



普通高等教育“十二五”规划教材

# 传感器原理及应用

PRINCIPLES AND  
APPLICATIONS OF SENSORS

孙萍 何茗 姬海宁 主编

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{1}{V_0} \left( \frac{\partial V}{\partial \rho_1} \Delta \rho_1 + \frac{\partial V}{\partial \rho_2} \Delta \rho_2 + \frac{\partial V}{\partial \rho_3} \Delta \rho_3 + \frac{\partial V}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial V}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial V}{\partial \omega} \Delta \omega + \dots \right)$$

$$\Delta V = - \frac{2\% \Delta V}{1 + (0.01)^2} = -C_1 \Delta \rho_1$$



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

# 传感器原理及应用

孙萍 何茗 姬海宁 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了现代探测技术中常用的几类传感探测器件,内容包括温度传感器、湿度传感器、气体传感器、光照传感器、生物传感器、机械传感器、物联网及其应用技术。对各类传感器的理论和典型应用作了系统的阐述。本书按照检测对象划分章节,条理清晰,每章前面配有教学目标和教学要求,以帮助读者了解本章将要介绍的知识。

本书可作为高等院校电子科学与技术专业的光信息科学与技术、光电工程与光通信方向、物联网、应用物理、农业信息化等专业的教材,也可作为其他相近专业高年级本科生和硕士研究生的学习参考书,还可作为从事现代检测技术行业的工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

传感器原理及应用 / 孙萍, 何芸, 姬海宁主编. —北京: 科学出版社, 2014.6

ISBN 978-7-03-040825-9

I. ①传… II. ①孙… ②何… ③姬… 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(2014)第 115302 号

责任编辑: 杨 岭 黄 嘉 / 责任校对: 杨悦蕾

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 6 月第一次印刷 印张: 13.5

字数: 320 000

定价: 40.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 《传感器原理及应用》编委会

- 顾 问 谢光忠(电子科技大学)
- 主 编 孙 萍(四川农业大学)  
何 茗(成都工业学院)  
姬海宁(电子科技大学)
- 副主编 冯 兴(四川农业大学)  
黄 嘉(科学出版社)  
王显祥(四川农业大学)
- 编 委 (以姓氏汉语拼音为序)  
冯 兴(四川农业大学)  
何 茗(成都工业学院)  
黄 嘉(科学出版社)  
姬海宁(电子科技大学)  
李元勋(电子科技大学)  
卢长芳(四川农业大学)  
欧中华(电子科技大学)  
乔闹生(湖南文理学院)  
王开明(四川农业大学)  
王显祥(四川农业大学)

# 前 言

传感器是一种能够感受待测信息，并按规律将其转换为声光电信号或其他形式的输出的装置。传感器技术涉及微电子学、材料学、生物学、物理化学等，是一个包含多学科、多技术的高新技术。传感器及其应用技术是 21 世纪重要的新兴技术之一，是信息领域中一个具有重要战略意义的研究方向。它为人们提供了一种革命性的获取信息的新途径，将对人类未来的生活方式产生深远的影响，在环境监测、医疗卫生、交通管理、公共安全、农业和国防等许多领域具有广泛和重要的应用价值。

我国作为发展中国家，对传感器具有广泛而迫切的需求。传感器、通信和计算机称为现代信息系统的三大支柱。随着计算机、网络通信的飞速发展，人类对信息资源的需求量不断增加，智能感知芯片、移动嵌入式系统等物联网技术的应用逐步拓宽，作为信息采集技术的传感技术及传感器相对落后。传感器是获得信息的重要环节，影响和决定了物联网的功能。唯有计算机和传感器协调发展，才能决定物联网技术的未来。

本书总结与吸收了国内外近年来传感器领域内的最新研究成果和实践经验，在编写过程中紧紧围绕传感器应用技术，根据理论与实践相结合的原则，遵循由浅入深、循序渐进的认知规律，系统地阐述了各种传感器的工作原理、组成结构、特性参数、设计和选用的基本知识；较详细地论述了传感器核心部件设计；重点介绍了现代传感器技术在环境监测、机械化实现、生物传感器和物联网等领域中的应用。本书可适应研究型、应用型等不同层次的高等教育要求，对检测技术人员也具有使用和参考价值。

本书由四川农业大学、成都工业学院、湖南文理学院和电子科技大学等多所高校老师共同编写完成。四川农业大学孙萍、成都工业学院何茗和电子科技大学姬海宁担任本书的主编，科学出版社黄嘉及四川农业大学的冯兴和王显祥担任副主编。电子科技大学的谢光忠老师担任本书的学术顾问。李元勋(电子科技大学)、卢长芳(四川农业大学)、欧中华(电子科技大学)、乔闹生(湖南文理学院)、王开明(四川农业大学)等编委参与了本书各章节的编写。

本书在编写过程中参考并引用了大量的国内外书籍和文献，在此谨向这些书籍和文献作者表示崇高的敬意和衷心的感谢。本书在电子科技大学、四川农业大学、成都工业学院和湖南文理学院相关专业的教学中试用，许多同学也提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 2 月于成都

# 目 录

前言	
第 1 章 绪言	1
1.1 传感器的基本概念	1
1.2 传感器的应用发展	2
1.2.1 传感器在农业中的应用	2
1.2.2 传感器在工业、交通、医疗、科学等领域中的应用	7
第 2 章 传感器的基本特性	10
2.1 传感器的静态特性	10
2.1.1 线性度	10
2.1.2 灵敏度和精度	14
2.1.3 分辨力和阈值	14
2.1.4 迟滞性	15
2.1.5 重复性	15
2.1.6 稳定性	15
2.1.7 漂移	16
2.2 传感器的动态特性	16
2.2.1 传感器的动态数学模型	16
2.2.2 典型传感器的动态特性分析	19
第 3 章 温度传感器	23
3.1 热电偶温度传感器	24
3.1.1 热电偶的基本原理	24
3.1.2 热电偶的基本定律	27
3.1.3 热电偶的冷端误差及补偿措施	28
3.1.4 常用热电偶特性与结构	31
3.1.5 热电偶测温线路	33
3.2 热电阻温度传感器	34
3.2.1 金属热电阻温度传感器	34
3.2.2 半导体热敏电阻传感器	38
3.3 半导体 PN 结型温度传感器	43
3.3.1 二极管温度传感器	43
3.3.2 晶体管温度传感器	45
3.3.3 集成温度传感器	47

3.4 热辐射温度传感器	52
3.4.1 辐射测温的物理原理	52
3.4.2 辐射测温方法	53
3.5 电容式温度传感器	56
附录	58
<b>第4章 湿度传感器</b>	<b>61</b>
4.1 湿度及其表示方法	62
4.1.1 空气湿度	62
4.1.2 土壤湿度	64
4.2 湿度传感器概述	65
4.2.1 湿度传感器特性参数	65
4.2.2 湿度传感器分类	68
4.3 电阻式湿度传感器	68
4.3.1 无机电解质湿度传感器	68
4.3.2 陶瓷电阻式湿度传感器	71
4.3.3 高分子电阻式湿度传感器	74
4.3.4 高分子电组式湿度传感器	78
4.4 电容式湿度传感器	79
4.4.1 陶瓷电容式湿度传感器	79
4.4.2 高分子电容式湿度传感器	80
4.5 湿度传感器的应用实例	81
4.5.1 汽车后窗玻璃自动去湿装置	81
4.5.2 浴室镜面水汽清除器	82
4.5.3 土壤缺水告知器	83
4.5.4 电容式谷物水分测量仪	84
<b>第5章 气体传感器</b>	<b>86</b>
5.1 气体传感器概述	86
5.2 半导体气体传感器	87
5.2.1 半导体气体传感器及其分类	87
5.2.2 电阻型半导体气体传感器	87
5.2.3 半导体气体传感器主要特性参数	91
5.2.4 半导体气体传感器应用电路	93
5.3 红外吸收式气体传感器	96
5.3.1 红外气体传感器的测量原理	96
5.3.2 红外气体传感器的基本结构	98
5.3.3 常见红外气体传感器	98

5.4 声波气体传感器	99
5.4.1 QCM 气体传感器	100
5.4.2 SAW 气体传感器	102
5.4.3 声波气体传感器表面敏感膜的选择	107
5.5 农业中的气体传感器	109
5.5.1 农业环境检测 CO <sub>2</sub> 含量的传感器	109
5.5.2 检测畜禽舍环境中 NH <sub>3</sub> 含量的传感器	111
5.5.3 检测大棚通风口中 SO <sub>2</sub> 含量的传感器	112
<b>第 6 章 光照传感器</b>	<b>114</b>
6.1 光照对生物的影响	114
6.2 辐射机理及度量	116
6.2.1 太阳辐射	116
6.2.2 太阳辐射的度量	117
6.3 光照传感器	121
6.3.1 辐射传感器	121
6.3.2 照度传感器	123
6.3.3 量子流密度传感器	128
6.4 便携式照度计	129
6.4.1 基于光敏传感器的便携式照度计	129
6.4.2 基于集成传感器的便携式照度计	130
<b>第 7 章 生物传感器</b>	<b>131</b>
7.1 酶生物传感器	132
7.1.1 酶生物传感器的基本结构、工作原理及发展阶段	132
7.1.2 酶的固定技术	134
7.1.3 酶生物传感器的应用	135
7.2 微生物传感器	138
7.2.1 微生物传感器的定义与组成、工作原理及分类	138
7.2.2 微生物传感器在 BOD 检测中的应用	140
7.3 细胞传感器	141
7.3.1 细胞传感器原理	141
7.3.2 细胞传感器的分类	142
7.3.3 细胞传感器在食品领域中的应用	144
7.4 免疫传感器	146
7.4.1 免疫传感器的工作原理	146
7.4.2 免疫传感器的主要类型	147
7.4.3 免疫传感器在食品检测中的应用	149



7.4.4 免疫传感器的发展	151
7.5 组织传感器	152
7.5.1 动物组织传感器	152
7.5.2 植物组织传感器	154
7.5.3 组织传感器的应用	155
7.6 生物传感器在农药残留分析中的应用	156
7.6.1 农药生物传感器的必要性	156
7.6.2 农药生物传感器的发展现状	158
7.6.3 农药生物传感器的展望	158
<b>第8章 机械传感器</b>	<b>159</b>
8.1 谷物流量传感器	160
8.1.1 谷物流量传感器种类	160
8.1.2 冲量式流量传感器的工作原理	163
8.1.3 冲量式流量传感器的转换电路	165
8.1.4 冲量式流量传感器的差分消振电路	167
8.2 测产系统转速传感器	169
8.2.1 霍尔式转速传感器	169
8.2.2 磁电式转速传感器	176
8.2.3 光电式转速传感器	180
<b>第9章 物联网</b>	<b>183</b>
9.1 物联网的基本概念	183
9.2 物联网的基本框架	185
9.3 物联网的核心技术	185
9.3.1 RFID技术	186
9.3.2 无线传感器网络	187
9.4 物联网的应用	191
9.4.1 农业环境监测	191
9.4.2 气象监测	194
9.4.3 温室控制	195
9.4.4 节水灌溉	195
9.4.5 食品安全	196
9.5 农业物联网关键技术发展趋势预测	196
参考文献	198

# 第1章 绪 言

## 学习目标

通过本章的学习，了解传感器的基本概念及其在现代化生产过程中的应用和发展。

## 学习要求

- (1) 掌握传感器的基本概念。
- (2) 了解传感器在现代化生产各领域中的应用和发展前景。

## 简介

进入 21 世纪,信息技术的发展日新月异,信息技术的三大支柱技术——传感器技术、通信技术和计算机技术实现了质的飞跃。在科学实验和科技应用中,传感器技术犹如“感官”,通信技术犹如“神经”,计算机技术犹如“大脑”。而作为获取信息的“感官”,传感器在整个系统中的作用显得尤为重要。

目前,传感器技术已经被广泛应用在各个领域,从单一型的家用电器到科技密集型的航空航天领域,凡是涉及智能检测、智能显示、自动控制的装置,无疑都离不开传感器这一“感官”。

在科技迅猛发展的今天,采用先进的科技模式来解放劳动力、提高生产效率已经成为趋势。在当今的现代农业发展中,从农作物的育种、培育、采摘、收获到储藏等诸多环节,都离不开传感探测技术,传感器技术目前已经深入农业技术领域。在工业自动化生产中,现代技术的发展对生产中的安全要求、质量要求越来越高,对在生产过程中各种量的检测和控制自动化水平也越来越高,目前,传感器在钢铁、石化、医药、印染、食品等领域也有相当广泛的应用。本书将对传感器结构、性能及其在现代工业、农业等生产中的运用,以及发展前景进行介绍,并阐述传感器物联网技术在现代生产活动中的应用。随着传感技术的广泛应用,传感器的发展对于工业、农业等各领域的现代化进程的推进具有极其重要的作用及地位。传感器的发展及广泛应用也将会使得现代工农业生产更加便利化、集成化、智能化。

本章将简要介绍传感器的基本概念以及在现代化各领域生产中的应用及发展。

## 1.1 传感器的基本概念

传感器是指能对物质或反应变量作出感应的一种外部感知识别元器件,是一种能够使非电量按照特定规律转换成可处理或有利于传输的器件。一般情况下,传感器由敏感元器件、信号转换元器件以及信号调节与转换电路组成,通常还需要辅助电源。其结构如图 1-1(邹修国, 2011)所示。

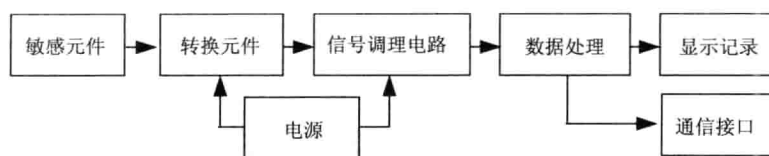


图 1-1 传感器的基本概念

敏感元件是传感器的核心元件，是指能够灵敏地感受被测变量并能够作出响应的器件，是传感器中直接感受被测量的部分。敏感元件通常是利用材料的某种敏感效应制成的。敏感元件可以按输入的物理量来命名，如热敏、光敏、(电)压敏、(压)力敏、磁敏、气敏和湿敏等。信号转换元件是指传感器中将敏感元件输出信号转换为适合传输和测量的电信号部分。一般传感器的转换元件是需要辅助电源的。有些传感器的敏感元件与转换元件合并在一起，如半导体气体、湿度、温度和压力传感器等。

时至今日，传感器已经成为物质分析与检测的重要手段与方法，但传感器的种类繁多，在国内外尚无统一的分类方法。按传感类型可分为接触式传感器与非接触式传感器。按传感器选用的换能器工作原理可分为压电、压阻式传感器，感抗、容抗式传感器，光学传感器，应变式传感器，质量型传感器，热学传感器以及霍尔式传感器等。按被检测物敏感性质可分为物理量敏感传感器、化学量敏感传感器和生物量敏感传感器。按其检测对象又可细分为温度传感器、湿度传感器、气体传感器、光照传感器、生物传感器和机械传感器等。

本书以传感器在现代化生产中常见的测量对象为主线介绍各类传感器，先介绍传感器的基本静态和动态特性，再分别介绍各种传感器的原理及其应用，最后综述物联网的发展和前景。

## 1.2 传感器的应用发展

近年来，随着科学技术的迅速发展，尤其是电子科学技术的深入应用，传感器技术应用也日趋成熟，其应用领域无处不在，渗入人类生产、生活的方方面面。下面将介绍传感器技术在各个领域中的应用。

### 1.2.1 传感器在农业中的应用

我国自古以来就是农业大国，但传统的以人为主、靠天吃饭的生产模式，严重地降低了生产效率。目前传感器在农业生产中的应用十分广泛，它可以深入到农业生产加工的各个环节中。随着近年来国内对农业科技投入力度的增大和科技兴农战略的深入发展，传感器在农业方面具有广阔的发展空间和应用市场。目前，国内传感器行业所面临的主要问题就是降低成本，向农业提供大量廉价适用的传感器，占领农业用传感器的市场。下面将从以下几个方面介绍传感器在农业中的应用。

#### 1. 传感器在农业机械化中的应用

机电一体化是农业机械发展的趋势，同时也是农业现代化的必经之路，而传感器技

术又是机电一体化的一体化关键技术之一。在改造传统的农业机械化、发展现代化的农业中,现代传感器技术早已跃跃欲试、摩拳擦掌,并已在农业机械的现代化之中大显身手了。

近年来,随着农业机械化的不断创新,大量的农业生产机械,如拖拉机、收割机、制米机、灌溉机等,都配备或安装了各式各样的传感器,以提高工作效率和农业生产性能。例如,近年来,美国研制出了一种农业收割机的割台高度自动控制系统,该系统由传感器、电子电路及液压部件等部分构成。收割作物的高度信号由位于割台输送带上的物位传感器检测,收割机的内部电子控制器把传感器的输入信号经过装置的滤波设备检波后,转换成升高、降低或继续保持割台高度的不同信号,通过装置的驱动电磁阀控制收割台的液压缸,调整割台的高度,并做出相应的收割动作。该系统在割台两端分别装备了一组近地传感器,以防收割机的割台设备触地受损。再如,2009年,日本东京东洋造米机设备厂推出一款可安装在农业联合收割机之上的,用来探测、分辨收获谷物中金属杂质的磁力传感器。其工作原理是利用收获物的磁场变化来实现杂质分离。其过程为收割后的谷物在滚动的筒管周围形成高频电磁场,利用装置内的磁力传感器来测量谷物滚动时所引起的电磁场变化,通过装置内分选器来剔除谷物中的金属杂质,进而实现杂质分离。

现代化农业离不开现代化农业机械,当今农业机械化实验、生产过程、制造过程都离不开传感器技术。在现代农业机械化试验过程中,人们利用传感器,同时在线监测农业机械多项性能参数以及多个部件的结构强度等指标,传感器技术不仅为农机理论研究以及农产品改良提供了充实的科学依据,而且提高了农机产品的制造质量。例如,在农业机械中利用阻抗型应变传感器测定农业收割机的犁体阻力,进而为犁体设计提供了有力的依据,在犁体设计过程中达到减少过程阻力及减少整体农机功耗的目的。例如,在精密播种机上配备光电传感器,通过设备的监控仪表可以对排种过程中的光电变化进行在线监控,以防止排种过程中排种器的堵塞,提高机械设备的效率,保证了排种过程中的合格率。

## 2. 传感器在培育良种中的应用

培育种子是农业生产的第一环节,应备受重视。近年来,生物技术、遗传工程等都成为良种培育的重要技术,而相关技术的生物传感器在其中发挥着极其重要的作用。早先报道生物传感器技术已被西班牙科学家应用于种子遗传基因的控制与操纵过程,如利用此项传感技术在大豆作物的种子内找到防脱水的种子基因,并利用传感器技术检测并优选此项基因,进而培育出了具有抗脱水性能的大豆作物种子。除此之外,在农作物的环境检测方面,传感器技术同样发挥着举足轻重的作用。温度传感器、湿度传感器、光传感器等应用于农作物育种环境监测;水分传感器、酸度传感器、氢离子传感器等应用于农作物土壤状况测量;各种离子传感器应用于农作物培育土壤中的氮、磷、钾等元素组分的测定,进而达到对农作物的生长过程中的必需元素的标定。

为了使农作物的生长不再受地域和时间的限制,现代化的工厂式育苗术及温控栽培技术已成为广大农业工作者必须掌握的技术。此类种植技术主要采用人造植物生长环境(如温度、湿度、光照等),已达到培育多种农作物的目的。在我国北方,温室栽培技术已逐步发展起来,在此类温室(玻璃)内采用自动喷散装置,消毒杀菌装置,温度、湿度

以及 CO<sub>2</sub> 控制装置, 进而实现温室操作全智能化。这些装置中采用了大量的温度传感器、湿度传感器、酸度传感器、多种气体传感器等, 分别对温室内的温度、湿度、土壤酸碱度、室内 CO<sub>2</sub> 及 O<sub>2</sub> 含量进行检测。目前国内大多数温室系统内已采用计算机自动调节室内温湿度以及送风量, 以获最优的模拟自然环境。

### 3. 传感器在种植方面的应用

种植过程是农业生产的基础。由于农作物的生长过程长、生产环节多, 所以在其整个生长过程中, 可以利用各种传感器探测、采集作物不同时期的多样信息, 及时采取相应的措施完成科学、高效的生产过程。美国的科学工作者通过在农作物的土壤中埋入离子型传感器来检测土壤中元素组成及成分, 并通过分析检测设备进行数据分析处理, 从而准确地判断农作物生长环境中应施肥的类型及分量。此外, 在植物的生长过程中, 还可以利用形状传感器、颜色传感器、重量传感器等监测农作物的外形、颜色、大小等, 用来判断农作物的植物机体成熟程度, 以便农业工作者适时采摘、收获; 利用多种气体传感器可以监测农作物机体的生长环境中多种气体成分的含量, 以达到监控植物光合作用的进行程度, 如塑料大棚蔬菜种植环境的监测等; 利用超声波传感器、噪声传感器、音频传感器等可以对作物天敌、农业病虫害等进行监管, 以达到促进农作物增产增收的目的; 利用流量传感器、温度传感器、湿度传感器等, 通过控制设备的计算机系统自动调节农作物的灌溉、施肥等过程。

传统的农业种植都是靠经验, 何时对农作物进行灌溉, 何时进行施肥完全依靠农业工作者的主观经验。当出现干旱等自然灾害时, 减产是不可避免的。江苏省首个物联网农业示范区——天蓝地绿农庄, 便引进了多种现代的传感器物联网技术。通过传感器物联网技术的检测, 农庄在 2010 年后便没有出现农作物种植土地干旱等情况。天蓝地绿农庄在 2010 年之初响应政府号召, 引进传感器技术, 并对其进行组网。他们在田间布置了大量的温湿度传感器、光照传感器和化学传感器, 通过这些传感器传输过来的数据, 了解田间温湿度、光照和养分等情况, 对蔬菜生长进行全程监控和数据化管理。这些传感器根据需要布置于各个位置, 有的悬挂, 有的放置于菜地上方, 它们能“读懂”植物的需要, 然后对它们进行组网, 通过无线发射的方式, 传送给办公室的控制系统中的计算机平台。计算机软件对数据进行分析, 通过分析数据的结果, 利用控制指令实现浇水、施肥等相应的操作。此外, 田间还装有多个视频传感器, 技术人员可以进行远程监控。这套装置就是利用物联网技术, 通过田间的传感器, 监控土壤中的湿度、养分, 空气中的二氧化碳、温度等信息, 把植物对生长环境的需求信息“翻译”出来。据他们介绍, 有了传感器技术的支撑, 各种蔬菜水果的生产情况都能了如指掌, 不仅节省了劳动力, 还实现了农田的远程管理。

通过物联网和传感器技术, 可以模拟各种蔬菜生长的条件, 对其生长环境进行控制。相信将来蔬菜种植不会再受地域的限制, 例如, 重庆的朝天椒可以到无锡种植, 广州的香蕉可以到北京生长。每个工作人员可以管理的范围也会进一步扩大, 种植变得更精细、更智能, 蔬菜的品质必将得到提高。

### 4. 传感器在饲养方面的应用

饲养业是提供重要农副产品的产业。优质的饲养业农副产品对人类的生活质量具有极其重要的作用, 其中的传感器应用技术在饲养业发展中担当了同样重要的角色。目前

我国的农业科研人员已经着手综合利用传感器技术及生物基因工程培育出生长周期短、瘦肉比高、低饲养料消耗的转基因家畜、家禽，以满足国内不断膨胀的人民市场需求。利用传感器物联网技术监测畜、禽、蛋等农产品的产地、鲜度。日本国立大学研制出一种可用于测定畜、禽肉鲜度的传感器，它可以高精度地测定出畜、禽、蛋等农副产品的蛋白质变质时所发出的臭味成分二甲基胺(DMA)的浓度，其传感器器件的检测限最小浓度可以达到 1 mg/L，利用这种传感器可以准确地掌握肉类及蛋白质的新鲜度，防止肉类及蛋白质变质。此外，美国堪萨斯州的多数养鸡场均配备了类似的传感器技术，以达到利用鸡蛋检测仪来检测鸡蛋质量好坏的程度。此类检测仪器主要是由两个压电传感器和一个监测器组成的。其检查过程是把鸡蛋放在两个传感器之间，其中一个传感器作为“发话人”，另一个传感器作为“受话人”，它们同时与监测器连接。如果鸡蛋没坏，则监测器上就显示出一个共振尖波峰；如果鸡蛋受到沙门氏菌污染而变质，则监测器上就出现一高一矮两个波峰，进而实现对变质鸡蛋的检测。利用这种仪器来检查鸡蛋不仅可以提高检测效率，还可以减少人力支出，其结果既快又准。此外，在科学的饲养过程中，仍需要对水状况进行检测，就需要用到温度传感器、氧含量传感器、离子传感器等；饲养环境的监测也离不开温度传感器、湿度传感器、光度传感器等；农畜饲料成分的测量需要利用多种离子传感器及蛋白质生物传感器等；自动化的饲料投放机需要利用重力传感器、温度传感器、光感传感器等。

#### 5. 传感器在农产品分类加工方面的应用

农产品及农副产品生产过程中均需要分类加工，在整个过程中仍需使用各种传感器。例如，光学传感器被用来对果蔬的糖度等进行测定，按照果蔬的糖度来划分等级，确保果蔬的口感及糖分含量。此外，加工过程中所用的传感器还有湿度传感器、温度传感器、水分传感器等。

储藏对农产品具有非常重要的作用，各种产品都需要储藏。在储藏的过程中，传感器也大有用武之地。人们利用果品细菌传感器来监测储存仓库内果蔬的霉变程度。此类传感器采用 700 纳米波长和 1100 纳米波长的近红外线，在照射果蔬时，通过穿透率的对比来识别正常的果豆和霉变的果豆。若采用传送带依次检测，每秒的检测速度为 3 米，一个传感器每小时可检查 75 公斤果蔬。该传感器对黄曲霉素的检测精度可达十亿分之一克。此外，为了确保储藏环境的适宜，还需用各种传感器进行环境的适时监测。例如，粮食的储藏需用温度传感器、湿度传感器、水分传感器等；蔬菜、水果等的储藏需用测量乙烯、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、氟利昂、温度、湿度的传感器等。

现代化粮库采用了先进的“分布式粮仓微机测温系统”(李新荣, 2001)。该系统以计算机为核心, 采用温度传感器对上百个点进行温度监测(也可接湿度传感器进行湿度监测)。由于有了十分先进可靠的测温技术, 仓容大幅度提高, 并有效地减少了霉变现象, 提高了工作效率, 减轻了劳动强度。微机测温系统还可以根据检测的温度及湿度数据对通风装置进行自动控制。在粮食入库前, 可采用水分传感器测定粮食的水分(必要时要用干燥机干燥)。该系统具有实时自检、自校与报警等功能。

目前, 在国内, 蔬菜和水果的储藏主要采用冷库低温储藏和气调库储藏。果蔬的储藏就是利用机械设备人工产生一个适宜果蔬保存的环境, 使果蔬的自我消耗降至最低,



避免果蔬因无氧呼吸产生的乙醇而腐烂变质。冷库低温储存主要采用外加制冷媒介制冷,将储存室内温度控制在最佳储存温度范围内(通常保持在 10℃ 以内)并保持恒定。在最佳储存温度范围内,果蔬能够维持自我消耗并将其降至最低,降低其内部活性酶的活度,抑制果蔬的水分挥发,及其内细菌等微生物的繁殖,有利于果蔬长期储存。在这种冷藏储存中,温湿传感器发挥着重要的作用,制冷设备则根据储存室内温度传感器以及湿度传感器的实时参数值进行在线控制,并维持最佳储存温度。气调库储藏技术是较为先进的果蔬保鲜储藏方法。它是在冷藏的基础上,增加气体成分调节装置,通过对果蔬储藏环境中温湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、O<sub>2</sub> 浓度以及乙烯浓度等条件的控制,抑制果蔬自呼吸作用,延缓其自身新陈代谢过程,更好地保持果蔬新鲜度,延长果蔬储藏期和保鲜期。所以相比冷藏库,气调库储藏除了控制温度,气调库内的相对湿度(RH)、O<sub>2</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度、乙烯浓度等均有相应的控制指标。控制系统采集气调库内的温度传感器、湿度传感器、氧气传感器、二氧化碳传感器等物理量参数,通过各种仪器仪表实时显示,使作为自动控制的参变量参与到自动控制中,从而保证有一个适宜的储藏保鲜环境,达到最佳的保鲜效果。

#### 6. 传感器在农业气象、环境方面的应用

农业生产离不开气候环境,实时监测环境的变化,准确地把握农时,对确保农作物的丰收至关重要。

雨水是影响作物生长的自然条件之一,而降雨量的大小对作物的生长有很大的影响。雨量传感器是通过测定蒸发在传感器裸露面上的雨水所需要的电功率来测量降水率的,测量的范围为 0.3~350 mm/h。除了雨水,还能用于雪的测量。雨量传感器能将降水率转换成电压信号输出,并且由记录仪记录。还能通过 V/F 转换成频率信号,较方便地与计算机接口,同时可以实现数字显示,便于数据存储,给科学研究带来方便。

除了雨量传感器,在这方面应用的传感器主要还有气压传感器、风速传感器、温度传感器、湿度传感器、光传感器等。

#### 7. 农业传感器发展现状

农业信息化的迅猛发展为农业传感器的发展提供了良好的前提条件及广阔的应用空间。随着现代农业信息化进程的加快,农业信息化过程中信息采集、信息处理以及信息传输乃至信息发布不断智能化、集成化,农业传感器的功能必将得到延伸,也必会在整个农业信息化过程中增强、完善与提高。目前我国农业信息化仍处于起步阶段,但是国内农业信息化的进程并未放缓,也已取得了一定的成果,如农业传感器研究已经取得了长足的发展。

浙江工业大学的俞立研究组提出了一种基于 WSN(无线传感器网络)的设施农业环境自动监控系统(WSN-FAEAM)的整体结构,WSN-FAEAM 通过系统终端的多种传感器节点以及外部的执行器群来实现对农作物及其生长环境的监测,监测范围包括温湿度、农作物根系附近土壤电导率、土壤 K 离子含量、环境 O<sub>2</sub> 浓度、环境 CO<sub>2</sub> 浓度、农作物光照强度(光合作用强度)、农作物植株生长情况等。该系统已经在浙江省得到了广泛应用,实现了农作物及其生长环境的实时在线监测。

农业传感器同样在农副产品的加工与再加工过程中担当着重要角色。浙江大学的王俊研究组利用现代传感器技术,通过成分分析、线性分类法以及神经网络分析方法对龙井茶叶品质进行了分类。王俊研究组通过多种传感判别终端对茶叶进行检测,提取其品

质成分中的各特征值,利用特征值组成特征向量,作为神经网络识别分析输入矢量,采用PCA及BP神经算法提取茶叶最优特征组合,构成新型的模式识别方法,对茶叶的等级以及加工储藏时间进行分析比较。

中国农业大学的王一鸣研究组以土壤介电特性为研究的切入点,对基于驻波率(standing wave ratio, SWR)原理的土壤水分快速测量方法做了系统的理论分析和深入的性能分析研究,为研究开发成功SWR型土壤水分测量传感器奠定了基础,同时研制出与全球定位系统(GPS)联合使用的土壤水分空间分布速测仪样机。

吉林大学的张哲提出通过分析人嗅觉系统和狗嗅觉系统的差异,总结其生物特点,设计了仿生鼻流道系统,使用商品气体传感器构成传感器阵列并自行设计了放大电路、滤波电路预处理信号,然后经模数(A/D)转换,运用人工神经网络系统处理传感器阵列信号。此系统操作简单、响应时间短、不使用化学药品,原样品的回判率达到100%,新样品的测试准确率在96%以上。此系统同时还可以通过更换新传感器阵列,提高传感系统的敏感监测性能。本研究为食品快速检验提供了新的思路。

吉林大学的孙宁海研究组开发了一套以重力传感器为感触终端的人工感触模拟装置,此装置可以对肉产品的鲜嫩程度进行准确的评定。此装置通过终端传感器阵列对肉质进行评价与分析,运用人工神经网络系统处理传感器阵列信号,克服了感官评定过程中的人为干扰因素,省去了传统评定过程中的常规过程,仅对生肉产品进行评价。评定速度快、测试结果准确。

河北农业大学的史智兴研究组提出了一种以半导体激光二极管为光源的激光束栅格光电传感器系统,此传感器系统应用于农作物播种精度检测,解决了传统传感器检测覆盖率低的问题,提高了农作物播种的精确度。

湖南农业大学李明、李旭研究组提出了一种基于全方位视觉传感器、用于农业机械自动导航的视觉定位系统。该系统不仅有助于基于GPS的农业机械自动导航定位系统的发展,而且将给农业机械自动化、智能化和农业机器人的导航定位研究带来新的进展。

## 1.2.2 传感器在工业、交通、医疗、科学等领域中的应用

### 1. 传感器在工业生产过程的测量与控制方面的应用

随着信息技术的发展,现代化工业生产的发展趋势体现在大型、快速、高效、低耗、保护环境和防止污染等方面。生产过程的最优化控制、图像识别、人机联系、智能化和无人控制正是这一发展趋势的重要标志。在工业生产过程中,要实现对工作状态的监控,必须对温度、压力、流量、液位和气体成分等参数进行检测,诊断生产设备的各种情况,使生产系统处于最佳状态,从而保证产品质量,提高生产效益。目前传感器与微机、通信等结合渗透,自动化技术和信息技术的快速发展要求传感器技术必须同步发展。在工业过程控制方面,计算机技术的应用比较成熟,生产过程中需要采集的生产信息量大,生产过程中对传感器的需求更加多样化,如压敏、热敏、光敏、气敏、湿敏、磁敏和光电转换器件等,以实现各种工业过程中的控制、监测的自动化和智能化,并进一步提高其准确性和生产效率。可以说,如果没有传感器,现代工业生产程度将会大大降低。



## 2. 传感器在智能汽车中的应用

随着电子技术及计算机技术的发展,汽车的安全舒适、低污染、高燃率越来越受到社会重视,汽车电子化程度不断提高,传统的机械系统已经难以解决某些与汽车功能系统要求有关的问题。传感器作为汽车自动化控制系统的关键部件,在汽车中相当于感官和触角,只有它才能准确地采集汽车工作状态的信息,其技术性能将直接影响汽车的智能化水平和自动化程度。汽车传感器主要分布在发动机控制系统、底盘控制系统和车身控制系统。普通汽车上装有 10~20 只传感器,而高级豪华车有的使用传感器多达 300 只。它们大体可分为三类:①汽车发动机控制系统中的传感器技术,如温度传感器、压力传感器、流量传感器、氧传感器和爆震传感器等;②底盘控制系统中的传感器技术,如自动防抱死制动系统用传感器、动力转向系统用传感器、悬架系统控制用传感器和变速器控制用传感器等;③应用于自动空调系统中的多种风量传感器、日照传感器、车速传感器、加速度传感器等,有效地提高了汽车的安全性、可靠性和舒适性。

## 3. 传感器在 ITS 中的应用

ITS 是人们将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子控制技术、传感器技术和计算机处理技术等有效地综合运用于整个交通运输体系,从而建立起一种在大范围内、全方位发挥作用的实时、准确、高效的运输综合管理系统。ITS 系统中常用的传感器有磁性传感器、图像传感器、雷达传感器、超声波传感器和红外传感器等。这些传感器主要应用于车辆检测、车辆识别和分类、车辆控制、环境信息检测和危险驾驶警告方面。

## 4. 传感器在虚拟仪器中的应用

虚拟仪器就是在通用计算机上加上软件和硬件,当使用者在操作该计算机时,就像在操作一台自己设计的专用传统电子仪器。虚拟仪器中常用的传感器有热电偶、RTD、应变片、电流输出器件等。具体应用到了信号处理技术(其发挥的作用是放大、滤波与平滑和隔离)和瞬态信号采集技术(包括同步采样与连续扫描、变速采样技术等)。

## 5. 传感器在现代医学领域的应用

传感器作为探测、获取信息的“五官”,在现代医学仪器设备中的应用日益显著。医学传感器使人们能快速、准确地获取生命体征的相关信息。例如,在图像处理、临床化学检验、生命体征参数的监护监测,呼吸、神经、心血管疾病的诊断与治疗等方面,传感器已得到了广泛的应用。

## 6. 传感器在环境监测方面的应用

近年来,环境污染日益严重。人们迫切希望能对污染物进行连续、快速、在线的监测。目前,已有相当一部分生物传感器应用于环境监测中,如大气环境监测。大气中酸雨酸雾的传统检测方法相当复杂。由于二氧化硫是酸雨酸雾形成的主要原因,现在将亚细胞类脂类固定在醋酸纤维膜上,与氧电极制成安培型生物传感器,就可对酸雨酸雾样品溶液进行检测,大大简化了检测方法。

## 7. 传感器在军事领域中的应用

传感器技术在军用电子系统的运用,促进了武器、作战指挥、控制、监视和通信方面的智能化。传感器在远方战场监视系统、防空系统、雷达系统、导弹系统等方面,都有广泛的应用,是提高军事战斗力的重要因素。目前传感器在军事领域的应用主要体现