2.4 应变计校准	98
4.2.5 悬臂梁的固有频率	99
4.3 实验与分析	99
4.3.1 实验任务	99
4.3.2 实验仪器与材料	100
4.3.3 实验内容与步骤	100
4.3.4 实验分析	103

第 5 章 压力检测

5.1 理论和背景	106
5.1.1 压力及其单位	106
5.1.2 玻意尔定律	108
5.1.3 压力检测方法	109
5.1.4 压力计的分类与压力计的选择	109
5.2 压力传感器	110
5.2.1 工作原理	110
5.2.2 常见的压力传感器	111
5.3 实验与分析	112
5.3.1 实验任务	112
5.3.2 实验仪器与材料	112
5.3.3 实验步骤	112
5.3.4 数据处理与实验分析	115

第 6 章 温度检测

6.1 理论和背景	119
6.1.1 温度的基本概念	119
6.1.2 温标	120
6.1.3 温度检测方法 with 仪表	121
6.2 热敏电阻	122
6.2.1 热敏电阻性能	122
6.2.2 热敏电阻的主要参数	123
6.2.3 测量热敏电阻的输出	125
6.3 实验与分析	126
6.3.1 实验任务	126
6.3.2 实验仪器与材料	126
6.3.3 实验内容与步骤	126
6.3.4 实验分析	129

第 7 章 角位移检测

7.1 理论和背景	131
-----------------	-----

7.1.1	概述	131
7.1.2	光电式编码器	132
7.2	电位器	132
7.2.1	电位器的分类	132
7.2.2	旋转电位器	133
7.3	增量编码器	134
7.3.1	增量编码器工作原理	134
7.3.2	计数解码	136
7.3.3	测量角位移量	137
7.4	实验与分析	138
7.4.1	实验任务	138
7.4.2	实验仪器与材料	138
7.4.3	实验内容与步骤	138
7.4.4	实验分析	141

第8章 距离和接近度检测

144

8.1	理论和背景	145
8.1.1	距离检测	145
8.1.2	接近度检测	146
8.2	声呐	147
8.2.1	工作原理	147
8.2.2	声呐测距	148
8.3	飞行时间传感器	150
8.4	红外接近传感器	151
8.5	实验与分析	152
8.5.1	实验任务	152
8.5.2	实验仪器与材料	152
8.5.3	实验内容与步骤	152
8.5.4	实验分析	158

第9章 接触检测

160

9.1	理论与背景	161
9.1.1	快动开关	161

9.1.2	电容式触摸传感器	164
9.2	实验与分析	166
9.2.1	实验任务	166
9.2.2	实验仪器与材料	166
9.2.3	实验内容与步骤	166
9.2.4	实验分析	168

第10章 惯性检测

171

10.1	理论和背景	172
10.2	惯性测量单元传感器	174
10.2.1	概述	174
10.2.2	InvenSenseMPU-9250	175
10.2.3	用加速度计估算滚转和俯仰	176
10.2.4	用陀螺仪估算偏航	178
10.2.5	用磁力计确定地球的磁场	178
10.3	实验与分析	178
10.3.1	实验任务	178
10.3.2	实验仪器与材料	179
10.3.3	实验内容与步骤	179
10.3.4	实验分析	182

设计篇

第11章 太阳能板光源跟踪检测系统 ...

184

11.1	项目背景	185
11.2	太阳能板光源跟踪控制	185
11.2.1	太阳能板光源跟踪装置	185
11.2.2	光电检测原理	186
11.2.3	系统硬件	187

11.2.4 系统运行流程	187
11.3 基于 LabVIEW 的能量监控系统	188
11.3.1 VISA 及串口 VI	188
11.3.2 LabSQL	190
11.4 实验结果与分析	191
11.4.1 太阳能板参数	191
11.4.2 实验结果与分析	192

第 12 章 玻璃瓶缺陷视觉检测系统 194

12.1 项目背景	195
12.2 检测装置	196
12.2.1 玻璃瓶缺陷分类	196
12.2.2 系统结构	196
12.2.3 系统工作原理	197
12.3 图像预处理	198
12.4 基于 LabVIEW 的检测系统	199
12.4.1 瓶口检测界面	199

12.4.2 瓶身检测界面	200
12.4.3 前面板设计	200
12.4.4 实验测试与分析	201

第 13 章 车库智能监测平台 202

13.1 项目背景	203
13.2 系统总体方案	203
13.3 车库环境监控硬件设计	205
13.3.1 水位检测	205
13.3.2 火焰检测	206
13.3.3 车位检测	206
13.4 软件管理系统	206
13.4.1 车辆识别系统设计	206
13.4.2 手机 APP 管理系统	212
13.4.3 PC 管理系统	213
13.4.4 车牌识别测试	213

参考文献 215

基础篇

第1章

传感器与自动检测基础

本章概述 >

传感器作为数据采集的唯一功能器件，是信息技术的基础核心元器件。十九届五中全会在研究关于制定“十四五”规划和2035年远景目标的建议中，将加强自主创新、对“卡脖子”的关键技术攻关作为后续发展的重中之重。“十四五”规划将传感器作为“卡脖子”技术攻克的目标之一，传感器的重要性不言而喻，如智能最前端所需要的态势感知，离不开传感器。无论是智能制造、智慧城市、智慧医疗，还是智能设备和大数据分析，再庞大的智能系统，都要从传感器的“针尖”上开始。“十四五”期间，我国智能传感器产业将在技术创新和产业规模上取得重大突破：智能传感器产业的设计与制造技术创新能力将大幅提升；智能传感器产业规模将突破千亿元。可以预见，未来智能传感器产业将会成为支撑工业互联网和智能制造的新型基础产业。

传感器是实现物理环境或人类信息获取的基本工具，是信息获取的源头，也是检测系统的重要元器件。检测是以检测仪器为主要工具，借助专门的设备、计算机、测试软件等手段，通过合适的实验方法、必需的信号分析，以及定量的数据处理，从测得的信号中提取与研究对象有关的信息的过程。本章主要介绍传感器和检测技术的相关基础理论。



学习目标

知识目标

- (1) 熟练掌握传感器的定义、组成、分类和特性;
- (2) 了解传感器的标定方法、标定过程和选用原则;
- (3) 掌握检测技术的基本概念和分类;
- (4) 了解自动检测系统的组成;
- (5) 掌握误差的相关概念、术语、分类和表示方法;
- (6) 理解最小二乘法与一元线性回归方程。

能力目标

- (1) 能按照测量要求和制约条件选择合适的传感器;
- (2) 能复述并解释测量和检测的基本概念;
- (3) 能比较不同类型的检测方法,并对其进行分类;
- (4) 认识并理解自动检测系统的组成;
- (5) 复述测量误差的相关概念,能了解误差的来源并进行分类;
- (6) 会使用最小二乘法与回归分析方法处理数据。

素质目标

- (1) 能在选择传感器与设计检测系统时对社会、法律、道德、文化、经济、安全、环境健康,以及能效等制约因素作出基本价值判断;
- (2) 培养科学思维,树立工程意识,将传感器与检测系统作为探究自然规律的认知工具,将其应用于科研、生产和生活等活动领域。

1.1 传感器概述

1.1.1 传感器的定义与组成

现代信息技术的三大基础是信息采集(传感器技术)、信息传输(通信技术)和信息处理(计算机技术),它们在信息系统中分别起到了“感官”、“神经”和“大脑”的作用。传感器是信息采集系统的首要部件,也是实现现代化测量和自动控制(包括遥感、遥测、遥控)的主要环节,其重要作用就如同人体的五官,感官对应的传感器如表 1-1 所示。

表 1-1 感官对应的传感器

感官	对象	对应传感器	原理
视觉	光	电荷耦合器件、图像传感器、光敏二极管、光敏元件	光电效应

续表



感官	对象	对应传感器	原理
听觉	声波	传声器、压电元件	压电效应
触觉	压力、温度	应变片、力敏传感器、温度传感器	压电效应、热电效应
嗅觉	气体	半导体气体传感器、离子传感器	吸附效应
味觉	味觉物质	生物化学元件	电化学反应

光电传感器利用光电效应工作,相当于人体器官中的眼睛,如电荷耦合器件(charge-coupled device, CCD)等;声音传感器利用压电效应工作,相当于人体器官中的耳朵,如传声器、压电元件等;触觉传感器利用压电效应和热电效应工作,相当于人体的皮肤,如应变片等。除此之外,传感器还有温度传感器,包括热敏电阻、热电阻、热电偶和热释电传感器等多种形式;力敏传感器,包括电阻式、电容式、电感式、压电式和电流式等多种形式;嗅觉、味觉传感器,包括半导体气体传感器、生物化学传感器等多种形式。

需要注意的是,传感器虽然可以类比人的感觉器官,但并不是单纯的人体器官的模拟。例如,生物化学传感器虽对应人的嗅觉和味觉器官,却能感受人体器官不能感受的某些物质,如 H_2 、CO。

根据国家标准,传感器的定义是“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。”传感器可以认为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。传感器的定义包含以下几层含义:传感器是测量装置,能完成检测任务;传感器的输入量是被测量(物理量、化学量、生物量等);传感器的输出量是便于传输、转换、处理、显示的信号;传感器的输入输出有对应关系,且要求有一定的精确度。

能被后继环节所利用且易于处理的信号形式有很多种,其中电信号(如电压、电流、电阻等)是最常用的信号形式。电信号具有精度高、动态响应快、易于运算放大、易于远距离传输、易于和计算机接口等其他信号所没有的优点。所以从狭义上来说,传感器也可以定义为“将外界的输入信号变换为电信号的一类元件”。

传感器一般由敏感元件、转换元件、信号调理与转换电路三部分组成,如图 1-1 所示。其中,敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分;转换元件是指传感器中将敏感元件感受或响应的被测量,转换成适用于传输或测量的电信号的部分。由于传感器的输出信号一般很微弱,因此需要有信号调理与转换电路对其进行放大、调制、运算等操作。随着半导体器件、集成技术、智能化测量技术在传感器中的应用和发展,传感器的信号调理与转换电路已经可以与敏感元件共同安装在传感器的壳体里,或者集成在一个芯片上,构成集成传感器,实现测量及模拟信号输出



功能。这种集成传感器具有体积小、测量误差小、响应速度快、功耗低等优点。此外,信号调理与转换电路和转换元件这两部分工作时必须有辅助电源提供能量。

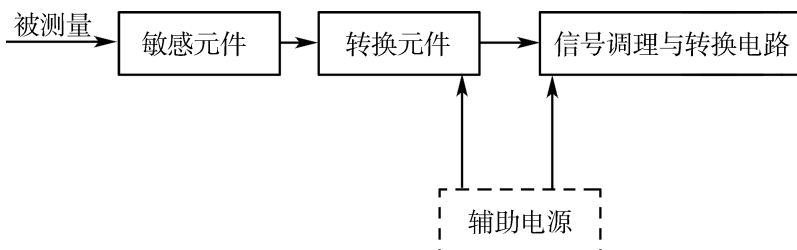


图 1-1 传感器的组成

素养园地

“没有调查,没有发言权”,科学研究和技术进步总是离不开调查,应用传感器进行信息采集就是开展“调查”的重要手段,因为“科学是实实在在的,来不得半点虚假”。

习近平总书记指出:“调查研究不仅是一种工作方法,而且是关系党和人民事业得失成败的大问题。”调查研究的过程中蕴含着实事求是的价值观,从方法论来看,实事求是认识世界、改造世界的根本要求,是武装头脑、推动实践、指导工作的基础和保障,“我们过去取得的一切成就都是靠实事求是。今天,我们要把中国特色社会主义事业继续推向前进,还是要靠实事求是”“实事求是就是最大的党性”。共产党“靠实事求是吃饭”,实事求是实现中华民族伟大复兴的根本思想保证,更是一条我们党用鲜血和生命换来的、贯穿百年党史的红线、生命线。

1.1.2 传感器的分类

传感器种类繁多,被测量与传感器之间存在着纵横交错的复杂关系,一种被测量可以使用多种传感器来测量,同一种传感器也可以测量多种被测量,所以传感器的分类方法众多。传感器技术的主要发展方向: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。实际中广泛采用的分类方法有以下几种。

1. 根据传感器的工作机理分类

根据传感器的工作机理,可将其分为物理传感器、化学传感器和生物传感器三种。

物理传感器依靠传感器的敏感元件材料本身的物理特性变化或转换元件的结构参数变化来实现信号的转换,如水银温度计是利用水银的热胀冷缩现象把温度变化转变为水银柱的高低变化,从而实现对温度的测量。物理传感器可分为结构型传感器和物性型传感器两种。



①结构型传感器。结构型传感器以敏感元件的结构变化(尺寸、形状等)为测量基础,在待测量的作用下,敏感元件的结构发生变化,利用某些物理规律获得电信号输出,如磁电式地震勘测仪、变极距电容式位移传感器等。结构型传感器的性能与敏感元件的材料没有必然联系,仅与其“结构变化”有关。

②物性型传感器。物性型传感器是利用某些功能材料本身所具有的内在特性及效应,将被测量直接转换为电量的传感器,如热电偶利用热电效应实现测温。这类传感器利用了物理效应进行测量,敏感元件没有“结构变化”,具有响应速度快的特点。

化学传感器是指依靠传感器的敏感元件材料本身的电化学反应来实现信号的转换,用于检测无机或有机化学物质的成分和含量,如气敏传感器、湿度传感器。化学传感器广泛用于化学分析、化学工业的在线检测及环境保护检测中。

生物传感器是把生物活性表达的信号转换为电信号的传感器。生物活性物质(如酶、抗体、抗原、微生物、核酸等)具有对某种特定物质呈现选择性亲和力的特点,利用这种特点可以判定某种物质是否存在、其含量是多少等。具体过程为,待测物质经扩散作用进入固定化生物敏感膜层,经分子识别发生生物学反应,产生的信息被相应的化学或物理换能器转变成可定量和可处理的电信号。典型的生物传感器有酶传感器、免疫传感器、细胞传感器、微生物传感器等几种。生物传感器广泛用于食品工业、发酵工业、环境监测、医学诊断、环保监测等领域。

2. 根据传感器的能量转换情况分类

根据传感器的能量转换情况可将其分为能量控制型传感器和能量转换型传感器。

能量控制型传感器又称为无源型传感器,这类传感器本身不能换能,被测对象的信号通过控制电源给传感器输出端提供能量,并将电压(或电流)作为与被测量相对应的输出信号。由于能量控制型传感器的输出能量是由外加电源供给的,因此传感器输出端的电能量可能大于输入端的非电能量,所以这种传感器具有一定的能量放大作用,如电阻式、电感式、电容式、霍尔式传感器等。

能量转换型传感器又称为发电型或有源型传感器,其输出端的能量是由被测对象取出的能量转换而来的。它无需外加电源就能将被测的非电能量转换成电能量输出。因为它没有能量放大的作用,所以要求这类传感器从被测对象获取的能量越多越好。这类传感器有热电偶、光电池、压电式传感器、磁电感应式传感器等多种类型。

3. 根据传感器的工作原理分类

传感器按物理定律、物理效应、半导体理论、化学原理等可分为电阻式、电感式、电容式、压电式、磁敏式(磁电感应式、霍尔式等)、热电式、光电式、辐射与波式传感器(红外传感器、微波传感器、超声波传感器等)等几种。这种分类方法通常在讨论传感器的工作原理时使用。



4. 根据传感器测量的对象分类

传感器测量对象与用途直接相关,通常可分为温度传感器、位移传感器、压力传感器、振动传感器、速度传感器等几种。

1.1.3 传感器的特性

传感器的特性主要是指输入与输出的关系,包括静态特性和动态特性两种。

1. 传感器的静态特性

传感器的静态特性表示传感器在被测量处于稳定状态时,即当输入量为常量或变化极慢的量时,输入与输出的关系。

通常用来描述传感器静态特性的指标有测量范围、线性度、迟滞特性、重复性、灵敏度、分辨率、稳定性和漂移等几项。理想传感器的输入与输出的关系应呈现唯一对应关系(最好为线性关系),但是实际应用中由于迟滞、蠕变、摩擦等因素的影响,输入与输出会呈现出非线性的关系,出现这种现象的误差因素是影响传感器静态特性的主要技术指标。

2. 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指传感器对动态激励(输入)的响应(输出)特性,即输出量对随时间变化的输入量的响应特性。一个动态特性良好的传感器,其输出量随时间变化的规律,将能再现输入量随时间变化的规律,即输出量与输入量具有相同的时间函数。但实际上,由于传感器的敏感材料对不同的变化会表现出一定程度的惯性(如温度测量中的热惯性),因此输出量与输入量并不具有完全相同的时间函数,这种输入量与输出量之间的差异称为动态误差。动态误差反映的是惯性延迟所引起的附加误差。设计传感器时,要根据其动态性能要求与使用条件,选择合理的方案和确定合适的参数;使用传感器时,要根据其动态性能要求与使用条件确定合适的使用方法,同时,对给定条件下的传感器动态误差做出估计。总之,动态特性是传感器性能的一个重要指标,在测量随时间变化的参数时,只考虑静态特性指标是不够的,还要参考其动态特性指标,如一阶传感器动态特性指标时间常数 τ 、二阶传感器的固有角频率和阻尼系数。

素质园地

传感器的特性告诉我们,对事物分析的思维活动,基本可以归纳为静态分析和动态分析两大类。静态分析的核心是通过分而治之的方法来研究事物的内部结构和组成,以全面地了解事物的构成和组成要素。动态分析的核心是研究事物的生命周期和运行机制,以全面地了解事物发展过程,以及在不同阶段下表现出来的状态特征,通过这种动静结合的分析方法可以更深入地理解事物的本质。

动静结合的分析方法是具有普遍适用性的哲学思想,广泛运用于控制系统、测试系统、经济模型、财务分析、逆向工程等领域。



1.1.4 传感器的标定

传感器的标定就是利用精度高一级的标准器具对传感器进行定度的过程,这一过程可以确立传感器输出量和输入量之间的对应关系,同时也可以确定不同使用条件下的误差关系。为了保证各种被测量量值的一致性和准确性,任何一种传感器在装配完后都必须按设计指标进行全面严格的性能鉴定。传感器使用一段时间或经过修理后,也必须对传感器的主要技术指标进行校准实验,以确保其各项性能指标达到要求。

国家计量局、中国计量科学研究院和部、省、市计量部门及一些企业的计量站制定和实施了一系列计量器具(包括传感器)检定的组织、规程和管理办法。工程测量中传感器的标定应在与其使用条件相似的环境下进行。为获得高的标定精度,应将电容式、压电式传感器配用的电缆、放大器等测试系统一起标定。根据系统的用途和输入信号的不同,传感器的标定分为静态标定和动态标定两种。

1. 传感器的静态标定

传感器的静态标定主要用于检验、测试传感器的静态特性指标,如线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。静态标定是传感器在静态标准条件下进行的标定,即环境温度一般为室温($20 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$)、相对湿度不大于85%RH、大气压力为 $760 \pm 60\text{ mm}$ 汞柱。应变式测力传感器静态标定设备系统如图1-2所示,测力机用来产生标准力,高精度稳压电源经精密电阻箱衰减后向应变式测力传感器提供稳定的电源电压,应变式测力传感器的输出由高精度的数字电压表读出。

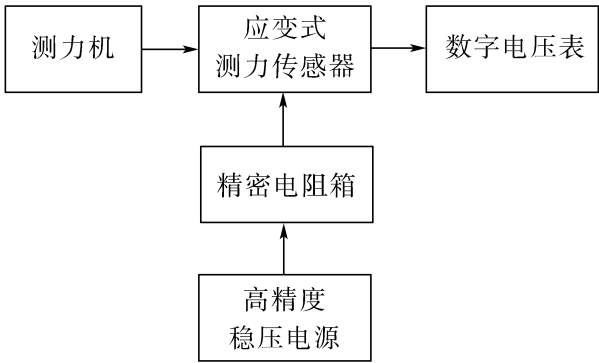


图 1-2 应变式测力传感器静态标定设备系统

- 由图1-2可知,传感器的静态标定系统一般由以下几部分组成。
- (1) 被测物理量标准发生器,如测力机。
 - (2) 被测物理量标准测试系统,如标准力传感器、标准压力传感器等。
 - (3) 被标定传感器所配接的信号调节器和显示、记录装置等。被标定传感器所配接的仪器精度应是已知的,也作为标准测试设备。
- 各种传感器的标定方法不同,具体标定步骤如下。
- (1) 将传感器测量范围分成若干等间距点。
 - (2) 根据传感器量程的分点情况,输入量由小到大逐渐变化,记录各输入值、输出值。
 - (3) 将输入值由大到小慢慢减小,同时记录各输入值、输出值。



(4) 重复步骤(2)和步骤(3),对传感器进行正、反行程多次重复测量,将得到的测量数据列出表格或绘制成曲线。

(5) 对测量数据处理,根据处理结果确定传感器的线性度、灵敏度、迟滞和重复性等静态特性指标。

2. 传感器的动态标定

传感器的动态标定主要用于研究传感器的动态响应,以便确定传感器的时间常数、动态灵敏度、固有频率和频响范围等特性。传感器进行动态标定时,需有一个标准信号对其进行激励,常用的标准信号有两种:一种是周期信号,如正弦波;另一种是瞬变信号,如阶跃信号。用标准信号激励后,传感器会产生相应的输出信号,传感器产生的输出信号经分析计算、数据处理,便可确定传感器的频率特性,即幅频特性、阻尼和动态灵敏度等。

1.1.5 传感器的性能指标与选用原则

表 1-2 列出了传感器的一些常用性能指标。对于一种具体的传感器,并不要求必须具备全部指标,根据实际需要具备主要的指标即可。

表 1-2 传感器的常用性能指标

基本参数指标	环境参数指标	可靠性指标	其他指标
量程指标: 量程范围、过载能力等 灵敏度指标: 灵敏度,满量程输出、分辨力、输入输出阻抗等 精度方面的指标: 精度(误差)、重复性、线性、回差、灵敏度误差、阈值、稳定性、漂移、静态误差等 动态性能指标: 固有频率、阻尼系数、频响范围、频率特性、时间常数、上升时间、响应时间、过冲量、衰减率、稳态误差、临界速度、临界频率等	温度指标: 工作温度范围、温度误差、温度漂移、灵敏度温度系数、热滞后等 抗冲振指标: 各向冲振容许频率、振幅值、加速度、冲振引起的误差等 其他环境参数: 抗潮湿,抗介质腐蚀、抗电磁场干扰能力等	工作寿命、平均无故障时间、保险期、疲劳性能、绝缘电阻、耐压、反抗飞弧性能等	使用方面: 供电方式(直流、交流、频率、波形等)、电压幅度与稳定度、功耗、各项分布参数等 结构方面: 外形尺寸、重量、外壳、材质、结构特点等 安装连接方面: 安装方式、馈线、电缆等



利用传感器进行一项具体的测量工作时,测量的成败和精度在很大程度上取决于传感器的选用是否合适。传感器的选用需要对多方面的因素进行分析,工程中一般优先考虑传感器的使用目的、环境条件和成本这三个重要的因素。例如,测量某一对象的温度时要求测量范围在 $0 \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$,测量精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,且要多点测量,满足这些要求的传感器有热电偶、热敏电阻、PN 结温度传感器、数字温度传感器等;若在本成本、测量电路、配置设备等因素中进行取舍,可选择 PN 结温度传感器;若测量范围变为 $0 \sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$,其他要求不变,则应考虑用热电偶。总之,选择使用传感器时,应具体情况具体分析,选择性价比高的传感器。一般来说,传感器具体选用的原则如下。

1. 与测量条件有关的因素

选择传感器时首先应了解与测量条件有关的因素,如测量的目的、被测量的测量范围、输入信号的幅值和频带宽度、精度要求、测量所需时间等。

2. 与使用环境条件有关的因素

在了解被测量要求后,还应考虑传感器的使用环境,如安装现场条件及情况、环境条件(湿度、温度、振动等)、信号传输距离和需现场提供的功率容量等因素。

3. 传感器的性能指标

1) 灵敏度

传感器的灵敏度是指传感器在稳态下的指定输出量与指定输入量之比。通常来说,传感器灵敏度越高越好,但也要考虑到灵敏度过高会引起噪声的干扰,这就要求传感器的信噪比(信号与噪声强度的比值)要尽可能大。同时,传感器的灵敏度是有方向性的,当被测量是单向量且对方向性要求较高时,应选择在其他方向灵敏度小的传感器;当被测量是多维向量时,则要求传感器的交叉灵敏度越小越好。

2) 线性范围

传感器的线性范围是指输入量与输出量成正比的范围。传感器在线性范围内工作才可以保证其测量精度,传感器的线性范围越宽,其量程越大。

3) 精度

传感器的精度是指测量结果的可靠程度,测量结果误差越小,精度越高。工程上为简化传感器精度的表示方法,引用了精度等级的概念,精度等级越高,传感器价格越昂贵。

4) 稳定度

传感器的稳定度是指传感器使用一段时间后,其性能保持不变的能力。影响传感器性能长期稳定的因素一部分来自传感器本身结构,但更大一部分是来自其使用环境。因此,除了要根据具体使用环境来选择合适的传感器,还要采取适当的措施以减小环境影响,包括定期对传感器进行重新标定。

5) 响应特性

传感器的响应不可避免地会有一定的时间延迟,时间延迟越短越好。



传感器的种类有很多,使用范围也很广,使用前应注意仔细阅读使用说明书及相关资料,主动考虑、提前预防可以减少传感器故障。例如,打印机中的光电传感器被污染,会导致打印机检测失灵;手动送纸传感器被污染,会导致打印机控制系统检测不到有、无纸张的信号,手动送纸功能便失效。因此,出现上述情况后应该用脱脂棉花把相关的各传感器表面擦拭干净,使它们保持洁净,以保持传感器的灵敏度。

燃油汽车通过安装氧气传感器来监测排放尾气中的氧气含量,车载计算机根据检测信号调整输送到发动机的燃料/氧气混合物的比例。但是,随着时间的推移,氧气传感器可能会被燃料添加剂和油灰等燃烧副产物影响而结块失灵,无法完成监测功能。而燃料与氧气的比例不合适致使燃料燃烧不充分,会导致汽车运行不平稳,达不到理想的燃油效率,造成百公里油耗的增加。汽车制造商会在汽车使用手册中提供氧气传感器的使用注意事项等信息,定期维护、更换氧气传感器可以帮助车主避免驾驶过程中遭遇氧气传感器故障的情况。一般建议车龄不到十五年的汽车,行驶十万公里时需要更换一次氧气传感器。

1.2 自动检测技术概述

1.2.1 检测技术

检测是利用各种物理、化学效应,选择合适的检测方法 with 检测装置,将生产、科研、生活等各方面的有关信息通过测量和检查的方法赋予其定量或定性结果的过程。检测技术是人们为了对自然界的物质进行定量掌握或定性判断所采取的技术措施的总称,它是在测量、检验、检定等概念和技术的基础上发展起来的综合性技术学科。

测量是人类认识事物本质的不可缺少的过程,是人类对事物获得定量概念,以及探索事物内在规律的路径。从本质上来看,测量是一个比较的过程,即在尽可能短的时间内,以同性质的标准量(国际上或国家公认的性能稳定的标准量)与被测量进行比较,得到其相应的倍数。

从工程检测的角度出发,定义测量的概念:测量是按照某种规律,用数据来描述观察到的现象,即对事物做出量化描述。当以测量为目的,以一定精度把被测量转换成与之有确定关系的、易于处理的电量信号输出时,称其为“非电量的电测量技术”。电测量具有测量精度高、反应速度快、能自动连续地进行测量、可以进行遥测、便于自动记录、可以与计算机方便地连接进行数据处理、可以采用微处理器做成智能仪表、能实现自动检测与转换等一系列优点。

检验用来判断或分辨被检测物质参数是否合格或某种现象的有无,它区分



的是被检参数量值所属的某一范围带,而不是某一具体量值。检定则是在用仪器仪表定期与标准仪器仪表进行比对时,判定被检仪器仪表的准确度是否合格的一种操作,能够自动地完成整个检测处理过程的技术称为自动检测技术。

随着科学技术的飞速发展和工程技术的迫切需求,检测技术已广泛地应用于工业、农业、国防、航空、航天、医疗卫生和生物工程等领域,在国民经济中起着极其重要的作用。其中,工业检测技术的内容较广泛,大多数被测量为非电量,工业检测中的常见被测量如表 1-3 所示。

表 1-3 工业检测中的常见被测量

被测量类型	被测量	被测量类型	被测量
热工量	温度、热量、比热容、热流、热分布、压力(压强)、压差、真空度、流量、流速、物位、液位、界面	物体的性质和成分量	气体、液体、固体的化学成分、浓度、粘度、湿度、密度、酸碱度、浊度、透明度、颜色
机械量	直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量(重量)	状态量	工作机械的运动状态(启停等)、生产设备的异常状态(超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等)
几何量	长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平行度、同轴度、粗糙度、硬度、材料缺陷	电工量	电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度、材料的磁性能

1.2.2 过程参数检测

在生产过程中,人们需要对生产过程中的工艺参数进行检测,以实现生产过程
的监控和自动控制;需要对生产过程消耗的能源、材料进行检测,以实现
对生产过程的低成本、优化管理;需要对生产的产品进行监测监控,以提高
产品的合格率。检测的目的是获得定量分析和定性判断的信息,将其作为
分析、判断的依据,为决策提供保障。

现代化的生产过程是高效的、连续的生产过程,为了确保生产过程的安全,保证产品的产量和质量,减少能源消耗和降低成本,必须对反映生产过程进行情况的诸多参数进行自动检测和控制。过程参数检测技术就是对反映生产过程进行情况的参数和对运动对象实施自动定性检查和定量测量的技术。

在生产或科学实验中经常会遇到过程参数检测任务。在进行该类检测任务前首先要考虑的是应用什么样的测量原理,采用什么样的测量方法,同时还要考虑使用什么样的技术工具进行测量。



传感器能够检测的过程参数有很多,可将种类繁多的被测量分为基本被测量和派生被测量,派生被测量可通过对基本被测量的测量来实现,如表 1-4 所示。

表 1-4 基本被测量和派生被测量

基本被测量		派生被测量
位移	线位移	长度、厚度、应变、振动、磨损、平面度
	角位移	旋转角、偏转角、角振动
速度	线速度	振动、流量
	角速度	转速、角振动
加速度	线加速度	振动、冲击、质量
	角加速度	角振动、转矩、转动惯量
力	压力	质量、应力、力矩
时间	频率	周期、计数
光		光能量与密度、光谱
温度		热容
湿度		水汽、含水量、露点
浓度		气(液)体成分、黏度

1.2.3 检测方法分类

一个物理量的检测可以通过不同的方法实现。检测方法的选择是否正确,直接关系到检测结果的可信赖程度,也关系到检测的经济性和可行性。检测方法的分类形式多种多样,下面介绍几种常见的分类方法。

1. 根据传感器的敏感元件分类

参数的测量是指以自然规律(包括守恒定律、场的定律、物质定律、统计法则及各种效应)为基础,利用敏感元件特有的物理、化学或生物等效应,把被测量的变化转换为敏感元件的某一物理量(化学量或生物量)的变化。不同的敏感元件实现参数测量的方法一般也不同,主要包括以下几种。

1) 力学法

力学法一般是利用敏感元件把被测量转换成机械位移、变形等物理量,实现对被测量的测量,也称为机械法。例如,应变式传感器利用弹性元件把压力或力转换为弹性元件的位移。

2) 热学法

热学法根据被测介质热量的差异及热平衡原理进行参数的测量。例如,热线式风速仪是根据热线在流体中被带走的热量与流体流速的大小有关这一原理制成的,只要测出为保证热线温度恒定需提供的热量(加热电流量)或测出热线的温度(假定热线的供电电流恒定),就可获得流体的流速。



3) 电学法

电学法一般是利用敏感元件把被测变量转换成电压、电阻、电容等物理量,实现对被测量的测量。例如,利用热敏电阻的阻值变化测量温度;根据热电偶的热电效应测量温度。

4) 声学法

声学法大多是利用超声波在介质中的传播,以及在介质间界面处的反射等性质进行参数的测量。例如,超声波流量计利用超声波在流体中沿顺流方向和逆流方向传播的速度差来测量流体的流速。

5) 光学法

光学法利用光的直线传播、透射、折射和反射等性质,通过光电元件接收光信号,用光强度(或光波长)等光学量参数来表示被测量的大小。例如,利用光电开关实现产品计数;利用红外气体成分分析仪实现气体成分的测量等。

6) 磁学法

磁学法利用被测介质有关磁性参数的差异及被测介质或敏感元件在磁场中表现出来的特性实现对被测量的测量。例如,电磁流量计就是根据导电流体流经磁场时,由于切割磁力线使流体两端面产生感应电势,其大小与流体的流速成正比这一原理制成的。

7) 射线法

射线法利用射线穿过介质时部分能量会被物质吸收,吸收程度与射线所穿过的物质厚度、物质密度等性质有关。利用这种方法可以实现物位的测量,或测量混合物中某一成分的含量或浓度。

8) 生物法

生物法利用生物免疫原理、酶的催化反应原理等将被测量转化为电量参数来表示被测量的大小。

2. 根据测量条件分类

1) 等精度测量法

在测量过程中,使影响测量误差的各个因素(环境条件、仪器仪表、测量人员、测量方法)保持不变,对同一被测量进行次数相同的重复测量,这种测量方法称为等精度测量法。等精度测量法所获得的测量结果可靠程度是相同的。

2) 非等精度测量法

在测量过程中,测量环境条件有部分不相同或全部不相同,如测量仪表精度、重复测量次数、测量环境、测量人员熟练程度等有了变化,所得测量结果的可靠程度显然不同,这种方法称为非等精度测量法。在科学研究、重要的精密测量或检定工作中,为了获得更可靠和更精确的测量结果,需要采用非等精度测量法;而在工程技术中,多采用等精度测量法。



3. 根据测量手段分类

1) 直接测量

直接测量是将被测量与标准量进行比较,或用预先经标准量标定好的测量仪器或仪表进行测量,从而直接测得被测量的数值。例如,用弹簧管式压力表测量流体压力;用卷尺测量导线的长度。直接测量的优点是测量过程简单迅速。

2) 间接测量

不直接测量被测量本身,而是先测量与被测量有一定函数关系的其他量(一个或多个),再将测量结果用函数解析式计算、函数曲线或表格等方式求出被测量的数值,这种测量方式称为间接测量。例如,测量导线的电阻率 ρ ,首先用直接测量得到导线 R 、 l 、 d 的数值,由

$$R = \frac{\rho}{A} \times l \quad (1-1)$$

式中 A 为导线截面积, $A = \pi(\frac{d}{2})^2$ 。

由式(1-1)可得到 ρ 值。与直接测量相比,间接测量中间过程较多,花费时间较长,但可以得到较高的精度。

3) 组合测量

如果被测量有多个,无法单独用直接测量或间接测量来获取,可以用组合测量的方法进行测量。组合测量法(combination method of measurement)是指先直接测量与被测量有一定函数关系的某些量,然后在一系列直接测量的基础上,通过求解方程组来获得测量结果的方法。组合测量是一种兼用直接测量和间接测量的测量方式,比较烦琐,通常用于精密测量、智能仪表、实验室和科学研究中。

例如,应用组合测量法得到金属材料的热膨胀系数。金属材料的热膨胀公式为

$$L_x = L_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (1-2)$$

为了求出膨胀系数 α 、 β ,当 $t = 0$ ℃时,测得 L_0 ;当 $t = t_1$ 时,测得 L_{t_1} ;当 $t = t_2$ 时,测得 L_{t_2} ,然后建立联立方程组,而

$$\begin{cases} L_{t_1} = L_0(1 + \alpha t_1 + \beta t_1^2) \\ L_{t_2} = L_0(1 + \alpha t_2 + \beta t_2^2) \end{cases} \quad (1-3)$$

通过求解联立方程组即可得到系数 α 、 β 的数值。

4. 根据测量方式分类

1) 偏差式测量

在测量过程中,被测量作用于测量仪表的比较装置(指针),使比较装置产生偏移,利用偏移位移直接表示被测量大小的测量方法称为偏差式测量法。应用这种方法进行测量时,要用标准量具对仪表刻度进行校准,并按照仪表指针在标度尺上的示值决定被测量的数值,它是以间接的方式实现被测量与标准量的比较。例如,弹簧测力计、万用表测量电压。该测量方法过程比较简单迅速,但测量结果的精度较低。

2) 零位式测量

在测量过程中,被测量作用于测量仪表的比较装置,利用指零机构的作用,使