



普通高等教育电气信息类规划教材



免费电子教案下载

[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

# 传感器技术 实用教程

主 编 吕勇军



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育电气信息类规划教材

# 传感器技术实用教程

主 编 吕勇军



机械工业出版社

本书介绍常用传感器的工作原理、特性及应用。内容包括：温度测量传感器、力与压力测量传感器、位移与速度测量传感器、角度与角位移测量传感器、磁场与成分检测传感器和光学测量传感器。对于每种传感器，在阐述基本工作原理的基础上，均给出了典型测量电路和应用实例。本书特色是：以被测对象为线索介绍相关传感器，便于读者掌握、比较与选择传感器；简化工作原理以及工艺结构的描述，强化传感器的外部特性、主要参数、接口方式以及应用电路等方面内容，可帮助读者在了解传感器工作原理的基础上，掌握选择合适传感器和正确使用传感器的方法。

本书可作为大专院校电类及相关专业的教材或教学参考书，也可供相关领域的工程技术人员参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

传感器技术实用教程/吕勇军主编. —北京：机械工业出版社，2011.9  
普通高等教育电气信息类规划教材  
ISBN 978-7-111-35962-3

I. ①传… II. ①吕… 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（2011）第 194945 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：郝建伟 黄 伟 版式设计：霍永明

责任校对：张 媛 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20.25 印张·498 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-35962-3

定价：38.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着现代检测技术、控制技术和自动化技术的发展,传感器技术在现代测控领域中的作用日益显著,已成为推动科学技术进步的基础与关键技术之一。

传感器课程是一门理论和实际密切结合的课程,本课程的教学目的是培养学生将传感器的基本理论与应用实践相结合,并能够在工程实践中灵活地应用。

本教材注重实用性和实践性,教材的编写在内容和形式上与传统教材相比有了较大的改进。其主要特点是:

1) 传统教材内容的组织形式是按照传感器的工作原理进行分类讲解的,而本教材是根据被测对象进行分类讲解的,并在每章后面都有适用于该被测对象的各种传感器的性能参数以及使用范围的对照比较。这种教材内容的组织形式,可使读者在学习过程中比较容易地总结归纳出同一种被测对象可以使用哪几种传感器进行检测,以及这些传感器各自的特点及适用范围。有利于提高读者解决工程实际问题的能力。

2) 本教材重点强化各种传感器的外部特性、主要参数、接口方式以及实际应用等内容。其目的是使读者能够掌握各种传感器的选择方法、使用方法以及相关电路的设计方法。

3) 在讲解每一种传感器时都介绍了其在实践中的相关应用,并给出了多个应用示例。每一章均给出了大量的习题,供读者复习和练习。

4) 为加强实践训练环节,在每章后都针对本章教学内容配置了多个相应的实验项目,这些实验绝大多数要求读者自行搭接电路并调试,以培养学生的实践应用能力。考虑到各院校实验设备的差异,实验内容仅给出一般实验电路图供教学时参考。学生既可按照该电路图进行实验,也可在了解实验电路原理的情况下,根据现有实验设备,自行设计实验电路,按实验步骤完成实验。

5) 在了解各种传感器原理及其应用的基础上,增加了智能家居环境监测系统传感器设计的内容。给读者提供了一个传感器以及测控系统的整体设计思路,以加深对传感器应用的理解。

本教材共分9章,第1章介绍了传感器的定义、基本特性及其标定方法等基本概念;第2~7章分别介绍了温度测量传感器、力与压力测量传感器、位移与速度测量传感器、角度与角位移测量传感器、磁场与成分检测传感器和光学测量传感器;第8章介绍了传感器的补偿与抗干扰技术;第9章介绍了智能家居环境监测系统传感器设计。

本教材由吕勇军主编,祝尚臻和雷彦华参编,佟伟光教授担任本书的主审。

第1~5章、第8章由吕勇军编写，第7、9章由祝尚臻编写，第6章及各章的实验部分由雷彦华编写。

佟伟光教授对编写大纲和教材各章内容进行了审阅，提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。电子科技大学刘乃琦教授，以及部分应用型本科院校的老师对本书的编写大纲提出了宝贵的修改意见，谨此一并表示衷心的感谢。同时，还对本书参考文献的作者致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和疏漏之处，恳请广大读者和同行专家提出宝贵意见。

**编 者**

# 目 录

## 前言

## 第1章 绪论 ..... 1

### 1.1 传感器基本概念 ..... 1

#### 1.1.1 传感器的定义与分类 ..... 1

#### 1.1.2 传感器的命名方法 ..... 2

#### 1.1.3 传感器的基本特性 ..... 3

#### 1.1.4 传感器的选用 ..... 6

#### 1.1.5 传感器的发展趋势 ..... 8

### 1.2 传感器的标定 ..... 10

#### 1.2.1 标定的概念 ..... 10

#### 1.2.2 标定的基本方法 ..... 10

#### 1.2.3 传感器的静态标定 ..... 10

#### 1.2.4 传感器的动态标定 ..... 11

### 本章小结 ..... 12

### 思考与练习 ..... 12

## 第2章 温度测量传感器 ..... 13

### 2.1 电阻式温度传感器 ..... 13

#### 2.1.1 金属热电阻 ..... 13

#### 2.1.2 半导体热敏电阻 ..... 15

#### 2.1.3 电阻式温度传感器的测量电路 ..... 18

#### 2.1.4 工业热电阻命名方法 ..... 20

#### 2.1.5 电阻式温度传感器的应用 ..... 20

### 2.2 热电偶 ..... 24

#### 2.2.1 工作原理及基本定律 ..... 24

#### 2.2.2 热电偶结构 ..... 25

#### 2.2.3 热电偶的冷端补偿方法 ..... 26

#### 2.2.4 热电偶的测量误差 ..... 31

#### 2.2.5 常用热电偶及热电偶命名方法 ..... 32

#### 2.2.6 热电偶应用电路 ..... 33

### 2.3 集成温度传感器 ..... 35

#### 2.3.1 集成温度传感器的分类与特点 ..... 35

#### 2.3.2 集成温度传感器的应用 ..... 36

### 2.4 红外测温技术 ..... 42

#### 2.4.1 红外测温原理 ..... 43

#### 2.4.2 红外测温技术的应用 ..... 44

### 2.5 温度测量传感器性能比较 ..... 44

### 本章小结 ..... 46

### 温度测量传感器实验 ..... 46

### 思考与练习 ..... 48

## 第3章 力与压力测量传感器 ..... 49

### 3.1 电阻式压力传感器 ..... 49

#### 3.1.1 金属电阻应变式传感器 ..... 49

#### 3.1.2 压阻式传感器 ..... 54

#### 3.1.3 电阻式压力传感器的驱动及测量 电路 ..... 56

#### 3.1.4 电阻式压力传感器的应用 ..... 60

### 3.2 压电式压力传感器 ..... 63

#### 3.2.1 压电效应与压电式压力传感器 ..... 63

#### 3.2.2 压电式压力传感器等效电路 ..... 64

#### 3.2.3 压电式压力传感器测量电路 ..... 65

#### 3.2.4 压电式压力传感器主要技术指 标 ..... 67

#### 3.2.5 压电式传感器的应用 ..... 68

### 3.3 差动变压器式传感器 ..... 69

#### 3.3.1 差动变压器工作原理 ..... 69

#### 3.3.2 差动变压器的主要特性 ..... 70

#### 3.3.3 差动变压器的误差及补偿 ..... 71

#### 3.3.4 差动变压器测量电路 ..... 72

#### 3.3.5 差动变压器的应用 ..... 76

### 3.4 集成压力传感器 ..... 79

#### 3.4.1 集成硅压力传感器 ..... 79

#### 3.4.2 智能压力传感器 ..... 83

### 3.5 压磁式传感器 ..... 87

#### 3.5.1 压磁式传感器的工作原理 ..... 88

#### 3.5.2 压磁式传感器的测量误差 ..... 89

#### 3.5.3 压磁式传感器测量电路 ..... 90

### 3.6 力与压力测量传感器性能比较 ..... 90

### 本章小结 ..... 91

### 力与压力测量传感器实验 ..... 92

### 思考与练习 ..... 95

## 第4章 位移与速度测量传感器 ..... 96

### 4.1 电感式位移传感器 ..... 96

#### 4.1.1 电感位移传感器原理与分类 ..... 96

#### 4.1.2 电感式位移传感器输出特性 ..... 98

|                                        |     |                                 |     |
|----------------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 4.1.3 电感式位移传感器测量电路 .....               | 98  | 5.3 旋转变压器 .....                 | 146 |
| 4.2 电涡流式传感器 .....                      | 99  | 5.3.1 旋转变压器的基本工作原理 .....        | 146 |
| 4.2.1 电涡流式传感器工作原理 .....                | 100 | 5.3.2 旋转变压器信号处理 .....           | 148 |
| 4.2.2 电涡流式传感器测量电路 .....                | 101 | 5.3.3 旋转变压器的应用 .....            | 154 |
| 4.2.3 电涡流式传感器的应用 .....                 | 103 | 5.4 自整角机 .....                  | 155 |
| 4.3 电容式位移传感器 .....                     | 106 | 5.4.1 自整角机的工作原理 .....           | 156 |
| 4.3.1 电容式位移传感器原理与分类 .....              | 106 | 5.4.2 自整角机主要参数 .....            | 158 |
| 4.3.2 电容式位移传感器的特点 .....                | 107 | 5.4.3 自整角机—数字信号转换器 .....        | 159 |
| 4.3.3 电容式位移传感器测量电路 .....               | 108 | 5.4.4 自整角机的应用 .....             | 161 |
| 4.3.4 电容式位移传感器的应用 .....                | 111 | 5.5 角度与角位移测量传感器性能比<br>较 .....   | 163 |
| 4.4 霍尔传感器 .....                        | 113 | 本章小结 .....                      | 164 |
| 4.4.1 霍尔传感器的结构与工作原理 .....              | 113 | 角度与角位移测量传感器实验 .....             | 165 |
| 4.4.2 霍尔传感器的主要参数 .....                 | 114 | 思考与练习 .....                     | 169 |
| 4.4.3 霍尔传感器测量电路与误差补<br>偿 .....         | 114 | <b>第6章 磁场与成分参数测量传感器</b> .....   | 170 |
| 4.4.4 霍尔传感器的应用 .....                   | 117 | 6.1 磁敏电阻传感器 .....               | 170 |
| 4.5 光栅式传感器 .....                       | 118 | 6.1.1 磁敏传感器的工作原理与结构 .....       | 170 |
| 4.5.1 光栅的结构与种类 .....                   | 118 | 6.1.2 磁敏电阻常用型号 .....            | 172 |
| 4.5.2 光栅式传感器的工作原理 .....                | 119 | 6.1.3 磁敏电阻的应用 .....             | 173 |
| 4.5.3 辨向与细分电路 .....                    | 120 | 6.2 集成磁场传感器 .....               | 174 |
| 4.5.4 光栅式传感器参数 .....                   | 121 | 6.2.1 线性集成磁场传感器 .....           | 175 |
| 4.5.5 光栅式传感器的应用 .....                  | 122 | 6.2.2 磁场角度集成传感器 .....           | 175 |
| 4.6 微波传感器 .....                        | 123 | 6.2.3 集成磁场传感器的应用 .....          | 176 |
| 4.6.1 微波传感器的原理与分类 .....                | 123 | 6.3 磁敏二极管和磁敏晶体管 .....           | 178 |
| 4.6.2 微波传感器的应用 .....                   | 124 | 6.3.1 磁敏二极管工作原理和主要特<br>性 .....  | 178 |
| 4.7 超声波传感器 .....                       | 125 | 6.3.2 磁敏晶体管工作原理和主要特<br>性 .....  | 181 |
| 4.7.1 超声波及其特性 .....                    | 125 | 6.3.3 磁敏二极管和磁敏晶体管常用<br>型号 ..... | 183 |
| 4.7.2 超声波传感器的工作原理、主要<br>参数及发送与接收 ..... | 125 | 6.3.4 磁敏二极管和磁敏晶体管的应<br>用 .....  | 184 |
| 4.7.3 超声波传感器的应用 .....                  | 128 | 6.4 气敏传感器 .....                 | 186 |
| 4.8 位移检测传感器性能比较 .....                  | 131 | 6.4.1 气敏传感器基本概念 .....           | 186 |
| 本章小结 .....                             | 132 | 6.4.2 电阻型半导体气敏传感器 .....         | 186 |
| 位移与速度测量传感器实验 .....                     | 133 | 6.4.3 气敏传感器常用型号 .....           | 188 |
| 思考与练习 .....                            | 135 | 6.4.4 气敏传感器的应用 .....            | 189 |
| <b>第5章 角度与角位移测量传感器</b> .....           | 137 | 6.5 湿敏传感器 .....                 | 191 |
| 5.1 感应同步器 .....                        | 137 | 6.5.1 湿敏传感器的基本概念及分<br>类 .....   | 191 |
| 5.1.1 感应同步器的结构与工作原理 .....              | 138 | 6.5.2 湿敏电阻的类型及工作原理 .....        | 193 |
| 5.1.2 感应同步器信号处理 .....                  | 140 | 6.5.3 湿敏传感器常用型号 .....           | 196 |
| 5.1.3 感应同步器的应用 .....                   | 141 | 6.5.4 湿敏传感器的应用 .....            | 197 |
| 5.2 光电编码器 .....                        | 142 |                                 |     |
| 5.2.1 光电编码器原理与分类 .....                 | 142 |                                 |     |
| 5.2.2 光电编码器主要参数 .....                  | 143 |                                 |     |
| 5.2.3 光电编码器的应用 .....                   | 144 |                                 |     |

|                                       |            |                                               |            |
|---------------------------------------|------------|-----------------------------------------------|------------|
| 本章小结 .....                            | 199        | 7.6.4 光电池的应用 .....                            | 231        |
| 磁场与成分参数检测传感器实验 .....                  | 200        | 7.7 光纤传感器 .....                               | 232        |
| 思考与练习 .....                           | 201        | 7.7.1 光纤传感器基本理论 .....                         | 232        |
| <b>第7章 光学测量传感器 .....</b>              | <b>203</b> | 7.7.2 光纤传感器分类 .....                           | 234        |
| 7.1 概述 .....                          | 203        | 7.7.3 光纤传感器的应用 .....                          | 234        |
| 7.1.1 热辐射光源 .....                     | 203        | 7.7.4 光纤传感器的特点 .....                          | 236        |
| 7.1.2 气体放电光源 .....                    | 204        | 7.8 CCD 图像传感器 .....                           | 237        |
| 7.1.3 发光二极管 .....                     | 204        | 7.8.1 CCD 图像传感器的基本理论 .....                    | 238        |
| 7.1.4 激光器 .....                       | 205        | 7.8.2 CCD 图像传感器主要特性参<br>数 .....               | 241        |
| 7.2 光电效应 .....                        | 205        | 7.8.3 CCD 图像传感器的应用 .....                      | 241        |
| 7.2.1 外光电效应 .....                     | 205        | 本章小结 .....                                    | 243        |
| 7.2.2 内光电效应 .....                     | 206        | 光学测量传感器实验 .....                               | 243        |
| 7.3 光敏电阻 .....                        | 206        | 思考与练习 .....                                   | 246        |
| 7.3.1 光敏电阻的工作原理和结构 .....              | 206        | <b>第8章 传感器的补偿和抗干扰技<br/>术 .....</b>            | <b>247</b> |
| 7.3.2 光敏电阻的特性和参数 .....                | 207        | 8.1 传感器的补偿技术 .....                            | 247        |
| 7.3.3 光敏电阻器的分类和常用型号 .....             | 209        | 8.1.1 非线性误差及补偿 .....                          | 247        |
| 7.3.4 光敏电阻器性能检测 .....                 | 210        | 8.1.2 温度误差及补偿 .....                           | 250        |
| 7.3.5 光敏电阻器的应用 .....                  | 210        | 8.2 传感器的抗干扰技术 .....                           | 252        |
| 7.3.6 光敏电阻的特点及使用注意事<br>项 .....        | 213        | 8.2.1 干扰的分类 .....                             | 252        |
| 7.4 光敏二极管和光敏晶体管 .....                 | 214        | 8.2.2 干扰的耦合方式 .....                           | 255        |
| 7.4.1 光敏二极管和光敏晶体管的结<br>构和工作原理 .....   | 214        | 8.2.3 抑制干扰的措施 .....                           | 256        |
| 7.4.2 光敏二极管和光敏晶体管的参<br>数和特性 .....     | 215        | 本章小结 .....                                    | 260        |
| 7.4.3 常用光敏二极管和光敏晶体管<br>型号及参数 .....    | 217        | 思考与练习 .....                                   | 261        |
| 7.4.4 光敏二极管和光敏晶体管的简<br>易测试方法 .....    | 219        | <b>第9章 智能家居环境监测系统传感<br/>器设计 .....</b>         | <b>262</b> |
| 7.4.5 光敏二极管和光敏晶体管的应<br>用 .....        | 220        | 9.1 智能家居安防系统传感器设计 .....                       | 262        |
| 7.4.6 光敏二极管和光敏晶体管的特<br>点及应用注意事项 ..... | 222        | 9.1.1 家居防盗报警系统传感器设计 .....                     | 262        |
| 7.5 光耦合器 .....                        | 222        | 9.1.2 无线门磁传感器系统设计 .....                       | 270        |
| 7.5.1 光耦合器的结构与原理 .....                | 222        | 9.2 家居有害气体检测报警系统设计 .....                      | 271        |
| 7.5.2 光耦合器的主要参数 .....                 | 223        | 9.2.1 常用气敏传感器的分类及工作<br>原理 .....               | 271        |
| 7.5.3 常用光耦合器型号及参数 .....               | 224        | 9.2.2 基于 QM-N5 型气敏元件的家居<br>有害气体检测报警电路设计 ..... | 272        |
| 7.5.4 光耦合器简易测试方法 .....                | 225        | 9.3 火灾报警系统传感器选择与设计 .....                      | 273        |
| 7.5.5 光耦合器的应用 .....                   | 226        | 9.3.1 常用的火灾探测器种类及原理<br>介绍 .....               | 273        |
| 7.6 光电池 .....                         | 228        | 9.3.2 火灾探测器的选择 .....                          | 274        |
| 7.6.1 光电池原理与结构 .....                  | 228        | 9.3.3 离子感烟探测器设计 .....                         | 275        |
| 7.6.2 光电池特性及参数 .....                  | 229        | 9.3.4 光电感烟探测器设计 .....                         | 277        |
| 7.6.3 部分常用光电池的型号参数 .....              | 230        | 9.4 家居温湿度检测传感器系统设计 .....                      | 280        |



|                                     |     |                     |     |
|-------------------------------------|-----|---------------------|-----|
| 9.4.1 常用温度测量传感器及原理 .....            | 280 | 本章小结 .....          | 288 |
| 9.4.2 常用湿度测量方法及传感器介<br>绍 .....      | 281 | 附录 .....            | 289 |
| 9.4.3 用 SHT11 传感器构建温度测量<br>系统 ..... | 282 | 附录 A 常用热电阻分度表 ..... | 289 |
|                                     |     | 附录 B 常用热电偶分度表 ..... | 293 |
|                                     |     | 参考文献 .....          | 312 |

# 第1章 绪 论

## 本章要点

- 传感器概念及传感器在国民经济发展中的重要地位
- 传感器的组成及传感器的主要特性
- 传感器标定及其标定方法
- 传感器的发展趋势

## 1.1 传感器基本概念

传感器一般处于研究对象或检测控制系统的最前端，是感知、获取与检测各种信息的窗口。传感器所获得和转换的信息正确与否，直接关系到整个测控系统的性能，所以它是检测与控制系统的重要环节。

当今社会是信息化的社会，传感器技术、信息技术和计算机技术被称为现代信息产业的三大支柱。信息的有效获取是信息技术发展的关键，因此，传感器技术将越来越广泛地应用于社会生产和科学研究领域。

传感技术的发展与其他科学技术的发展是紧密联系的，它们互相依赖、相互促进。现代科技的发展不断地向传感器技术提出新的要求，推动了传感器技术的发展。据资料统计：一辆汽车需要 100 余种传感器及与其配套的检测仪表，用来检测车速、方位、转矩、振动、油压、油量、温度等；一架飞机需要 3600 余种传感器及与其配套的检测仪表，用来监测飞机各部位的参数和发动机的参数等。可见，传感器在工程技术领域占有非常重要的地位。

### 1.1.1 传感器的定义与分类

#### 1. 传感器概念

传感器是能感受规定的测量量并按一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。也就是说，传感器是一种按一定的精度把被测量转换为与之有确定关系的、便于应用的某种物理量的测量器件或装置，用于满足系统信息传输、存储、显示、记录及控制等要求。

传感器首先是一种测量器件或装置，它的作用体现在测量上。例如，我们常见的发电机，它是一种可以将机械能转换成电能的转换装置，从能量转换的角度看，它是一种发电设备，不能称为传感器；但从另一个角度看，人们可以通过发电机发电量的大小来测量调速系统的机械转速，这时，发电机就可看成是一种用于测量转速的测量装置，是一种速度传感器，通常称为测速发电机。

传感器定义中的“可用输出信号”，是指便于传输、转换及处理的信号。一般“可用输出信号”是指电信号，“规定的测量量”一般是指非电量信号。在工程中常需要测量的非电量信号有力、压力、温度、流量、位移、速度、加速度、转速、浓度等。由于这些非电量信号不能像电信号那样可用电工仪表和电子仪器直接测量，所以需要利用传感器技术实现由非

电量到电量的转换。

传感器总是处于测试系统的最前端，用来获取检测信息，其性能的好坏将直接影响整个测试系统的性能，因此，传感器对测量精确度起着决定性作用。

2. 传感器组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、信号调理转换电路 3 部分组成，有时还需辅助电源提供转换能量，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，并输出与被测量成确定关系的某一物理量

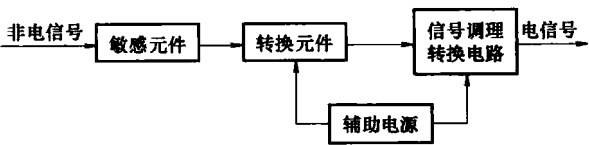


图 1-1 传感器的组成

的元件；转换元件是指传感器中能将敏感元件输出的物理量转换成适合于传输或测量的电信号的部分。由于转换元件的输出信号一般都很微弱，因此，信号调理转换电路的作用是将转换元件输出的电信号进行适当的转换和处理，例如，放大、滤波、线性化、补偿等，以获得更好的品质特性，便于后续电路实现显示、记录、处理及控制等功能。

随着半导体器件与集成技术的高速发展，已经实现了将传感器的信号调理转换电路与敏感元件集成在同一芯片上，例如，集成温度传感器 AD590、DS18B20 等。

3. 传感器分类

一般情况下，对某一物理量的测量可以使用不同的传感器，而同一传感器又往往可以测量不同的多种物理量，所以传感器有许多分类方法。目前一般采用两种分类方法：一种是按照被测参数分类，例如，对温度、压力、位移、速度等参数的测量，相应的有温度传感器、压力传感器、位移传感器、速度传感器等；另一种是按传感器的工作原理分类，如：应变原理工作式、电容原理工作式、压电原理工作式、磁电原理工作式、光电效应原理工作式等，相应的有应变式传感器、电容式传感器、压电式传感器、磁电式传感器、光电式传感器等。

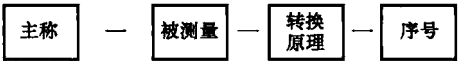
1.1.2 传感器的命名方法

中华人民共和国国家标准 GB 7666—2005 规定了传感器的命名方法及图形符号，并将其作为统一传感器命名及图形符号的依据。

1. 传感器代号

传感器代号表述格式如图 1-2 所示。传感器的完整代号包括主称、被测量、转换原理及序号 4 部分，在被测量、转换原理和序号 3 部分之间须有连字符连接。

传感器代号各部分的定义为：



1) 主称（传感器）。用汉语拼音字母“C”

标记。

图 1-2 传感器代号表述格式

2) 被测量。用一个或两个汉语拼音的第一个

个大写字母标记。当这组代号与该部分的另一个代号重复时，则用汉语拼音的第二个大写字母作为代号，依此类推。对于有两个或两个以上被测量的多功能传感器，应做同样处理。当被测量为离子、粒子或气体时，可用其元素符号、粒子符号或分子式加圆括号（）表示。

3) 转换原理。用其一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记。当这组代号与该部分的另一个代号重复时，则用其汉语拼音的第二个大写字母作为代号，依此类推。

4) 序号。用阿拉伯数字标记。序号可表征产品的设计特性、性能参数、产品系列等。如果传感器产品的主要性能参数不改变，仅在局部有改进或改动时，其序号可在原序号后面加注大写汉语拼音字母 A、B、C…（其中，I、O 两个字母不用）。序号及其内涵可由传感器生产厂家自行决定。

例如，代号为 C WY-YB-10 的传感器是序号为 10 的应变式位移传感器。

代号为 C Y-GQ-1 的传感器是序号为 1 的光纤压力传感器。

代号为 C Y-XZ-50 的传感器是序号为 50 的谐振式压力传感器。

代号为 C A-DR-2 的传感器是序号为 2 的电容式加速度传感器。

2. 传感器的图形符号

图形符号通常用于图样或技术文件中，表示一个设备或概念的图形、标记或字符。由于它能象征性或形象化地标记信息，因此，可以越过语言障碍，直接地表达设计者的思想和意图，应用十分广泛。

传感器的图形符号是电气图用图形符号的一个组成部分。GB/T 14479—93 《传感器图用图形符号》规定，传感器的图形符号由符号要素正方形和等边三角形组成，如图 1-3 所示。其中，正方形表示转换元件，三角形表示敏感元件。

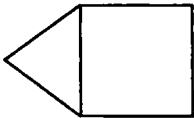


图 1-3 传感器图形符号

GB/T 14479—93 给出了 43 种常用传感器的图形符号示例。图 1-4 中给出了 3 种典型的传感器图形符号，图 1-4a 为电容式压力传感器，图 1-4b 为压电式加速度传感器，图 1-4c 为电位器式压力传感器。标准规定，对于采用新型或特殊转换原理或检测技术的传感器，亦可参照标准的有关规定自行绘制，但必须经主管部门认可。

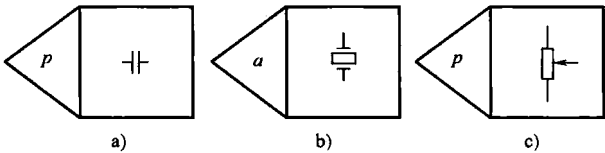


图 1-4 典型的传感器图形符号

a) 电容式压力传感器    b) 压电式加速度传感器    c) 电位器式压力传感器

1.1.3 传感器的基本特性

对传感器性能特性的研究，一般可从两个方面进行，即静态特性和动态特性研究。在某些应用场合下，传感器只需测量不变化的或变化缓慢的被测量。这时，便可确定传感器的一套静态性能指标，这些指标的确定不必借助解微分方程。在另外一些情况下，传感器可能涉及快速变化的被测量，因此，必须用微分方程研究传感器的输入输出之间的动态关系。传感器的动态性能指标反映了传感器的动态性能，即动特性。

1. 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指传感器在静态工作状态下的输入输出特性。所谓静态工作状态是指传感器的输入量恒定或缓慢变化而输出量也达到相对稳定时的工作状态。这时，输出量仅为输入量的确定函数。

2. 传感器的主要静态性能指标

### (1) 灵敏度 (Sensitivity)

灵敏度表示传感器的响应变化量  $\Delta y$  与相应的激励变化量  $\Delta x$  之比。灵敏度  $k$  表示为：

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

对于线性传感器，它的灵敏度就是其特性曲线的斜率，是一个常数。一般希望传感器的灵敏度高，且在全量程范围内是恒定的，这样就可保证在传感器输入量相同的情况下，输出信号尽可能大，从而有利于对被测量的转换和处理。但是传感器的灵敏度也不是越高越好，因为灵敏度高会使传感器容易受噪声的影响。因此，必须从信号与噪声的相互关系全面衡量。

### (2) 精度 (Accuracy)

精度表示传感器测量结果与被测量的真值之间的偏离程度，它反映了测量结构中系统误差与随机误差的综合，测量误差越小，传感器的精度越高。

传感器的精度用其量程范围内的最大基本误差与满量程输出之比的百分数表示，其基本误差是传感器在规定的正常工作条件下所具有的测量误差，由系统误差和随机误差两部分组成，如，用  $S$  表示传感器的精度，则

$$S = \frac{\Delta}{\gamma_{FS}} \quad (1-2)$$

式中， $\Delta$  为测量范围内允许的最大基本误差； $\gamma_{FS}$  为满量程输出。

工程技术中为简化传感器精度的表示方法，引用了准确度等级的概念。准确度等级以一系列标准百分比数值分档表示，代表传感器测量的最大允许误差。例如，0.1、0.2 等级的传感器，表示它们的精度分别为 0.1% 和 0.2%。

### (3) 线性度 (Linearity)

传感器的线性度是指其输出量与输入量之间的关系曲线偏离理想直线的程度，又称其为非线性误差。线性度是传感器的一项重要性能指标，对于非线性传感器，在使用时往往需要进行线性化处理。

### (4) 分辨率和阈值 (Resolution and Threshold)

传感器能检测到输入量最小变化量的能力称为分辨力。

对于某些传感器，例如，电位器式传感器，当输入量连续变化时，输出量只做梯级变化，其分辨力是输出量的每个“梯级”所代表的输入量的大小。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。当被测量的变化量小于分辨力时，数字式仪表的最后一位数不变，仍指示原值。

分辨率是指以满量程输出的百分数形式表示分辨力。

阈值是指能使传感器的输出端产生可测变化量的最小被测输入量值，即零点附近的分辨力。有的传感器在零位附近有严重的非线性，形成所谓“死区”，则将死区的大小作为阈值。在更多情况下，阈值主要取决于传感器噪声的大小，因而有的传感器只给出噪声电平。

### (5) 稳定性 (Stability)

稳定性是指在规定条件下，传感器保持其特性恒定不变的能力，通常是对时间而言的。理想的情况下，传感器的特性参数是不随时间变化的。但实际上，随着时间的推移，大多数传感器的特性会发生缓慢的改变。这是因为敏感元件或构成传感器的部件，其特性会随时间

发生变化，从而影响了传感器的稳定性。

稳定性一般用室温条件下经过一规定时间间隔后，传感器的输出与起始标定时的输出之间的差异来表示，称为稳定性误差。稳定性误差可用相对误差表示，也可用绝对误差来表示。

### (6) 迟滞 (Hysteresis)

对于某一输入量，传感器在正行程时的输出量明显地、有规律地不同于其在反行程时在同一输入量作用下的输出量，这一现象称为迟滞。图 1-5 为传感器的迟滞特性曲线。

迟滞大小一般由实验方法测得。迟滞误差以正、反向输出量的最大偏差与满量程输出之比的百分数表示，即

$$\gamma_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{y_{FS}} \quad (1-3)$$

式中， $\Delta H_{\max}$  为正、反行程间输出的最大误差。

传感器材料的物理性质是产生迟滞的主要原因。例如，把应力施加于某弹塑性材料时，弹塑性材料产生形变，应力取消后，弹塑性材料仍不能完全恢复原状。又如，铁磁体、铁电体在外加磁场、电场作用下也均有迟滞现象。此外，传感器机械部分存在不可避免的缺陷，例如，摩擦、磨损、间隙、松动、积尘等也是造成迟滞现象的重要原因。

### (7) 重复性 (Repeatability)

在相同的工作条件下，在一段短的时间间隔内，输入量从同一方向作满量程变化时，同一输入量值所对应的连续先后多次测量所得的一组输出量值，它们之间相互偏离的程度便反映了传感器的重复性。

如图 1-6 所示为输出特性曲线的重复特性，正行程的最大重复性偏差为  $\Delta R_{\max 2}$ ，反行程的最大重复性偏差为  $\Delta R_{\max 1}$ 。重复性偏差取这两个最大偏差中之较大者为  $\Delta R_{\max}$ ，再以满量程输出的百分数表示，这就是重复误差，即

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{y_{FS}} \quad (1-4)$$

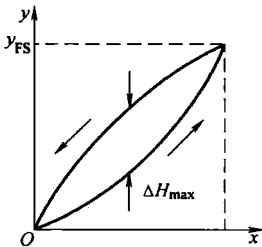


图 1-5 传感器的迟滞特性曲线

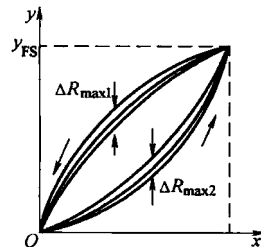


图 1-6 传感器输出特性曲线的重复特性

重复性是反映传感器精密程度的重要指标。它的好坏也与许多随机因素有关，它属于随机误差，要用统计规律来确定。

### 3. 传感器的动态特响应特性

在被测物理量随时间不断变化的情况下，传感器的输出能否很好地跟随输入量的变化是传感器的另一个重要性能。有的传感器尽管其静态特性非常好，但由于不能很好地跟随输入量的快速变化而导致严重误差，这种动态误差甚至可以导致传感器无法正常进行测量。

输入信号随时间变化时，引起输出信号也随时间变化，这个过程称为响应。动态特性就是指传感器对于随时间变化的输入信号的响应特性，通常要求传感器不仅能精确地显示被测量的大小，而且能复现被测量随时间变化的规律，这也是传感器的重要特性之一。

大部分传感器的动态特性可以近似地用一阶或二阶系统来描述，但这只是近似的描述。实际的传感器往往比这种简化的数学描述（数学模型）要复杂。因此，动态响应特性一般并不能直接给出其微分方程，而是通过实验给出传感器的阶跃响应曲线和幅频特性曲线上的某些特征值来表示传感器的动态响应特性。

4. 传感器的主要动态性能指标

(1) 时间常数  $\tau$

时间常数表示在恒定激励下，传感器响应从零达到稳态值的 63.2% 所需的时间。这个定义仅限于一阶或近似一阶系统。

(2) 上升时间  $t_r$

上升时间表示在恒定激励下，传感器响应从稳态值的 10% 到 90% 所需的时间。

(3) 稳定时间  $t_s$

稳定时间表示在恒定激励下，传感器响应上下波动稳定在稳态值规定百分比以内（例如， $\pm 5\%$ ）所经历的最小时间。

(4) 过冲量  $\delta$

过冲量表示在恒定激励下，传感器响应超过稳态值的最大值。过冲在二阶以上的系统且阻尼较小时才会出现。

(5) 频率响应

频率响应表示在不同激励频率的激励下，传感器响应幅值的变化情况。通常称传感器响应幅值上升到响应幅值最大值的 70% 时的频率为下限频率  $f_L$ （低频端），称传感器响应幅值下降到幅值最大值的 70% 时的频率为上限频率  $f_H$ （高频端），二者之差称为频率响应带宽  $B_w$ 。

如果频率响应出现峰值，则峰值出现的频率通常称为谐振频率  $f_p$ 。

图 1-7 为传感器的频率响应曲线。

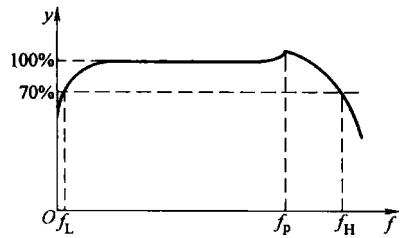


图 1-7 传感器的频率响应曲线

1.1.4 传感器的选用

由于传感器技术的飞速发展，各式各样的传感器应运而生，为传感器的使用提供了方便。现代传感器在原理与结构上千差万别，如何根据具体的测量目的、测量对象以及测量环境合理地选用传感器，是在进行某个非电量的测量时首先要解决的问题。当传感器确定之后，与之相配套的测量方法和测量设备也就可以确定了。测量结果的成败，在很大程度上取决于传感器的选用是否合理。

传感器的种类繁多，对于同一种被测物理量，可选不同的传感器。例如，被测物理量是位移，可以选电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、数字式传感器等。当然，选用传感器时应考虑的因素很多，但选用时不一定能满足所有要求，应根据被测参数的变化范

围、传感器的性能指标、环境等要求选用，侧重点有所不同。通常，选用传感器应从以下几个方面考虑。

### 1. 确定传感器类型

在进行一项具体的测量工作之前，首先要分析和掌握被测对象的特点与现场的工作环境，根据这些条件来确定选用的传感器类型。

被测对象的特点包括被测量的性质、状态、测量范围、幅值和频带、测量速度、精度、过载的幅度和出现的频率等。工作现场环境包括温度、湿度、气压、能源、污染、噪声、电磁场及辐射干扰等。

在上述分析的基础上，便可以明确选择传感器类型的具体问题。例如，量程的大小和过载量、被测对象或位置对传感器重量和体积的要求、测量的方式是接触式还是非接触式、传感器的价格等。综合各种因素后，就可以确定所选用传感器的类型，然后进一步考虑所选传感器的主要性能指标。

### 2. 传感器技术指标

在选择传感器时，通常主要考虑以下几项技术指标。

#### (1) 线性范围与量程

传感器的线性范围是指传感器的输出与输入成直线关系的范围。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。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是线性的，这会给测量带来方便。在确定量程时，还应考虑到输入量可能发生的瞬间突变导致的过载量。

#### (2) 灵敏度

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，也会被放大系统放大，容易使测量系统进入非线性区，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干扰信号。

#### (3) 精度

精度是传感器的一个重要的性能指标，它是关系到整个测量系统测量精度的一个重要环节。传感器的精度越高，其价格越昂贵。因此，传感器的精度只要满足整个测量系统的精度要求就可以了，不必选得过高。

如果测量的目的是定性分析的，选用重复精度高的传感器即可，不必选用绝对量值精度高的传感器；如果是为了定量分析，必须获得准确的测量值，就需选用准确度等级能满足要求的传感器。在选择传感器时，还需要综合考虑整个系统的配置情况，也就是误差的分配情况，否则，传感器的高精度也就失去了意义。为了提高测量精度，还需从传感器的基本工作原理出发，注意被测对象可能产生的负载效应。

综合各种因素后，才能使选择的传感器既能满足被测物理量的要求，又能满足量程、测量结果的精度要求，同时具有较高的性价比和良好的经济性。

#### (4) 频率响应特性



传感器的频率响应特性决定了被测量的频率范围，传感器的频率响应范围宽，允许被测量的频率变化范围就大。对于开关量传感器，应保证传感器的响应时间能够满足被测量变化的要求，不会因响应慢而丢失被测信号而带来误差。对于线性传感器，应根据被测量的特点（稳态、瞬态、随机等）选择其响应特性。

一般来讲，通过机械系统耦合被测量的传感器，由于惯性较大，其固有频率较低，响应较慢；而直接通过电磁、光电系统耦合的传感器，其频响范围较宽，响应较快。

#### （5）稳定性

稳定性是传感器性能保持长时间稳定不变的能力。影响稳定性的主要因素除传感器本身的材料、结构等因素外，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，一方面，选择的传感器应具有较强的环境适应能力；另一方面，可以采取适当的措施，减小环境对传感器的影响。

### 1.1.5 传感器的发展趋势

传感器作为人类认识和感知世界的一种工具，其发展历史相当久远，可以说是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，包括我国在内的许多国家都把传感器技术列为重点发展的关键技术之一。21 世纪人类全面进入信息化的时代，作为现代信息技术的三大支柱产业之一的传感器技术，必将得到更快的发展。

传感器技术是一项与现代技术密切相关的尖端技术，其主要特点及发展趋势表现在以下几个方面。

#### 1. 高精度、微型化与低功耗

检测技术的发展，必然要求传感器的性能不断提高。对传感器而言，其主要性能指标包括：检测精度、线性度、灵敏度和稳定性等，其中，检测精度是最重要的性能指标。在 20 世纪 30 ~ 40 年代，检测精度一般为百分之几到千分之几。近年来，随着传感器技术的不断发展，其检测精度提高很快，有些被测量的检测精度可达万分之几，甚至百万分之几。例如，用直线光栅测线位移时，测量范围在几米时，误差仅为几微米。

目前各种测控仪器设备的功能越来越强大，同时各个部件的体积却越来越小，这就要求传感器自身的体积也要小型化、微型化，现在一些微型传感器，其敏感元件采用光刻、腐蚀、沉积等微机械加工工艺制作而成，尺寸可以达到微米级。此外，由于传感器工作时大多离不开电源，在野外或远离电网的地方，往往要用电池或太阳能等供电，因此，开发低功耗的传感器及无源传感器具有重要的实际意义。

#### 2. 集成化与多功能化

固态功能材料的进一步开发和集成技术的不断发展，为传感器集成化开辟了广阔的发展空间。所谓传感器的集成化，就是在同一芯片上，将众多同一类型的单个传感器集成为一维、二维或三维阵列型传感器，或将传感器件与信号调理、补偿等处理电路集成在一起。前一种集成化使传感器的检测参数实现由点到线到面到体的扩展，甚至能加上时序控制，变单