



教育部高职高专规划教材

自动检测技术

● 林金泉 主编



化学工业出版社
教材出版中心



中国铁道出版社

自动检测技术

第二版

中国铁道出版社

教育部高职高专规划教材

自动检测技术

林金泉 主编

化学工业出版社

教材出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

自动检测技术/林金泉主编. —北京: 化学工业出版社, 2003. 5

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-4073-3

I. 自… II. 林… III. 自动检测-高等学校: 技术学校-教材 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 040507 号

教育部高职高专规划教材

自动检测技术

林金泉 主编

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 王金生

责任校对: 李 林

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 10½ 字数 250 千字

2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4073-3/G · 1171

定 价: 17.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出 版 说 明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《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》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

根据教育部积极发展高等职业教育,大力推进高等专科教育专业人才培养模式的改革精神,全国高职高专专门课开发指导委员会组织全国高职高专院校,于2001~2002年先后召开多次会议,成立了各专业专门课开发小组,确定了各专业的教材体系和课程结构框架。本书正是根据专门课开发指导委员会确定的《自动检测技术》课程基本要求,从该课程的高职高专教育目标及知识、能力和素质结构要求出发,按照该课程的编写大纲而编写的。

本书以培养学生从事实际工作的基本能力和基本技能为目的,本着理论知识以必需、够用为度,少而精的原则,注重知识的基础性、适用性和针对性,尽量反映检测技术领域内的新技术、新成果、新动向。

全书共分八章,前四章重点介绍检测的基础知识,模拟量、数字量检测技术。内容包括:检测的基本概念,检测装置基本特性,检测信号分析,常用传感器的基本原理及应用、选用原则。第五章重点介绍以微机为核心的智能检测技术,其中包括智能仪器仪表的基本概念、基本结构及接口技术。第六章重点介绍检测信号的指示与记录,并简要介绍了反映最新技术的虚拟仪器的相关知识。第七章重点介绍检测中的干扰抑制技术。第八章介绍了检测技术在工业生产过程中的几个应用实例。每章均附有习题和思考题。

全书内容以检测信号的获取、转换、处理为主线,详细地阐述机械量、热工量等有关参数的检测原理及方法。内容重点突出,应用性强,文字简练,图文并茂,易于自学,方便教学。

本书可作为高职高专及成人高校数控加工、机电、电子、自动化等工程类专业的教学用书,也可作为从事检测技术工作的工程技术人员自学用的参考书。

本书由林金泉任主编,其中绪论、第六章的第一、二节、第八章由林金泉编写;第一章、第二章由蔡向朝编写;第三章由袁忠编写;第四章由吴旗编写;第五章由冷报春编写;第六章的第三节、第七章由胡良君编写。全书由林金泉负责统稿,由邓春生主审。

由于编者的水平有限,书中难免有欠妥或错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2003年2月

内 容 提 要

本书主要包括：检测的基础知识，模拟量、数字量检测技术，以微机为核心的智能检测技术，检测信号的指示与记录和最新的虚拟仪器相关技术知识，检测中的干扰抑制技术以及检测技术在工业生产过程中的应用实例等。每章均附有习题和思考题。

本书可作为高职高专及成人高校数控加工、机电、电子、自动化等工程类专业的教学用书，也可作为从事检测技术工作的工程技术人员自学用的参考书。

目 录

绪论	1
一、自动检测技术在国民经济中的地位和作用	1
二、自动检测系统的组成	2
三、检测技术的发展趋势	3
四、本课程的任务和学习方法	3
第一章 检测的基本概念	5
第一节 测量的基本知识	5
一、测量的概念	5
二、测量的特征	5
三、测量的方法	5
四、测量误差	6
第二节 检测装置的基本特性	8
一、检测装置的基本组成	8
二、检测装置的评价特性	8
习题与思考题	10
第二章 检测信号分析基础	11
第一节 信息与信号的基本知识	11
一、信息与信号的定义	11
二、信息与信息技术	11
第二节 信号的分类及其特征	12
一、信号的分类	12
二、信号的描述	13
三、周期信号的特征	14
四、非周期信号的特征	17
习题与思考题	19
第三章 模拟检测技术	20
第一节 传感器的概述	20
一、传感器的作用	20
二、传感器的组成及分类	20
三、传感器的发展动向	21
四、传感器的选用原则	22
第二节 电阻式传感器	24
一、电位器式传感器	24
二、电阻应变式传感器	26
三、电阻式传感器的应用	28

第三节 电容式传感器	29
一、工作原理	29
二、测量电路	32
三、电容式传感器的应用	34
第四节 电感式传感器	35
一、自感型电感式传感器	35
二、互感型-差动变压器式电感传感器	37
三、电感传感器的应用	39
第五节 磁敏传感器	39
一、霍尔器件	39
二、磁阻器件	41
三、磁敏传感器的应用	41
第六节 热敏传感器	42
一、热电偶	42
二、热电阻式	46
第七节 压电式传感器	48
一、压电式传感器的工作原理	48
二、压电材料及压电元件的结构	49
三、压电式传感器的测量电路	51
四、压电式传感器的应用	53
第八节 光纤与激光传感器	54
一、光纤传感器	54
二、激光传感器	56
三、激光传感器的应用	59
习题与思考题	60
第四章 数字检测技术	62
第一节 光电式传感器	62
一、光电效应及分类	62
二、光电元件及特性	62
三、光电传感器的应用类型	66
四、光电传感器的应用举例	67
第二节 光栅传感器	71
一、光栅的结构和类型	71
二、光栅传感器的工作原理	72
三、细分技术	74
四、光栅数显装置	75
五、光栅传感器的应用	76
第三节 光电编码器	77
一、增量式编码器	78
二、绝对式光电编码器	78

三、光电脉冲编码器的应用	80
第四节 磁栅传感器	81
一、磁栅传感器的组成及类型	82
二、磁栅传感器的工作原理	83
三、磁栅数显装置	85
四、磁栅传感器的应用	85
第五节 感应同步器	86
一、感应同步器的结构和类型	86
二、感应同步器的工作原理	87
三、感应同步器在数控机床闭环系统中的应用	89
第六节 旋转变压器	91
一、旋转变压器的结构	91
二、旋转变压器的工作原理	91
习题与思考题	93
第五章 智能检测技术	95
第一节 概述	95
一、什么是智能仪器仪表	95
二、智能仪器仪表的结构	95
三、智能仪器仪表的基本功能和特点	96
四、智能仪器仪表的发展趋势	97
第二节 各类滤波器	97
一、滤波器的类型	98
二、RC 模拟式滤波器分析	98
第三节 信号的调制与解调	99
一、调幅 (AM) 及其解调	99
二、调频 (FM) 及其解调	100
第四节 A/D 和 D/A 转换	100
一、A/D 转换原理及应用电路	101
二、D/A 转换原理及应用电路	103
第五节 智能仪表接口技术	107
一、微机外围设备的寻址与译码	107
二、输入输出的控制方式	108
三、数字信号与微处理器的接口方法	110
四、串行接口方法	111
五、微机控制的仪器键盘	114
习题与思考题	116
第六章 检测信号的指示与记录	117
第一节 模拟式显示仪表	117
一、光柱显示式报警指示计	117
二、DDZ-III 型电动记录仪	118

第二节 数字显示仪表·····	120
一、普通数字式显示仪表·····	120
二、新型显示记录仪表简介·····	122
第三节 虚拟仪器简介·····	124
一、概述·····	124
二、32 通道波形记录仪 ·····	125
习题与思考题·····	127
第七章 抗干扰技术 ·····	128
第一节 干扰源及干扰的耦合方式·····	128
一、干扰的来源·····	128
二、干扰的耦合方式·····	130
第二节 干扰抑制技术·····	132
一、差模干扰及其抑制·····	132
二、共模干扰及其抑制·····	132
三、干扰抑制技术·····	134
习题与思考题·····	141
第八章 自动检测技术的应用 ·····	142
第一节 自动检测技术在数控机床中的应用实例·····	142
一、数控铣床加工·····	142
二、电液伺服系统·····	145
三、其他应用·····	145
第二节 微机在自动检测系统的应用·····	148
一、陶瓷隧道窑温度、压力检测控制系统应用实例·····	148
二、自动配料测试系统应用实例·····	150
习题与思考题·····	155
主要参考书目 ·····	156

绪 论

在人类的各项生产活动和科学实验中，如要从数量方面对它进行研究和评价，都是通过检测代表其特性的物理量来实现的。而检测是利用各种物理效应，选择合适的方法与装置，将生产、科研、生活中的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性和定量结果的过程。能够自动地完成整个检测过程的技术称为自动检测技术。自动检测技术以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容，现已经发展成为一门完整的技术学科。

由于检测技术属于信息科学范畴，是信息技术三大支柱（检测控制技术、计算机技术与通讯技术）之一。因此，在当今信息社会，现代化的检测技术在很大程度上决定了生产、科学技术的发展水平，而科学技术的进步又为检测技术提供了新的理论基础和新的工艺。

一、自动检测技术在国民经济中的地位和作用

1. 在产品检验和质量控制方面

自动检测技术是产品检验和质量控制的重要手段，产品质量评价需要借助检测工具来进行。在传统的检测技术基础上发展起来的自动检测技术，使检测和生产加工同时进行，并能及时地用检测结果对生产过程进行控制，使其达到最佳运行状态，生产出合格产品。

2. 安全经济运行监测方面

在工农业生产中，大多生产过程都是在一定的高压、高温、高转速和大功率下进行的，有的生产物料易燃易爆。保证生产设备安全运行在国民经济中具有重大意义。为此，通常设置故障监测系统对压力、温度、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期动态监测，以便及时发现异常情况，进行故障诊断，发出警报。这样可以避免严重的突发事件，保证设备的正常和人员的安全，提高经济效益。随着计算机技术的应用，这类监检系统已经发展为故障自诊断系统，具有检测、自诊断、自动报警、联锁保护等功能。

3. 生产自动化方面

生产过程的自动化，首要环节就是通过检测获取有关信息，从而进行分析判断并实施控制。所谓自动化，就是用各种技术工具与方法代替人工完成检测、分析、判断和控制工作。因此，检测装置代替了人的眼睛作用，具有工业眼睛之称。它获取信息是否准确及时是实施自动化，确保生产正常的关键所在。如在机械制造业中，通过对机床的许多静态、动态参数如工件的加工精度、切削速度、床体振动等进行在线检测，从而控制加工质量。所以，自动检测与转换是自动化技术中不可缺少的组成部分。

4. 在现代科学进步方面

自动检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步。特别是新原理、新材料的传感器的开发与应用，为人们探索未知世界，认识未知世界提供了必备的条件。只有检测出未知参数，人类才能从中寻求出一定的规律，探索出世界各个领域的奥秘。使现代科学的研究得以发展。

近年来，检测技术的发展和运用虽然很快，但相比自动控制理论、计算机技术的发展，作为“感觉器官”的检测技术的发展已经滞后。出现了信息处理功能发达，检测功能不足，

直接影响了计算机技术的推广应用。这个问题已引起世界各国的高度重视，开发新的材料、新的传感器件，已成为世界各国研究的新课题。

二、自动检测系统的组成

自动检测技术的任务，就是把待测的物理量，通过一种器件或装置，把被测的物理量采集、变换和处理。在被测物理量中，非电量占了绝大部分，例如压力、温度、湿度、流量、液位、力、应变、位移、速度、加速度、振幅等。目前，越来越多检测系统与计算机、执行机构配合组成自动控制与监视系统，完成某些生产过程控制。其典型实例如图 0-1 所示，工件的直径参数经传感器快速检测，经信号处理电路送计算机，计算机对该参数进行一系列的运算、比较、判断、发出控制信号，送至研磨盘控制器，控制研磨盘的水平运动，完成工件的加工。同时将有关参数送到显示器显示出来。

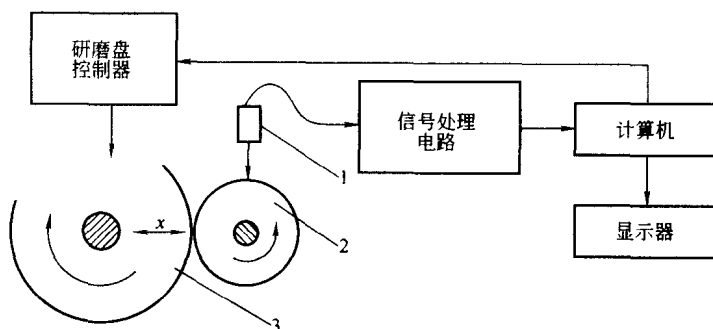


图 0-1 工业检测控制系统

1—传感器；2—被研磨工件；3—研磨盘

根据实例不难得知，自动检测系统由传感器、信号处理装置、显示、记录装置、执行器等组成。自动检测系统的结构如图 0-2 所示。

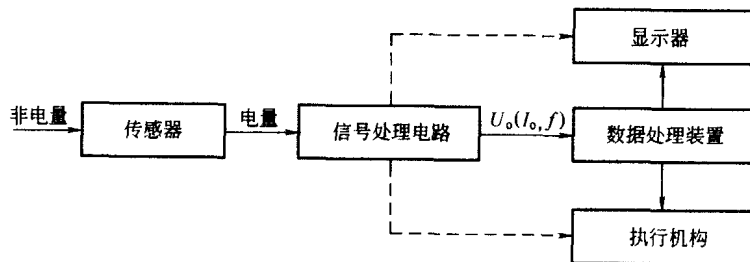


图 0-2 自动检测系统原理

1. 传感器

传感器是将外界的信息按一定规律转换成检测信号的装置，它是实现自动检测和自动控制的重要环节。目前除利用传统结构型传感器外，大量的采用物性型传感器。结构型传感器是以物体的变形或位移来检测被测量的，物性型传感器是利用材料固有特性来实现对外界信息的检测，它有半导体、陶瓷类、光纤及其他新型材料。

2. 信号处理装置

信号处理装置是用来对测量信号进行处理、运算、分析，对动态测试结果做频谱分析、

相关分析、并发出有关信号。目前,完成这些工作多采用计算机技术。

3. 显示记录装置

显示器目前有四类:模拟显示、数字显示、图形显示及记录仪。因模拟量是连续变化量,所以模拟显示是利用指针对标尺的相对位置来表示读数的。如动圈式仪表、电子电位差计等。数字显示多采用发光二极管和液晶等以数字的形式来显示读数。前者亮度高,后者耗电小。

图像显示是用 CRT 或点阵式的 LCD 来显示读数或被测参数的变化曲线。

记录仪主要用来记录被测参数的动态变化过程。常用的记录仪有笔式记录仪、绘图仪、数字存储示波器、磁带记录仪等。

4. 执行机构

通常是指各种继电器、电磁铁、电磁阀、电磁调节阀、伺服电动机等。它们是在电路中起通断、控制、调节、保护等作用的电器设备。

三、检测技术的发展趋势

检测系统中,如果没有传感器对原始信息进行精确、可靠的捕获和转换,则一切测量和控制都是不可能实现的。近年来,随着计算机技术的发展,新材料开发,新型或具有特殊功能的传感器不断涌现出来,检测装置也向着小型化、固化和智能化方向发展。其发展的趋势有以下几个方面。

① 研究新原理、开发新材料,以适应各行各业测量的需要。各发达国家正致力于研究出新原理、新材料的新型物性型传感器。近代物理学的进展如激光、红外、超声、微波、光纤、放射性同位素等新的成果都为检测技术开发提供了更多的依据,如利用光子滞后效应,出现了响应速度极快的红外传感器;利用约瑟夫逊效应的热噪声温度传感器,可测量 10^{-6} K 的超低温。陶瓷材料、高分子材料对新型传感器的研究和开发起到了很大的推动作用,而硅材料和其他派生物是目前最成熟和开发应用最广的材料,许多微型传感器都是在硅材料上制作的。

② 发展集成化、多功能化的传感器。传感器的集成化是将多个相同传感器配置在同一平面上,形成多维阵列,加上时序,变单一信息检测为多信息检测。传感器的多功能化是指传感器自身不仅有检测功能,还具有信号处理和其他功能。例如,利用特殊陶瓷能分别检测湿度和温度。又如,人们将排列成阵列的成千上万个光敏元件及扫描放大电路制作在一块芯片上,制成 CCD 摄像机。集成化多功能传感器已经迈向实用化。

③ 检测技术正向着智能化、仿生技术方向发展,传感器与微处理器集成在同一芯片上组成智能仪表不仅具有信号检测、转换功能,同时还有记忆、存储、解析、统计处理和自诊断、自校准、自适应等功能。现已投入实用。如美国费希尔-罗斯蒙特公司的智能 3051C 差压变送器。与此同时,人类研制各式各样的机器人应用于现代工业,已取得了可喜的成就,尽管传感器官的开发比较缓慢,使机器人的使用受到限制,但仿生检测技术仍是当前发展的方向之一。

除此之外,随着微电子技术与计算机技术的飞速发展,检测技术与计算机深层次的结合正引起检测仪器领域里一场新的革命,一种全新的仪器结构概念导致新一代仪器——虚拟仪器的出现并走向实用。

四、本课程的任务和学习方法

本课程是一门专业基础课程,从信息的获取、转换、显示与处理的角度较为详细的介绍

了检测基础知识、信号分析、模拟与数字检测技术及应用、智能检测技术及应用、抗干扰技术等内容。通过本课程的学习,使学生初步掌握工业生产中进行动态物理量的检测原理、基本知识和基本技能。

学生学完本课程后,应具备以下知识:

- ① 掌握检测基本知识及品质指标;
- ② 初步掌握信号分析的基本方法;
- ③ 基本掌握传感器的工作原理及应用、传感器的选用原则;
- ④ 基本掌握智能仪表的工作原理及应用;
- ⑤ 了解信号的变换方法和应用;
- ⑥ 了解常用记录装置的工作原理及应用;
- ⑦ 了解检测中抗干扰技术及应用。

本课程涉及的学科面广,实际应用性较强,与前面有关的基础知识和专业知识紧密相关。因此,学好的关键在于理论联系实际,善于思考、注重实践环节,面对当前检测滞后于信息处理的状况,激发学生的开拓创新精神,有条件的可组织到工业生产中去进行实践,这样才能学好、学活。

本教材各节有应用实例,各章均附有一定数量的思考题与习题,可以引导学生循序渐进地掌握检测技术的实际应用能力。

第一章 检测的基本概念

检测是指含有检查、测量等比较宽广意义的测量，是人们认识客观事物的重要方法，是从客观事物中获取有关信息的过程。在这过程中要借助于检测装置，并需通过合适的实验方法和必要的数学处理。

本章主要介绍测量的基本知识、检测装置的基本特性。这些知识是检测与转换技术的理论基础。

第一节 测量的基本知识

一、测量的概念

测量是指用实验的方法，借助一定的仪器或设备，把被测量与作为测量单位的标准量进行比较，求取二者的比值，从而得到被测量数值大小的过程。

上述定义用数学公式表示为

$$g = x/v \quad \text{或} \quad x = gv \quad (1-1)$$

式中 x ——被测量；
 v ——标准量；
 g ——比值。

测量的结果可以表现为一定的数字，也可以表现为一条曲线或者显示成某种图形等。但测量的结果总包含有数值（大小和符号）和单位，没有单位的测量结果是毫无意义的。

二、测量的特征

测量的过程实质上是一个比较的过程。比较是测量最显著的特征，测量的关键就在于被测量和标准量的比较。但是，在测量时，被测量常常不能直接和标准量比较，需要把被测量和标准量变换到双方便于比较的某个中间量后再进行比较。例如压力和温度的测量，都必须将其转换成相应的形变、位移或其他物理量才能进行比较。另外，随着电子技术、传感技术、电子计算机的迅速发展，把非电量转换成电量的测量，具有能对电信号进行远距离传输，便于测量动态参数及变化过程，测量精度高，便于和计算机连接等优点。可以说转换是现代检测技术另一重要的特征。

三、测量的方法

测量方法的正确与否十分重要，它关系到测量结果是否可靠以及测量工作能否正常进行。测量的方法多种多样，分类方法也各不相同。

1. 静态测量和动态测量

静态测量是测量那些不随时间变化或变化很缓慢的物理量。动态测量是测量那些随时间迅速变化的物理量。静态和动态是相对的，一切事物都是发展变化的，也可以把静态测量看

作是动态测量的一种特殊形式。

2. 直接测量、间接测量和组合测量

直接测量是测量结果能直接用预先标定好的测量仪表、器具的读数装置上获得的测量。如用千分尺或百分表测量轴径，用万用表测量电压、电阻等。直接测量简单而迅速。

间接测量是首先对与被测量有确定函数关系的物理量进行直接测量，然后通过函数式计算求得测量结果的一类测量。间接测量通常用于直接测量不易测准，或由于被测件结构限制而无法进行直接测量的场合。如测量大圆柱直径时，可通过测量周长 L ，按公式 $D=L/\pi$ 来计算直径。

组合测量是在测量中各个未知量以不同的组合形式出现，根据直接测量和间接测量所得到的数据，通过解联立方程组来求出未知量的数值。

例如在 $0\sim 630^{\circ}\text{C}$ 范围内，铂热电阻温度计的电阻值与温度的关系为

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

式中 R_t —— 在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的铂电阻值；

R_0 —— 在 0°C 时的铂电阻值；

A 、 B —— 铂电阻的温度系数。

为了确定铂电阻的温度系数，首先需要测量三种不同温度下的电阻值 R_1 、 R_2 、 R_3 ，然后再解联立方程组，求 A 、 B 和 R_0 的值。

组合测量比较复杂，一般适于科学实验和特殊场合。

3. 接触式测量和非接触式测量

接触式测量是指测量时仪器的测头与被测对象直接接触。如用压电式传感器测量力。

非接触式测量是指测量时仪器的敏感元件与被测对象不直接接触，而是间接地承受被测参数的作用，感受其变化，达到检测目的的方法。例如用辐射式温度计测量温度，用涡流式传感器检测机械零件的厚度。

非接触式测量不会干扰被测对象的运动状态，特别是在一些接触方法不能胜任的场合（例如运动对象的参数测量，腐蚀性介质及危险场合下的参数测量等）使用非接触式测量方法就更为方便、安全和准确。

4. 在线测量和非在线测量

在线测量是在工件加工过程中进行的测量，它可直接用来控制零件的加工过程，能在生产流水线上监控产品的质量，可称之为主动测量。

非在线测量是在零件完工后进行的测量，其作用仅限于发现并剔除废品，可称之为被动测量。

四、测量误差

1. 测量误差的基本概念

在任何测量过程中，无论采用多么完善的测量方法和多么精确的检测装置，都不可避免地会产生测量误差，测量的结果也就不可能绝对准确。

测量误差就是指测量值与真值之间的差值。即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-2)$$

式中 Δ —— 测量误差；

A_x —— 测量值或观测值；