



21世纪高职高专规划教材·机电系列

传感器原理 与检测技术

周 征 主 编
李建民 杨建平 副主编



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

21 世纪高职高专规划教材·机电系列

传感器原理与检测技术

周 征 主编

李建民 杨建平 副主编

清华大学出版社
北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以被测物理量为研究对象,全面地阐述了各种被测物理量的检测方法、各种传感器的工作原理和按工程实际选用传感器的原则。内容包括:检测技术基本知识,传感器概述,温度检测与传感器,流量检测与传感器,压力检测与传感器,气体、湿度检测与传感器,物位检测与传感器,机械量检测与传感器,检测系统的抗干扰技术。书中给出了大量来源于生产实际的实用电路和实例。

本书体系新颖,内容丰富,论述深入浅出,实用性突出,可作为高职高专院校、成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的电气自动化技术、生产过程自动化技术、测控技术与仪器、电子信息工程技术、应用电子技术和机电一体化等专业的教材或教学参考书,也可供测控领域的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与检测技术/周征主编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2007.2
(21世纪高职高专规划教材·机电系列)

ISBN 978-7-81082-920-5

I. 传… II. 周… III. 传感器-高等学校:技术学校-教材 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第139525号

责任编辑:吴嫦娥 特邀编辑:宋望溪

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京市梦宇印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:15.5 字数:387千字

版 次:2007年2月第1版 2007年2月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-81082-920-5/TP·316

印 数:1~4 000册 定价:25.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn.

21 世纪高职高专规划教材·机电系列 编审委员会成员名单

主任委员 李兰友 边奠英
副主任委员 周学毛 崔世钢 王学彬 丁桂芝 赵 伟
 韩瑞功 汪志达

委 员 (按姓名笔画排序)

马 辉	万志平	万振凯	王永平	王建明
尤晓晔	丰继林	左文忠	叶 华	叶 伟
付晓光	付慧生	冯平安	江 中	佟立本
刘 炜	刘建民	刘 晶	曲建民	孙培民
邢素萍	华铨平	吕新平	陈小东	陈月波
李长明	李 可	李志奎	李 琳	李源生
李群明	李静东	邱希春	沈才梁	宋维堂
汪 繁	张文明	张权范	张宝忠	张家超
张 琦	金忠伟	林长春	林文信	罗春红
苗长云	竺士蒙	周智仁	孟德欣	柏万里
宫国顺	柳 炜	钮 静	胡敬佩	姚 策
赵英杰	高福成	贾建军	徐建俊	殷兆麟
唐 健	黄 斌	章春军	曹豫莪	程 琪
韩广峰	韩其睿	韩 劼	裘旭光	童爱红
谢 婷	曾瑶辉	管致锦	熊锡义	潘玫玫
薛永三	操静涛	鞠洪尧		

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分，它的根本任务是培养生产、建设、管理和服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型专门人才，所培养的学生在掌握必要的基础理论和专业知识的基础上，应重点掌握从事本专业领域实际工作的基本知识和职业技能，因而与其对应的教材也必须有自己的体系和特色。

为了适应我国高职高专教育发展及其对教学改革和教材建设的需要，在教育部的指导下，我们在全国范围内组织并成立了“21世纪高职高专教育教材研究与编审委员会”（以下简称“教材研究与编审委员会”）。“教材研究与编审委员会”的成员单位皆为教学改革成效较大、办学特色鲜明、办学实力强的高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院，其中一些学校是国家重点建设的示范性职业技术学院。

为了保证规划教材的出版质量，“教材研究与编审委员会”在全国范围内选聘“21世纪高职高专规划教材编审委员会”（以下简称“教材编审委员会”）成员和征集教材，并要求“教材编审委员会”成员和规划教材的编著者必须是从事高职高专教学第一线的优秀教师或生产第一线的专家。“教材编审委员会”组织各专业的专家、教授对所征集的教材进行评选，对所列选教材进行审定。

目前，“教材研究与编审委员会”计划用2~3年的时间出版各类高职高专教材200种，范围覆盖计算机应用、电子电气、财会与管理、商务英语等专业的主要课程。此次规划教材全部按教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”编写，其中部分教材是教育部《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》的研究成果。此次规划教材按照突出应用性、实践性和针对性的原则编写并重组系列课程教材结构，力求反映高职高专课程和教学内容体系改革方向；反映当前教学的新内容，突出基础理论知识的应用和实践技能的培养；适应“实践的要求和岗位的需要”，不依照“学科”体系，即贴近岗位，淡化学科；在兼顾理论和实践内容的同时，避免“全”而“深”的面面俱到，基础理论以应用为目的，以必要、够用为度；尽量体现新知识、新技术、新工艺、新方法，以利于学生综合素质的形成和科学思维方式与创新能力的培养。

此外，为了使规划教材更具广泛性、科学性、先进性和代表性，我们希望全国从事高职高专教育的院校能够积极加入到“教材研究与编审委员会”中来，推荐“教材编审委员会”成员和有特色的、有创新的教材。同时，希望将教学实践中的意见与建议，及时反馈给我们，以便对已出版的教材不断修订、完善，不断提高教材质量，完善教材体系，为社会奉献更多更新的与高职高专教育配套的高质量教材。

此次所有规划教材由全国重点大学出版社——清华大学出版社与北京交通大学出版社联合出版，适合于各类高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院使用。

21世纪高职高专教育教材研究与编审委员会

2007年1月

前 言

随着现代科学技术的发展,检测技术在材料与能源、土建、制造、电子信息等学科大类中得到广泛应用。传感器是检测技术的物理载体,是信息获取的环节,是集材料、机械、电子、信息及控制等为一体的综合技术,是自动化领域的关键技术之一。检测技术的应用不但已渗透到国防、航空、航天、铁路、冶金、化工等国民经济的各个行业,而且也广泛应用于办公自动化、商业自动化、家庭自动化等人类生活的各个领域,其开发和应用水平已逐步成为代表一个国家工业发展水平的标志之一,也是高等工科院校电气信息类各专业的专业课程之一。

《传感器原理与检测技术》一书针对检测技术在各学科相互交叉、渗透的特点,融合了各学科对信息获取的要求,把握、利用传感器将不同物理量信号转换成电量这一共性关键技术为核心,将检测技术与传感器有机地结合,从突出工程应用、强化理论联系实际的角度出发,在充分借鉴目前国内外相关教材和资料文献的基础上编写了本教材。

在本书编写过程中,编者在充分分析常见检测系统的基础上,综合了近年来检测技术发展的新成果,总结了多年来的教学实践,以及开发、研制检测系统的体会。书中涉及的内容不仅顾及了从事检测所需的基础知识,而且尽量反映该领域内的最新技术。本书的特点是以被测物理量为主线,贯穿对物理参量的分析,引出检测方法、典型电路和传感器,最后按照工程实际要求总结出传感器的选择原则。这种编排方式突出了被测物理量,使初学者比较容易掌握从对象—检测方法—传感器的认知过程,便于进行总结,也为今后应用奠定基础,从而避免了传统教材以传感器工作原理来编制章节的不足(一种传感器可检测多种物理量),集中讨论检测系统的基本原理及实际应用技术,体系新颖。在内容上,注意反映有实用价值的核心技术,力求培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

全书共分9章,第1章检测技术基本知识,第2章传感器概述,第3章温度检测与传感器,第4章流量检测与传感器,第5章压力检测与传感器,第6章气体、湿度检测与传感器,第7章物位检测与传感器,第8章机械量检测与传感器,第9章检测系统的抗干扰技术。

本书由周征编写第1、2、9章,杨建平编写第3、5、6章,李建民编写4、7、8章,全书由周征整理定稿。在编写过程中,得到了兰州工业高等专科学校的大力支持和帮助,许多同行提出了很多宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。本书在编写过程中参考了许多教材和文献,在此也表示谢意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2007年1月

目 录

第 1 章 检测技术基本知识	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 检测的含义、目的及意义	(1)
1.1.2 检测系统的组成	(2)
1.1.3 检测技术的发展概况	(3)
1.2 检测的基本方法	(4)
1.2.1 检测方法的分类	(4)
1.2.2 检测方法的选择	(6)
1.3 测量误差及处理方法	(7)
1.3.1 测量误差基本概念	(7)
1.3.2 误差的分类	(8)
1.3.3 误差的处理	(12)
1.4 检测系统误差的合成、分配及性能评价	(16)
1.4.1 误差综合与分配	(16)
1.4.2 检测系统的性能评价	(16)
思考题与习题	(20)
第 2 章 传感器概述	(22)
2.1 传感器的基本概念	(22)
2.1.1 概述	(22)
2.1.2 传感器的组成与分类	(24)
2.1.3 传感器的应用领域和需求量	(29)
2.2 传感器的一般特性	(29)
2.2.1 传感器的静态特性	(29)
2.2.2 传感器的动态特性	(32)
2.3 传感器的性能指标与要求	(34)
2.3.1 传感器的主要性能指标	(34)
2.3.2 传感器工作要求	(36)
2.4 传感器基本测量电路	(36)
2.4.1 电桥的分类	(37)
2.4.2 测量电桥的工作原理	(38)
2.5 传感器的标定与校准	(41)

2.5.1	传感器的标定	(41)
2.5.2	传感器的校准	(42)
2.6	改善传感器性能的主要技术途径	(42)
	思考题与习题	(43)
第3章	温度检测与传感器	(44)
3.1	概述	(44)
3.1.1	温度与温标	(44)
3.1.2	温度检测的主要方法及特点	(45)
3.2	接触式温度检测与传感器	(46)
3.2.1	热电阻及温度检测	(47)
3.2.2	热敏电阻及温度检测	(51)
3.2.3	热电偶及温度检测	(56)
3.2.4	集成温度传感器及温度检测	(65)
3.3	非接触式温度检测与传感器	(73)
3.3.1	红外传感器及温度检测	(73)
3.3.2	光纤传感器及温度检测	(77)
3.4	选择温度传感器需考虑的问题	(83)
	思考题与习题	(86)
第4章	流量检测与传感器	(87)
4.1	概述	(87)
4.2	流量检测方法 with 流量传感器的分类	(87)
4.2.1	流量检测的方法	(88)
4.2.2	流量传感器的分类	(89)
4.2.3	流量传感器的主要技术参数	(89)
4.3	差压法流量传感器	(90)
4.3.1	节流式流量传感器	(90)
4.3.2	靶式流量传感器	(91)
4.3.3	转子流量传感器	(93)
4.3.4	差压式流量传感器标准节流装置的安装要求	(94)
4.3.5	差压式流量传感器的使用	(95)
4.4	容积法流量传感器	(96)
4.4.1	椭圆齿轮流量传感器	(96)
4.4.2	腰轮流量传感器	(97)
4.4.3	旋转活塞式流量传感器	(98)
4.4.4	刮板式流量传感器	(98)
4.4.5	容积式流量计的安装与使用	(99)
4.5	速度式流量传感器	(99)
4.5.1	涡轮流量传感器	(100)
4.5.2	叶轮式流量传感器	(101)

4.5.3	涡街流量传感器	(101)
4.5.4	电磁传感器及流量检测	(102)
4.5.5	超声波传感器及流量检测	(103)
4.6	质量流量检测传感器	(111)
4.6.1	间接式质量流量传感器	(111)
4.6.2	直接式质量流量传感器	(112)
4.7	流量传感器的选用	(113)
4.7.1	选用流量传感器应考虑的因素	(113)
4.7.2	流量传感器选型的步骤	(117)
	思考题与习题	(118)
第5章	压力检测与传感器	(119)
5.1	概述	(119)
5.1.1	压力的概念及单位	(119)
5.1.2	压力检测的方法	(120)
5.1.3	压力传感器分类	(121)
5.2	弹性压力传感器及压力检测	(121)
5.2.1	弹性敏感器	(121)
5.2.2	电容式传感器及压力检测	(123)
5.2.3	电感式传感器及压力检测	(128)
5.2.4	霍尔式传感器及压力检测	(131)
5.3	应变片式传感器及压力检测	(134)
5.3.1	应变片原理与结构	(134)
5.3.2	应变片式传感器及压力检测	(136)
5.4	压电式传感器及压力检测	(138)
5.4.1	压电效应	(138)
5.4.2	压电式压力传感器的结构	(139)
5.4.3	压电元件的等效电路	(139)
5.4.4	压电式压力传感器的应用	(140)
5.5	压力传感器的基本电路	(140)
5.5.1	压力传感器的驱动电路	(140)
5.5.2	压力传感器的放大电路	(143)
5.5.3	压力传感器的温度补偿方式	(144)
5.6	压力传感器的应用实例	(144)
5.7	压力传感器的选择	(148)
	思考题与习题	(149)
第6章	气体、湿度检测与传感器	(150)
6.1	气体成分检测与传感器	(150)
6.1.1	概述	(150)
6.1.2	气敏传感器的原理	(152)

6.1.3	气敏传感器的应用技术	(154)
6.1.4	气敏传感器的应用实例	(157)
6.1.5	气敏传感器的选择	(160)
6.1.6	使用气体检测仪时需要注意的问题	(161)
6.2	湿度检测与传感器	(162)
6.2.1	概述	(162)
6.2.2	湿度传感器的工作原理	(166)
6.2.3	湿度传感器的应用技术	(167)
6.2.4	湿度传感器的应用实例	(169)
6.2.5	湿度传感器的选择	(172)
	思考题与习题	(174)
第7章	物位检测与传感器	(176)
7.1	概述	(176)
7.2	接触式物位传感器	(178)
7.2.1	浮力式液位传感器	(179)
7.2.2	电容式物位传感器	(179)
7.2.3	静压式物位传感器	(180)
7.3	非接触式物位传感器	(182)
7.3.1	超声波物位传感器	(182)
7.3.2	微波物位传感器	(186)
7.4	物位传感器应用举例	(188)
	思考题与习题	(189)
第8章	机械量检测与传感器	(190)
8.1	位移检测与传感器	(190)
8.1.1	位移的检测方法	(190)
8.1.2	常用位移传感器	(191)
8.2	速度检测传感器	(201)
8.2.1	速度的检测方法	(201)
8.2.2	常用的速度传感器	(202)
8.3	力的检测与传感器	(205)
8.3.1	力的检测方法	(206)
8.3.2	常用测力传感器	(207)
	思考题与习题	(211)
第9章	检测系统的抗干扰技术	(212)
9.1	干扰的来源及传播途径	(212)
9.1.1	噪声源	(212)
9.1.2	噪声干扰的传播途径	(213)
9.1.3	噪声干扰的模式	(215)
9.1.4	抑制干扰的基本原则	(216)

9.2 硬件抗干扰技术	(216)
9.2.1 接地技术.....	(216)
9.2.2 屏蔽技术.....	(222)
9.2.3 长线传输的干扰及其抑制	(223)
9.2.4 共模干扰的抑制	(225)
9.2.5 差模干扰的抑制	(228)
9.2.6 供电系统抗干扰技术	(229)
9.2.7 印刷电路板抗干扰技术	(230)
思考题与习题.....	(232)
参考文献.....	(233)

第 1 章 检测技术基本知识

在科学技术高速发展的现代社会中，人类已进入瞬息万变的信息时代。人们在日常生活、生活过程中，主要依靠检测技术来对信息进行获取、传输和处理。在现代工业生产中，主要依靠检测技术来实现自动控制、自动调节，它是自动控制系统的感受器官。国内外已将检测技术列为优先发展的科学技术领域之一。

作为电气信息类专业的学生和从事这方面工作的工程技术人员，检测技术是必备的知识。要掌握这门知识，首先应该了解检测的目的和意义，了解检测技术的发展趋势，明确检测技术与本专业各技术课程之间的关系。

1.1 概 述

1.1.1 检测的含义、目的及意义

人有“五官”——耳、眼、鼻、舌、皮肤，就具有听、视、嗅、味、触觉功能，来感知外界的刺激，并通过大脑对这些刺激信号进行处理，作出判断，指导人的行动。

在工农业生产、科学研究、国防建设乃至日常生活中，要了解一个生产过程，就必须经常测试能够表征它们特性、状态的物理量，如电压、电流、温度、压力、流量、液位、成分等信息。对这些信息参数的大小、变化速度、变化方向等进行监督和控制，就能使生产过程处于最佳状态，做到安全、经济，最终达到预期的结果。检测系统与人体系统的对照关系如图 1-1 所示。

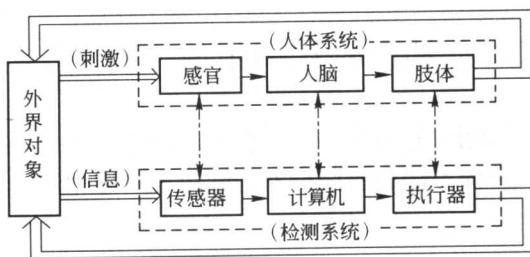


图 1-1 检测系统与人体系统的对照图

为了对物理参量进行检测，就需要考虑采用什么检测方法，选择什么样的传感器去进行测量。据国际通用计量学基本名词推荐：测量是以确定量值为目的的一组操作。这种操作就是测量中的比较过程——将被测参数的量值与同种性质的标准量进行比较，确定被测量对标准量的倍数，即为测量结果。与测量相近的概念是检验，它常常只需分辨出参数量值所归属的某一范围带，以此来判别被测参数是否合格或现象是否存在等。检测不仅包含了上述两种内容，而且在自动控制系统中，还用于对被测/被控对象有用信息的检出。所以，检测是意义更为广泛的测量，是检验、测量的统称（测试是测量和试验的全称，有时把较复杂的测量称为测试）。

在自动控制领域中，检测的任务不仅是对成品或半成品的检验和测量，而且为了检查，

监督和控制某个生产过程，需要随时检查和测量各种参量的大小和变化等情况(如热工参数、几何参数、表面质量、内部缺陷、泄漏、成分等)。这种对生产过程实施定性检查和定量测量的技术又称为工程检测技术。因此，检测技术是指人们为了定性了解或掌握自然现象或状态所从事的一系列定性检查和定量测量的技术措施。

随着生产水平与自动化程度的提高，要求先进的检测技术与仪表作基础。据统计：大型发电机组约需要 3 000 台传感器及其配套监测仪表；大型石油化工厂约需要 6 000 台传感器及其配套监测仪表；钢铁厂约需要 20 000 台传感器及其配套监测仪表；电站约需要 5 000 台传感器及其配套监测仪表；一架飞机约需要 3 600 只传感器及其配套监测仪表；一辆汽车约需要 30~100 只传感器及其配套监测仪表。

在各种现代装备系统的设计和制造工作中，检测工作内容已占首位。检测系统的成本已达到该装备系统总成本的 50%~70%，它是保证现代工程装备系统实际性能指标和正常工作的重要手段，是其先进性及实用性的重要标志。以电厂为例，为了实现安全高效供电，电厂除了实时监测电网电压、电流、功率因数及频率、谐波分量等电气量外，还要实时监测电机各部位的振动(振幅、速度、加速度)及压力、温度、流量、液位等多种非电气量，并实时分析处理、判断决策、调节控制，以使系统处于最佳工作状态。如果检测系统不够完备，主汽温度测量值有 +1% 的测量偏差，则汽机高压缸效率减少 3.7%；若主汽流量测量值有 -1% 的测量偏差，则电站燃烧成本增加 1%。又如：为了对工件进行精密机械加工，需要在加工过程中对各种参数，如位移量、角度、圆度、孔径等直接相关量及振动、温度、刀具磨损等间接相关参量进行实时监测，实时由计算机进行分析处理，然后由计算机实时地对执行机构给出进刀量、进刀速度等控制调节指令，才能保证预期的高质量要求，否则得到的将是次品或废品。

总之，人们对自然界的认识在很大程度上取决于检测。

1.1.2 检测系统的组成

检测系统的主要作用在于测量各种参数以用于显示或控制。由于被测对象复杂多样，因此，检测方法和检测技术的结构也不尽相同，基本检测系统组成如图 1-2 所示。

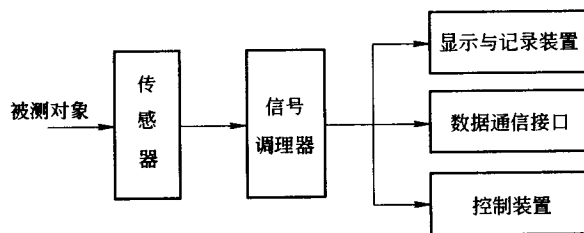


图 1-2 基本检测系统的组成

图 1-2 中各部分的作用如下。

1) 传感器

传感器处于被测对象与检测系统的接口位置，是一个信号变换器。它直接从被测对象中提取被测量的信息，感受其变化并变换成便于测量的其他量。例如将速度变换成电压，将流

量转换成压力等。传感器是检测系统的重要组成部分。

2) 信号调理器

信号调理器又称中间转换器，它的作用是将传感器的输出信号进行放大、转换和传输等，使其适合于显示、记录、数据处理或控制。例如测量电桥、滤波器、放大器、电压/频率变换器(V/F)、电压/电流变换器(V/I)、交流/直流变换器等。

3) 输出环节

输出环节包含显示和打印记录装置、数据通信接口和控制执行器装置等，从而使检测系统不仅用于检测，还能完成控制和保护操作等功能。

从检测系统的组成结构可以看出，要掌握检测技术，不仅要具备力学、光学、电磁学等这些物理学知识，还要具备电子、计算机、自动化、信息等领域的知识和技术。例如，传感器一般都基于复杂的物理和化学定理和规律；信号的放大和调理又依赖于电子技术；信号的处理和分析则依靠数字信号处理、随机信号分析等这些信息领域的研究成果；检测仪器的智能化，则是自动化技术、计算机技术、接口与网络技术相结合的产物；此外，检测系统中还要用到测量误差理论、信号与系统分析方法(时域、频域、复频域、I域)、抗干扰技术等知识。因此，检测技术是一门综合了现代电子技术、微电子技术、生物技术、材料科学、化学科学、光电技术、精密加工技术、计算机技术和信息技术等的交叉性技术学科。可以说检测技术是现代科学技术水平高低的标志之一。

1.1.3 检测技术的发展概况

随着科学技术和工业生产的不断发展，为检测技术提供了新的检测理论和检测方法。因而出现了各种新的检测工具，这就有可能开拓新的检测领域。故可以从以下几个方面反映检测技术的发展。

1. 检测理论方面

目前，随着计算机的普及，使信息论中的误差理论、估计理论应用于检测系统成为可能；计算机的高速运算能力和信息处理量大的特点，使统计技术中的平均值、最小二乘等算法得以实现，从而可以获得更多且精确有用的信息。

2. 检测领域方面

(1) 人类活动范围的扩展，反映在新的检测对象、新的检测领域和新的检测要求上。例如，随着工业生产的发展，工厂中排出的“三废”对自然界造成了严重污染，破坏了生态平衡，破坏了人们赖以生存的自然环境。为了保护环境，防止水、空气的污染及废渣的污染，就要对环境所含有的各种杂质进行微量检测，并加以控制。这就要求制造新的灵敏度极高的检测元件和寻找新的检测方法。

(2) 人们生活条件的改善和提高，使人们的安全、健康意识加强，对医疗卫生行业提出了新的要求，出现了新的医疗器械——生物医学仪器。如CT、B超；还有牵涉到有关人的心理、生理、精神方面的检测，如不安感、疲劳度等；还有犯罪方面的检测。

(3) 工业生产的发展，使对生产过程的间接参数 T (温度)、 Q (流量)、 P (压力)等的检

测, 转向表征生产过程本质的物性、成分、组分、能量等参数的检测。参数的显示已逐渐由模拟式变为数字式或图像显示等。

(4) 仿生学的出现又进一步拓宽了检测领域。

3. 检测工具和方法

随着新的检测领域的出现, 新的检测方法和检测工具也随之出现。如利用激光脉冲原理测量长距离(如地球到月球的距离)可以大大提高精度。

另一方面, 充分利用新技术扩大了仪表的测量功能。近年来在测量仪表中引入微机进行数据分析、计算、处理、校验、判断及储存等工作, 实现了原来单个仪表根本不可能实现的许多功能, 大大提高了测量效率、测量精度、测量的可靠性、测量的稳定性和测量的经济性。

例如, 目前工业上质量比较高的模拟仪表, 其典型漂移值约为 $0.1\%/h$, 对标准信号 $1\sim 5\text{ V}$ 而言, 其漂移值约为 $5\text{ mV}/h$; 在抗干扰方面, 百米长的电缆可能有 5 mV 的噪声电压, 故仪表的总精度不会优于 0.2% 。而对数字仪表来说, 只要能辨别 0 和 1 , 就不易受到噪声的影响。例如, 一般的数字电路中, 高电平是 5 V , 则它 $1\ 000$ 倍于噪声电压, 当然噪声对它的影响就很小, 漂移问题也不存在, 故就可靠性和稳定性来看, 数字仪表优于模拟仪表。因此, 数字仪表组成的检测系统愈来愈多地得到应用。

1.2 检测的基本方法

检测是借助专用的技术器具, 通过实验、计算来获取表征被测对象特征的某些参数的定量信息(大小或正负); 测量实质上就是一个比较过程, 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, 求其相应的倍数的过程。通常将某种特定量的检测称之为测量。

1.2.1 检测方法的分类

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靠程度, 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. 根据测量条件分类

按测量条件分类有等精度测量法和非等精度测量法。

1) 等精度测量法

在测量过程中, 使影响测量误差的各因素(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, 其可靠程度是相同的。

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。

一般在科学研究、重要的精密测量或检定工作中，为了获得更可靠和精确的测量结果才采用非等精度测量法。在工程技术中，常采用的是等精度测量法。

2. 按测量手段分类

按测量手段分类有直接测量、间接测量和组合测量。

1) 直接测量

将被测量与标准量直接比较，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就是直接测量。直接测量的优点是测量过程简单、迅速，缺点是测量精度不高。该方法是工程上广泛采用的方法。

2) 间接测量

被测量本身不易直接测量，但可以通过与被测量有一定函数关系的其他量(一个或几个)的测量结果求出(如用函数解析式计算、查函数曲线或表格)被测量数值，这种测量方式称为间接测量。例如，导线的电阻率 ρ 的测量，只要利用直接测量得到导线的 R ， l ， d 的数值，再代入 $\rho = \frac{\pi d^2}{4l} \times R$ ，就可得到 ρ 值。在这种测量过程中，手续较多，花费时间较长，但与直接测量被测量相比，可以得到较高的精度。

3) 组合测量

如果被测量有多个，而且被测量又与某些可以通过直接或间接测量得到结果的其他量存在着一定的函数关系，则可先测量这几个量，再求解函数关系组成的联立方程组，从而得到多个被测量的数值。它是一种兼用直接测量和间接测量的方式，这种方法比较烦琐，通常用于精密测量、智能仪表、实验室和科学研究中。

3. 按测量方式分类

按测量方式分类有偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

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。它是以间接方式实现被测量与标准量的比较。例如，用弹簧秤、磁电式仪表就属于偏差式测量。该测量方法过程比较简单、迅速，但测量结果的精度低，因此广泛用于工程测量。

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，使被测量和标准量两者达到平衡，用已知的标准量决定被测未知量的测量方法称为零位式测量法。应用这种方法进行测量时，标准量具装在仪表内，在测量过程中标准量具直接与被测量相比较，调整标准量，一直到被测量与标准量相等，即指零仪表回零。例如，利用天平测量质量和惠斯登电桥测量电阻(或电感、电容)就是这种方法的一个典型例子。对于零位式测量，只要零指示器的灵敏度足够高，其测量准确度几乎等同于标准量的准确度，因而测量

准确度很高，所以常用在实验室作为精密测量。但由于在测量过程中为了获得平衡状态，需要进行反复调节，即使采用一些自动平衡技术，检测速度仍然较慢，这是该方法的不足之处。

3) 微差式测量法

当未知量尚未完全与已知标准量平衡时(被测量大部分被已知的标准量抵消，剩余差值未被抵消)，读取它们之间的差值，由已知的标准量和偏差值得被测量的数值。或者说零值量(基本量)平衡，增量产生的不平衡即为差值。这种方法的误差主要取决于差值，差值愈小，对总的测量结果的影响就愈小，差值的测量误差对总的误差的影响就愈小。由于这种方法不需要可调节的标准量，也无需平衡操作，标准量的精度容易做得很高，测量过程也比较简单，所以它比较适合于工程测量，如不平衡电桥测电阻。

4. 按被测量在测量过程中的状态分类

按被测量在测量过程中的状态分类有静态测量和动态测量。

1) 静态测量

当被测量可以认为不随时间变化时，采用静态测量。因此在一段时间内可以重复测量，以表征被测量的性质和状态。

2) 动态测量

当被测量本身随时间快速变化时，必须采用动态测量。动态测量的输出也是变化的信号，它表征被测量的状态变化过程。在动态测量中，所采用的仪器仪表工作响应速度应能满足被测量快速变化的需要。

5. 其他测量方法

前面4种属于传统的检测方法，随着科学试验及工业应用的不断发展，这些测量方法远不能满足要求。因此，非接触检测及在线检测在科学试验、工业过程检测及工业控制过程中显得越来越重要，显示出巨大的优越性。

非接触检测是利用物理、化学及声光学的原理，使被测对象与检测元器件之间不发生物理上的直接接触而对被测量进行检测的方法。

在线检测与离线检测的区别是：检测工作是在被测量变化过程中进行，还是在过程之外或过程结束后进行。

在线检测，狭义上讲，是在检测量变化过程中进行的检测。广义地说，是应用各种传感器对被测量进行实时监测，并实时地进行分析处理而获得信息，与预先设定的量进行比较，然后根据误差信号进行处理，保证检测精度或使生产过程处于最佳运行状态。

随着在线检测技术的发展，对检测系统各个环节的实时性提出了更高的要求，即要求各个环节响应要快，以满足实时监测的需要。

1.2.2 检测方法的选择

在选择检测方法时，要综合考虑下列主要因素。

(1) 从被测量本身的特点来考虑。被测量的性质不同，采用的测量仪器和测量方法当然