



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育“十五”国家级规划教材
自动化国家级特色专业系列规划教材
本书荣获中国石油和化学工业优秀教材奖一等奖



自动检测技术与装置

第三版

张宏建 黄志尧 周洪亮 冀海峰 编著



化学工业出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

普通高等教育“十五”国家级规划教材

自动化国家级特色专业系列规划教材

本书荣获中国石油和化学工业优秀教材奖一等奖



自动检测技术与装置

第三版

张宏建 黄志尧 周洪亮 冀海峰 编著



化学工业出版社

·北京·

本书以信息为主线，从信息的获取、变换与处理、输出与显示等角度来介绍检测技术、检测仪表和检测系统。本书首先介绍检测技术的一般概念和检测仪表的共性知识，包括测量误差、准确度等；然后介绍各种检测元件的检测原理和使用特点；接着重点介绍各种常见参数的检测方法和检测仪表；最后简单介绍检测技术的最新进展，包括软测量技术、机器视觉系统及其图像处理等。

本书可以作为高等学校自动化、测控技术与仪器、电子信息工程、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化等相关专业的教材，也可以作为从事检测技术及仪表的研究生、科研工作者及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

自动检测技术与装置/张宏建等编著.—3版.—北京：
化学工业出版社，2019.3

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 普通
高等教育“十五”国家级规划教材 自动化国家级特
色专业系列规划教材

ISBN 978-7-122-33684-2

I. ①自… II. ①张… III. ①自动检测系统—高等学校—教
材 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 005928 号

责任编辑：唐旭华 郝英华
责任校对：王鹏飞

装帧设计：史利平

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：三河市航远印刷有限公司

装 订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{1}{2}$ 字数 522 千字 2019 年 7 月北京第 3 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888

售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：49.00 元

版权所有 违者必究

自动化国家级特色专业系列规划教材 指导委员会

孙优贤 吴 澄 郑南宁 柴天佑
俞金寿 周东华 李少远 王红卫
陈 虹 荣 冈 苏宏业

总 序

随着工业化、信息化进程的不断加快，“以信息化带动工业化、以工业化促进信息化”已成为推动我国工业产业可持续发展、建立现代产业体系的战略举措，自动化正是承载两化融合乃至社会发展的核心。自动化既是工业化发展的技术支撑和根本保障，也是信息化发展的主要载体和发展目标，自动化的发展和应用水平在很大意义上成为一个国家和社会现代工业文明的重要标志之一。从传统的化工、炼油、冶金、制药、机械、电力等产业，到能源、材料、环境、军事、国防等新兴战略发展领域，社会发展的各个方面均和自动化息息相关，自动化无处不在。

本系列教材是在建设浙江大学自动化国家级特色专业的过程中，围绕自动化人才培养目标，针对新时期自动化专业的知识体系，为培养新一代的自动化后备人才而编写的，体现了我们在特色专业建设过程中的一些思考与研究成果。

浙江大学控制系自动化专业在人才培养方面有着悠久的历史，其前身是浙江大学于1956年创立的化工自动化专业，这也是我国第一个化工自动化专业。1961年该专业开始培养研究生，1981年以浙江大学化工自动化专业为基础建立的“工业自动化”学科点被国务院学位委员会批准为首批博士学位授予点，1984年开始培养博士研究生，1988年被原国家教委批准为国家重点学科，1989年确定为博士后流动站，同年成立了工业控制技术国家重点实验室，1992年原国家计委批准成立了工业自动化国家工程研究中心，2007年启动了由国家教育部和国家外专局资助的高等学校学科创新引智计划（“111”引智计划）。经过50多年的传承和发展，浙江大学自动化专业建立了完整的高等教育人才培养体系，沉积了深厚的文化底蕴，其高层次人才培养的整体实力在国内外享有盛誉。

作为知识传播和文化遗产的重要载体，浙江大学自动化专业一贯重视教材的建设工作，历史上曾经出版过很多优秀的教材和著作，对我国的自动化及相关专业的人才培养起到了引领作用。当前，加强工程教育是高等学校工科人才培养的主要指导方针，浙江大学自动化专业正是在教育部卓越工程师教育培养计划的指导下，对自动化专业的培养主线、知识体系和培养模式进行重新布局和优化，对核心课程教学内容进行了系统性重新组编，力求做到理论和实践相结合，知识目标和能力目标相统一，使该系列教材能和研讨式、探究式教学方法和手段相适应。

本系列教材涉及范围包括自动控制原理、控制工程、检测和传感、网络通信、信号和信息处理、建模与仿真、计算机控制、自动化综合实验等方面，所有成果都是在传承老一辈教育家智慧的基础上，结合当前的社会需求，经过长期的教学实践积累形成的。大部分教材和其前身在我国自动化及相关专业的培养中都具有较强的影响，例如《过程控制工程》的前身是过程控制的经典教材之一、王骥程先生编写的《化工过程控制工程》。已出版的教材，既有国家“九五”重点教材，也有国家“十五”“十一五”规划教材，多数教材或其前身曾获得过国家级教学成果奖或省部级优秀教材奖。

本系列教材主要面向自动化（含化工、电气、机械、能源工程及自动化等）、计算机科学与技术、航空航天工程等学科和专业有关的高年级本科生和研究生，以及工作于相应领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我希望，这套教材既能为在校本

科生和研究生的知识拓展提供学习参考，也能为广大科技工作者的知识更新提供指导帮助。

本系列教材的出版得到了很多国内知名学者和专家的悉心指导和帮助，在此我代表系列教材的作者向他们表示诚挚的谢意。同时要感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持，并热忱欢迎提出批评和意见。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '孙悦 song'.

2011年8月

第三版前言

《自动检测技术与装置》(第二版)于2010年8月出版发行,受到了广大读者的欢迎,先后印刷了5次,为多所高等院校选用。为适应科学技术的发展和新的教学体系,现结合教材使用过程各方面的反馈意见,经修订编写了第三版。

与第二版相比,第三版基本上保留了第二版的主要内容,但更新、补充和调整了不少地方,变动较大的章节主要有:(1)由于红外和超声波传感器的应用越来越重要和普及,第2章新增了2.11节(红外传感器)和2.12节(超声波传感器);(2)原第3章3.7节(机械量测量仪表)和3.9节(检测仪表的检定)部分,整节删除,并大幅度精简了原3.8节(显示仪表与装置)中陈旧的内容,以使相关内容更为紧凑并突出重点内容;(3)机器人技术的飞速发展使机器视觉检测越来越受到关注,因此,原第4章4.2节“图像检测系统”更新为“机器视觉系统及其图像处理技术”,并进行了内容的更新补充,并将原4.3节(过程层析成像)并入4.2节中,变为4.2.4节(过程层析成像);新增了4.3节(多传感器数据融合技术)。其他章节无大的修改,主要是内容及措辞上的完善。

第三版保留了前两版的特点和体系,强调“原理-元件-仪表-检测系统”这一教学主线,使内容更丰富、完整和与时俱进。

本书内容已制作成用于多媒体教学的电子课件,并将免费提供给采用本书作为教材的大专院校使用,如有需要可联系 cipedu@163.com。

参加第三版修订工作的均为多年从事本课程教学的任课老师,修订工作由张宏建组织牵头,黄志尧负责第1章、第3章的修订,周洪亮负责第2章的修订,冀海峰负责第4章的修订。全书由张宏建和黄志尧整理定稿。

由于编者自身的水平和学识所限,虽经努力,书中难免存在不妥和遗漏之处,恳请读者批评指正。

编著者

2018年12月于杭州浙大求是园

第一版前言

本书是为高等学校自动化专业编写的国家“十五”规划教材，也可以作为测控技术与仪器等相关专业开设的“传感技术”“检测技术”等专业课程的教材。随着信息技术的飞速发展，信息的获取、信息的处理、信息的传输、信息的显示已成为信息领域的关键技术。基于这个思想，本书以广义信息论为主线，介绍和讨论自动检测技术和自动化仪表中的信息技术。本书的主要特点有：

(1) 力求将最新的传感技术、仪表技术及信息传输和处理技术等及时反映在教材中，同时还增加了软测量、图像检测和虚拟检测等现代检测技术；

(2) 以信息为主线，围绕信息的获取、信息的变换、信息的处理、信息的传输和信息的显示等方面来讨论检测技术与检测系统；

(3) 将传感技术与检测技术和自动化仪表结合起来，读者在通过本书的学习后不仅能理解一个个独立的传感器的原理，而且可以掌握由传感器及其他环节（仪表）构成的完整的检测系统。

根据作者多年来的教学实践的体会，在结合本书教学时采用自学讨论这样的一种教学方式较为合适。课堂教学主要讲一些有关检测技术及仪表的共性问题，然后布置思考题和习题，让学生在习题和回答思考题的过程中看书，参考其他教材，学生之间相互讨论；教师可选择部分有代表性的思考题让学生上讲台来回答、讨论甚至争论，最后教师进行归纳和总结。如有条件，教师可以引导学生根据自己的爱好和特点撰写小论文、小报告。通过这样的教学活动，可以提高学生的学习积极性和学习兴趣，保证教学质量和教学效果。在教学内容安排上，教师可以根据专业特点选择本教材的章节。对于自动化专业，建议将本书的第1、第2和第3章作为教学重点内容，第4、第5章作为选学内容。

本书内容已制作成用于多媒体教学的电子课件，并将免费提供给采用本书作为教材的大专院校使用，如有需要可联系：txh@cip.com.cn。另外，与本书配套的《检测控制仪表学习指导》已经出版，该书收集了大量的例题与习题，给出了例题分析、题解与习题答案，欢迎广大师生及读者选用。

参加本书编写的有：第1章张宏建、戴克中、杨先麟；第2章张志君、张宏建；第3章张宏建、戴克中、冀海峰、韩雪飞；第4章蒙建波；第5章冀海峰、张志君。全书由张宏建整理定稿，韩雪飞和程路也参加了部分章节的整理工作。全书由李海青教授审定。

虽然编者对书稿作了多次校核，但由于水平有限，书中难免存在问题和错误，恳请读者批评指正。

编者

2004年4月于杭州浙大求是园

第二版前言

本书第一版自2004年出版以来得到了广大读者的关注，荣获第八届中国石油和化学工业优秀教材奖一等奖，使用量也较大。现根据读者的反馈意见以及科学技术的最新发展，经修订编写了第二版。与第一版相比，第二版对部分章节作了调整，如删去原书的第4章（检测技术中的信息处理与传输技术）、第3章的3.8节（变送器），其中的部分内容插入到相关章节中；对原书的第2章2.1节（检测技术的原理与方法）、第3章的3.1节（检测仪表的构成和设计方法）、3.5节（流量检测仪表）、3.9节（显示记录仪表与装置）以及第5章（现代检测技术）做了较大的调整；对其他章节也作了相应的修改。第二版尽量保持第一版的特点和体系，但努力在内容上更丰富、体系上更完整。

本书以广义信息论为主线，从检测元件和检测仪表角度，介绍和讨论有关信息的获取、信息的变换、信息的处理和信息的显示等方面的技术。

根据笔者多年来的教学实践体会，在结合本书教学时采用自学讨论式这样的一种教学方式较为合适。课堂教学主要讲一些有关检测技术及仪表的共性问题，然后布置思考题与习题，让学生在习题和回答思考题的过程中看书，参考其他教材，学生之间相互讨论；教师选择部分有代表性的思考题让学生上讲台来回答、讨论甚至争论，最后教师进行归纳和总结。有条件的教师可以引导学生根据自己的爱好和特点撰写小论文、小报告。通过这样的教学活动，可以提高学生的学习积极性和学习兴趣，保证教学质量和教学效果。在教学内容安排上，教师可以根据专业特点选择本书的章节。对于自动化等相关专业，建议选择本书的第1、第2和第3章作为教学重点内容，第4章作为选学内容。

本书内容已制作成用于多媒体教学的电子课件，并将免费提供给采用本书作为教材的大专院校使用，如有需要可联系：cipedu@163.com。

参加第二版修订工作并负责第1章编写的有张宏建；第2章有周洪亮、张宏建；第3章有黄志尧、张宏建；第4章有冀海峰。全书由张宏建整理定稿。

由于水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者

2010年7月于杭州浙大求是园

目 录

1 检测技术基础	1
1.1 检测技术的基本概念	1
1.2 检测仪表的基本概念	1
1.2.1 检测仪表的定义	1
1.2.2 检测仪表的分类	3
1.2.3 检测仪表的基本性能	6
1.3 测量误差的理论基础	9
1.3.1 测量误差的分类与测量不确定度	10
1.3.2 误差的估计和评价处理方法	12
1.3.3 消除和减少误差的一般方法	19
思考题与习题	21
参考文献	22
2 检测技术与检测元件	23
2.1 检测技术的一般原理	23
2.1.1 参数检测的一般方法	23
2.1.2 敏感元件	25
2.2 机械式检测元件	25
2.2.1 弹性式检测元件	26
2.2.2 其他机械式检测元件	31
2.2.3 机械式检测元件的应用	32
2.3 电阻式检测元件	33
2.3.1 应变式检测元件	33
2.3.2 热电阻检测元件	39
2.3.3 其他电阻式检测元件	42
2.4 电容式检测元件	44
2.4.1 电容检测元件的工作原理	45
2.4.2 电容元件的结构和特性	45
2.4.3 电容式检测元件的温度补偿及抗干扰问题	48
2.4.4 电容式检测元件的应用	50
2.5 热电式检测元件	50
2.5.1 热电偶检测元件	50
2.5.2 晶体管温度检测元件	54
2.6 压电式检测元件	55
2.6.1 压电效应与压电材料	55
2.6.2 压电式检测元件的等效电路及连接方式	57
2.6.3 压电式检测元件的误差	58
2.6.4 压电式检测元件的应用	59

2.7	光电式检测元件	60
2.7.1	光电效应	60
2.7.2	光电器件的基本特性	60
2.7.3	光敏元件及特性	61
2.7.4	光电式检测元件的应用	65
2.8	磁电式检测元件	66
2.8.1	磁电感应式检测元件	66
2.8.2	霍尔检测元件	70
2.9	磁弹性式检测元件	73
2.9.1	磁弹性效应	73
2.9.2	磁弹性式检测元件的结构及工作原理	74
2.10	核辐射式检测元件	77
2.10.1	放射源	77
2.10.2	探测器	79
2.10.3	核辐射式检测元件的应用	84
2.11	红外传感器	84
2.11.1	红外传感器的分类	85
2.11.2	红外传感器的基本特性	86
2.11.3	红外辐射的基本定律	87
2.11.4	红外传感器的结构	88
2.11.5	红外传感器的应用	88
2.12	超声波传感器	89
2.12.1	超声波	90
2.12.2	超声波的传播特性	91
2.12.3	超声波的激发与接收	93
2.12.4	超声探头的频率特性与指向性	94
2.12.5	超声波传感器工作原理	96
2.12.6	误差影响因素	97
2.12.7	超声波传感器的应用	97
	思考题与习题	97
	参考文献	98
3	检测仪表	100
3.1	检测仪表的构成和设计方法	100
3.1.1	检测仪表的组成	100
3.1.2	检测仪表的设计方法	101
3.1.3	检测仪表中常见的信号变换方法	110
3.1.4	检测仪表常用非线性补偿方法	126
3.1.5	检测仪表常用信号传输方式和标准	128
3.2	温度检测仪表	131
3.2.1	概述	131
3.2.2	热电偶温度计	133
3.2.3	热电阻温度计	139

3.2.4	其他接触式温度检测仪表	141
3.2.5	非接触式温度检测仪表	145
3.2.6	温度检测仪表的使用	148
3.3	压力检测仪表	150
3.3.1	概述	150
3.3.2	液体压力计	151
3.3.3	弹性式压力检测仪表	153
3.3.4	电远传式压力检测仪表	155
3.3.5	物性型压力传感器	162
3.3.6	压力检测仪表的使用	165
3.4	物位检测仪表	170
3.4.1	概述	170
3.4.2	静压式液位计	171
3.4.3	浮力式液位计	174
3.4.4	电容式物位计	175
3.4.5	超声波物位计	177
3.4.6	射线式物位计	180
3.4.7	微波物位计	181
3.4.8	磁致伸缩式液位计	183
3.4.9	物位检测的使用	184
3.5	流量检测仪表	185
3.5.1	概述	185
3.5.2	节流式流量计	187
3.5.3	转子流量计	195
3.5.4	涡街流量计	197
3.5.5	电磁流量计	200
3.5.6	容积式流量计	203
3.5.7	质量流量计	205
3.5.8	涡轮流量计	207
3.5.9	超声波流量计	208
3.5.10	多相流流量测量方法	209
3.5.11	流量检测仪表的使用	212
3.6	气体成分分析仪表	214
3.6.1	概述	214
3.6.2	氧量分析仪	215
3.6.3	热导式气体分析仪	217
3.6.4	红外式气体分析仪	219
3.6.5	色谱仪	221
3.6.6	气体成分分析仪表的使用	224
3.7	显示装置与仪表	226
3.7.1	概述	226
3.7.2	模拟显示仪表	228

3.7.3 数字式显示仪表	235
思考题与习题	238
参考文献	239
4 现代检测技术	240
4.1 软测量技术	240
4.1.1 软测量技术的概念	240
4.1.2 软测量技术的数学描述	241
4.1.3 软测量的结构和实现步骤	242
4.1.4 影响软测量技术的因素	242
4.1.5 软测量模型建模方法	244
4.1.6 软测量技术应用举例-基于相关分析的软测量	251
4.2 机器视觉系统及其图像处理技术	254
4.2.1 概述	254
4.2.2 机器视觉系统的构成	255
4.2.3 数字图像处理技术	260
4.2.4 过程层析成像	270
4.3 多传感器数据融合技术	276
4.3.1 概述	276
4.3.2 多传感器数据融合技术的类别	278
4.3.3 多传感器数据融合算法	282
4.3.4 多传感器数据融合的应用	285
思考题与习题	286
参考文献	287
附录 1 热电偶的分度表	288
附录 2 主要热电偶的参考函数和逆函数	303
附录 3 热电阻分度表	306
附录 4 压力单位换算表	310
附录 5 节流件和管道常用材质的热膨胀系数	311

1 检测技术基础

1.1 检测技术的基本概念

检测是一种获得信息的过程。我们人类时刻都在用自己的五官感受周围的声音、图像、气味等大量信息，通过这些信息的获取，不断丰富自身的知识。事实上，世界上几乎所有的生物都有检测周围环境信息的器官，这些器官是生物赖以生存的必要条件。

在科学研究、工业生产和军事等领域中，检测是必不可少的过程。例如，在自动控制系统中，检测是其中一个非常重要的环节。典型的闭环控制系统中的控制器是根据给定值与被控变量（经测量变送）之间的差值，经一定的运算形成输出去控制操纵变量，如图 1.1 所示。控制器输出值的变化使被控变量逐渐接近给定值，直到两者相等。可以看出，如果没有检测手段检测出被控变量的变化，就不可能组成一个自动控制系统；如果被控变量的检测误差很大，那么这个控制系统就不可能实现精确的控制；如果测量变送单元的滞后较大，就得不到高质量的控制效果。

通常所讲的检测是指使用专门的工具，通过实验和计算，进行比较，找出被测参数的量值或判定被测参数的有无。也就是说，检测的结果可能是一个具体的量值，也可以是一个“有”或者“无”的信息。而完全以确定被测对象量值为目的的操作称为“测量”。由于二者有相同之处，所以在本书的文字描述中会根据需要有时用“检测”，有时用“测量”。

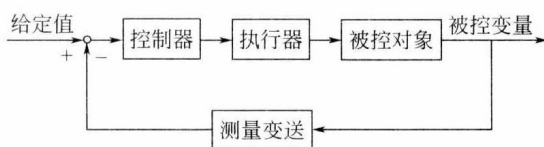


图 1.1 闭环控制系统框图

检测技术是研究如何获取被测参数信息的一门科学，涉及数学、物理、化学、生物、材料、机械、电子、信号处理和计算机等很多学科。因此，这些学科的进展都会不同程度地推进检测技术的发展。

1.2 检测仪器的基本概念

1.2.1 检测仪器的定义

(1) 检测仪器

一般来说，检测的过程就是用敏感元件将被测参数的信息转换成另一种形式的信息，通过显示或其他形式被人们所认识。所以敏感元件和显示装置构成了检测仪器的基本组成部分，如图 1.2 所示。有的敏感元件的输出不能在显示装置上直接显示，而需要经过一定的变换后显示。数字检测仪器一般还配有必要的硬件和软件进行相关的处理。测量电路与显示装置配套使用，使显示的数值直接对应被测参数的大小。

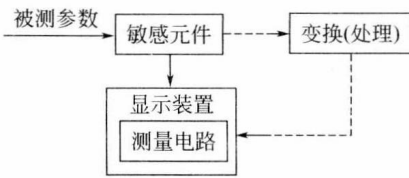


图 1.2 检测仪表的组成框图

一般来说，一台检测仪表是一个相对独立使用的整体，它能实现某个参数的检测。即一台仪表能测一个参数，这也就是传统意义上的“一一对应”。例如，用电压表可以测量电压，用温度计可以测量温度。

(2) 检测系统与检测装置

并不是所有参数的检测都能用单台检测仪表就能实现，有些参数的检测需采用多个检测仪表，并通过一定的数学模型运算后才能得到。例如，在测量电功率时，需要用一只电流表和一只电压表接入被测电路中，把电流表和电压表的读数相乘后才能得到电功率。这种利用若干个检测仪表实现某一个或多个参数测量所构成的系统称为检测系统，如图 1.3 所示。因此，检测仪表是检测系统的基本单元，一台检测仪表本身可视为一个检测系统，也可以是检测系统中的一个环节。

检测系统并不都是由检测仪表所构成，有时，一个检测系统是由若干个敏感元件以及相应的信号变换、传输和处理以及显示装置等部分组成，如图 1.4 所示。

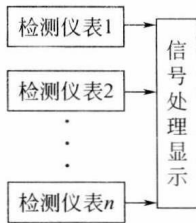


图 1.3 由若干个检测仪表组成的检测系统框图

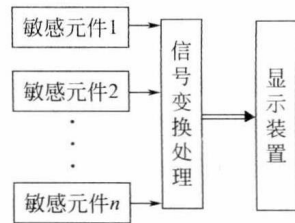


图 1.4 由若干个敏感元件组成的检测系统框图

随着科学技术的不断发展，有些专用的检测系统已被集成化，并把它们集成为一台检测仪表，这种检测仪表称为多参数检测仪表。因此，检测仪表与检测系统之间没有明显的界线。检测仪表或检测系统和它们必需的辅助设备所构成的总体称检测装置。

(3) 相关术语

在学习检测技术过程中，除了检测仪表外，经常会看到其他一些与检测有关的专用名称，如传感器、变送器等。为了便于今后的学习，以下介绍本书用到的主要名称术语。

① 敏感元件 (sensing element) 也称检测元件，是一种能够灵敏地感受被测参数并将被测参数的变化转换成另一种物理量的变化的元件。例如，用铜丝绕制而成的铜电阻能感受其周围温度的升降而引起电阻值的增减，所以铜电阻是一种敏感元件。又由于它能感受温度的变化，故称这种铜电阻为温度敏感元件。某种参数的敏感元件应该并且只对被测参数敏感，而对其他参数不敏感。

② 传感器 (sensor) 它能直接感受被测参数，并将被测参数的变化转换成一种易于传送的物理量。很显然，有些传感器就是一个简单的敏感元件，例如上面提到的铜电阻。由于很多敏感元件对被测参数的响应输出不便于远传，因此需要对敏感元件的输出进行信号变换，使之具有远传功能。这种信号变换可以是机械式的、气动式的，更多的是电动（电子）式的。例如作为检测压力常用的膜片（详见后面章节有关内容）是一种压力敏感元件，虽然它能感受压力的变化并引起膜片的形变（位移），但由于该位移量非常小（一般为微米级），不便于向远方传送，所以它只是一个敏感元件，不是传感器。如果该膜片与一固定极板构成一对电容器极板，则膜片中心的位移将引起电容器电容量的变化，这样它们就构成了输出响应是电容量的压力传感器。

目前, 绝大部分的传感器的输出是电量形式, 如电势 (电压)、电流、电荷、电阻、电容、电感、电脉冲 (频率) 等。有的传感器的输出则是气压 (压缩空气) 或光强形式。

③ 变送器 (transmitter) 这是一种特殊的传感器, 它使用的是统一的动力源, 而且输出也是一种标准信号。所谓标准信号是指信号的形式和数值范围都符合国际统一的标准。目前, 变送器输出的标准信号有: 4~20mA 直流电流; 1~5V 直流电压; 0~5V 直流电压; 20~100kPa 空气压力 (气动仪表) 以及数字信号传输协议 (现场总线通信协议等)。

④ 被测参数 (measured parameter) 也称被测量, 是指敏感元件直接感受的测量参数。

⑤ 待测参数 (parameter to be measured) 也称待测量, 是指需要获取的测量参数。在大多数情况下, 被测参数就是待测参数, 例如用铜电阻测量温度, 温度既是被测参数, 也是待测参数。但在间接测量中, 两者就有不同的含义。

⑥ 直接测量 (direct measurement) 指不必测量与待测参数有函数关系的其他量, 而能直接得到待测参数的量值。在这种情况下, 被测参数就是待测参数。

⑦ 间接测量 (indirect measurement) 通过测量与待测参数有函数关系 (甚至没有函数关系) 的其他量, 经一定的数学处理才能得到待测参数的量值。在这种情况下, 被测参数一般就不是待测参数。例如, 通过测量长度确定矩形面积, 长度是被测量, 面积是待测量, 这种通过用长度测量来获得面积的方法称为间接测量。

1.2.2 检测仪表的分类

检测仪表有各种分类方法, 以下是常见的分类方法。

① 按被测参数分类 每个检测仪表一般被用来测量某个特定的参数, 根据这些被测参数的不同, 检测仪表可分为: 温度检测仪表 (简称温度仪表, 下同)、压力检测仪表、流量检测仪表、物位检测仪表等, 它们分别用来测量温度、压力、流量和物位等参数。

② 按对被测参数的响应形式分类 检测仪表可分为连续式检测仪表和开关式检测仪表。前者是指检测仪表的输出值随被测参数的变化连续改变。例如, 常见的水银温度计, 当温度计附近温度发生变化时, 温度计中的水银因热胀冷缩而导致水银高度的连续变化, 改变了温度计的读数, 因此这是一种连续式的检测仪表。开关式检测仪表是指在被测参数整个变化范围内其输出响应只有两种状态, 这两种状态可以是电路的“通”或“断”, 可以是电压或空气压力的“高”或“低”。例如, 冰箱压缩机的间歇启动; 电饭煲的自动保温等都是利用开关式的温度仪表实现的。

③ 按仪表中使用的能源和主要信息的类型分类 检测仪表可分为机械式仪表、电式仪表、气式仪表和光式仪表。

机械式仪表一般不需要使用外部能源, 通常利用敏感元件的位移带动仪表的传动机构, 使指针产生偏转, 通过仪表盘上的刻度显示被测参数的大小。这种仪表一般安装在现场, 属就地显示仪表。

电式仪表又称电动仪表, 这类检测仪表用电源作为仪表能源, 其输出信号也是电信号。现在绝大部分使用的检测仪表都为电式仪表, 因为电式仪表所需电源容易得到, 输出信号可以方便地传输和显示; 信号的远传采用导线, 成本较低。

气式仪表多用压缩空气作为仪表能源和信号的传递。由于仪表中没有使用电源, 这类仪表可以使用在周围环境有易燃易爆气体或粉尘的场所。但是用压缩空气传递信号, 滞后比较大; 传递信号的气管路上任何泄露或堵塞都会导致信号的衰减或消失。

光式仪表不仅有气式仪表的优点, 而且信号传递的速度非常快。目前, 多采用光电结合以构成新型的光电式仪表, 充分利用了光的良好抗电磁干扰和电绝缘隔离能力, 以及电的易

放大和处理能力强的特点，以实现仪表的信号处理、信号隔离、信号传输和信号显示。

④ 按是否具有远传功能分类 检测仪表可分为就地显示仪表和远传式仪表。有些检测仪表的敏感元件与显示是一个整体，例如，日常生活中经常看到的玻璃温度计；有些检测仪表的敏感元件将被测参数转换成位移量，而位移的变化进一步通过机构装置带动指针或机械计数装置直接指示被测参数的大小，例如，家用的水表、电表，把这类仪表称为就地显示仪表。就地显示仪表的特点是显示装置与敏感元件做成一个整体，使用时不能分离，仪表一般不具有其他形式的输出功能。

远传式仪表是指相应测量信息可以实现远距离传输的仪表，其显示装置可以远离敏感元件。在这种检测仪表中，敏感元件在信息变换后，进一步进行信号的放大和转换，使之形成可以远传的信号。远传信号的形式一般有空气压力、电压、电流、电抗、光强等。随着信息技术的发展，远传信号还可以是无线的。为了便于现场观察和维护，有些远传式的检测仪表不仅能将信号远传，在远距离显示被测参数值，而且在就地也有相应的显示装置。

⑤ 按信号的输出（显示）形式分类 检测仪表可分为模拟式仪表和数字式仪表。模拟式仪表是指仪表的输出或显示是一个模拟量，人们通常看到的用指针显示的检测仪表，如指针式的电压表、电流表等，均为模拟式仪表。数字式仪表是指仪表的显示直接以数字（或数码）的形式给出，或是以数字通信编码形式输出和传输。由于敏感元件（包括某些传感器以及变送器）的输出以模拟信号为主，所以在数字式仪表中一般要有模/数（A/D）转换器件，实现从模拟信号到数字信号的变换。也有一些传感器的输出直接是数字量，而不需要 A/D 转换，例如，用来测风速的风速仪将风速转换成叶片的转动速度，而叶片每转动一周，风速仪就输出若干个脉冲，其频率正比于风速的大小。随着计算机技术的应用日益普遍，目前数字式仪表已成为主流。另外，为了满足不同使用者的需要，有些仪表既有数字功能，又有模拟式仪表的功能。例如，现在使用的很多变送器除了有现场数字显示（参数设定）功能外，还能产生可以远传的 4~20mA 的模拟信号和数字通信信号。这类仪表一般归为数字仪表，因为它具备了数字仪表的功能和特征。

⑥ 按应用的场所，检测仪表也有各种分类方法 根据安装场所有无易燃易爆气体及危险程度，检测仪表有普通型、隔爆型及本安型。普通型仪表不考虑防爆措施，只能用在非易燃易爆场所；隔爆型仪表在内部电路和周围易燃介质之间采取了隔爆措施，允许使用在有一定危险性的环境里；本安型仪表依靠特殊设计的电路保证在正常工作及意外故障状态下都不会引起燃爆事故，可用在易燃易爆严重的场所。对隔爆型和本安型仪表的具体要求以及相应的等级详见国家有关标准的规定。

根据使用的领域，检测仪表有民用的、工业用的和军事用的。民用仪表一般在常温、常压下工作，对仪表的准确度要求较低。工业用仪表由于应用场合的千差万别，一般对仪表的被测对象的温度、压力、腐蚀性有各自的规定，从而出现了许多系列性仪表，如耐高温仪表、耐腐蚀仪表、防水仪表等。工业用仪表一般对仪表准确度和可靠性均有较高的要求。军事用仪表的性能有更高的要求，除了工业用仪表中要考虑的各种因素外，还要特别考虑仪表的抗震性能，抗电磁干扰的性能，另外还要求仪表有很高的可靠性和较短的响应时间。

⑦ 按仪表的结构形式分类 检测仪表可分为开环结构仪表和闭环结构仪表。由于结构形式的不同，这两类仪表的性能有较大的差别。下面分别作一介绍。

a. 开环结构仪表。图 1.5 是开环结构仪表的框图。这种仪表由若干个环节串联组成，