



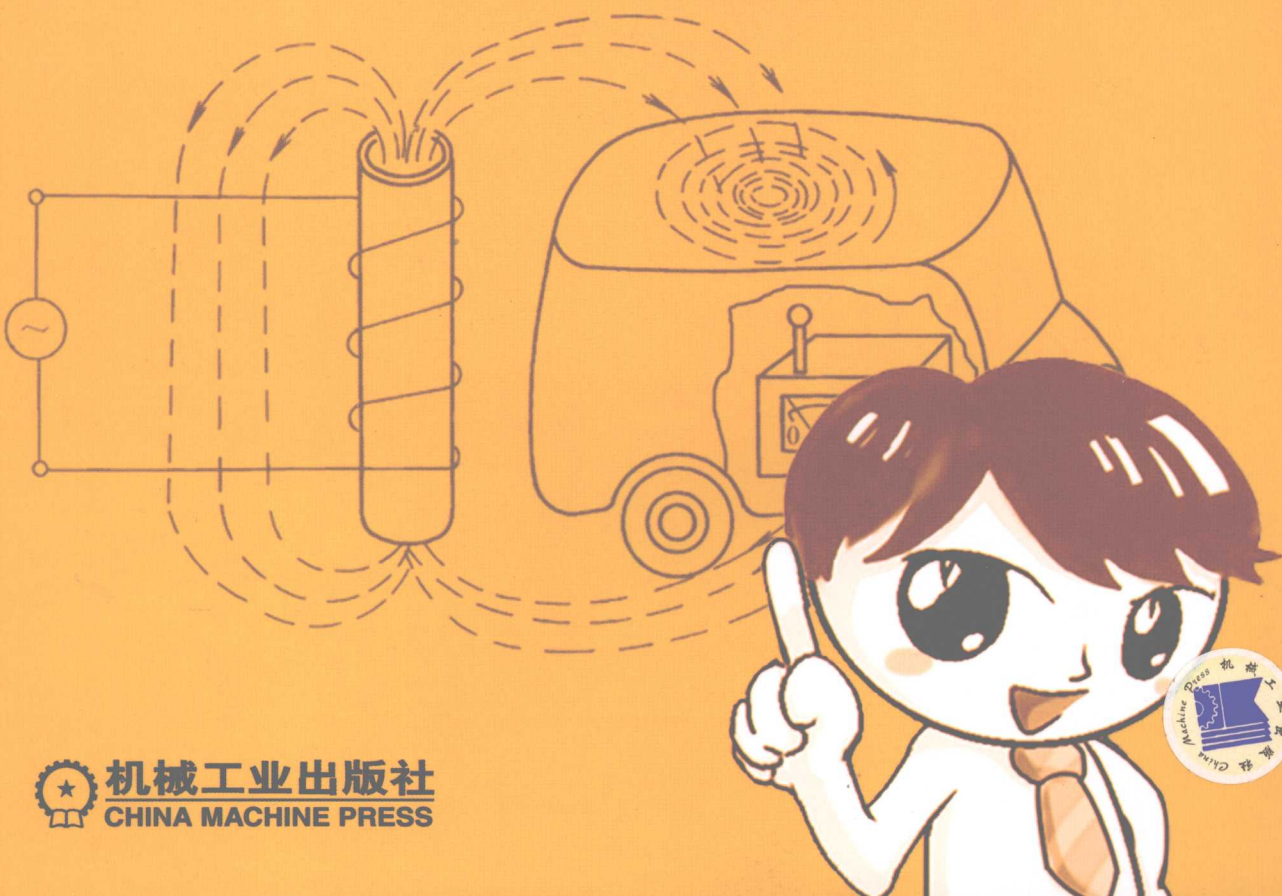
普通中等职业教育电气类规划教材

机械工业出版社精品教材

自动检测 与转换技术

第3版

● 梁森 黄杭美 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通中等职业教育电气类规划教材
机械工业出版社精品教材

自动检测与转换技术

第3版

梁 森 黄杭美 编著
郑崇苏 主审



机械工业出版社

、本书是中职机电类规划教材,主要介绍在工业等领域常用传感器的工作原理、特性参数及安装、接线等方面的知识,对误差、抗干扰技术及检测技术的综合应用等也作了介绍。

本书形式生动、活泼,迎合中职学生的年龄特点;内容浅显易懂,教师易教,学生易学。每章均附有启发性的思考题及应用型习题。

作者还为本书的出版建立了一个对应的“自动检测技术教辅网站”:
www.liangsen.net。

本书可作为普通中等职业技术学校的机械、数控、机电一体化、汽车制造、电气自动化、智能楼宇、仪器仪表、计算机、电子信息等专业方向的教材,也可供生产、管理、运行及其他初级工程技术人员参考。本书的参考学时约为48学时。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测与转换技术/梁森,黄杭美编著.—3版.—北京:机械工业出版社,2007.5

普通中等职业教育电气类规划教材

ISBN 978-7-111-05575-4

I. 自... II. ①梁... ②黄... III. ①自动检测—专业学校—教材
②传感器—专业学校—教材 IV. TP274 TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第059927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:高倩 版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:马精明 责任印制:洪汉军

三河市国英印务有限公司印刷

2007年6月第3版第1次印刷

184mm×260mm·14印张·319千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-05575-4

定价:19.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379182

封面无防伪标均为盗版

前言

做学生时,我曾对专业课很头痛,看到一大堆公式和推导就一头雾水。后来接触到了很多国外的专业课本以及参考教材,读下来才知道,原来专业教材不一定要那么枯燥无味,也可以写得很生动。

在讲授中职课程的这些年里,我们一直想写一本中职学生易学、教师易教、内容符合高素质、技能型劳动者需要的检测技术方面的教材。这次酝酿改版时,我们按照对中职学生培养目标的理解,尽量降低理论深度,使用启发式的语言、幽默的漫画、浅显易懂的小实验来介绍检测技术的基本原理和典型应用。学生和初级技术人员自学时也能饶有兴趣地读完它。

我们还从大量传感器产品说明书中,挑选出几十个典型的技术指标、特性参数表以及产品的铭牌,训练学生读懂技术岗位上经常要接触到的产品说明书,并给出了近百幅传感器安装、电路接线等方面的实物照片,其意图是使中职机电类专业学生获得工作中所必须掌握的传感器、现代检测系统等方面的基本知识和专业技能。

本书分成十三章。第一章介绍检测技术的基本概念和误差知识;从第二章到第十一章介绍常用传感器,最后两章总结了自己多年来在工程中遇到的抗干扰技术和检测技术的综合应用经验,希望能对提高读者的综合职业能力有所帮助。

现在的学生对网络十分熟悉,因此,本书给学生出一些利用网络技术来检索相关知识的题目,以拓展视野、提高学习兴趣。同时为了让各地区教师交流教学经验,共享教学资源,我们还建立了与本书配套的网站,取名为“自动检测技术教辅网”,网址为 <http://www.liangsen.net>,希望大家有空上网浏览。该网站已经添加了50万字以上的专业拓展资料、1000多张传感器照片、几十家传感器公司网站链接。大家还可以在该网站上进行在线练习,并且可以就学习中的疑问在BBS里提问,我们会及时给读者答复。

本书可作为普通中等职业技术学校的机械、数控、机电一体化、汽车制造、电气自动化、智能楼宇、仪表仪器、计算机、电子信息等专业方向的教材,也可供生产、管理、运行岗位的初级工程技术人员参考。本书的参考学时约为48学时,各校可根据各自的专业方向,选讲有关章节。

本书由上海电机学院梁森(绪论、第一、二、三、四、六、七、八、十、十一、十二、十三章及统稿)和杭州职业技术学院黄杭美(第五、九章)共同编写。

福州大学的郑崇苏老师担任本书的主审,对书稿进行了认真、负责、全面的审阅。在本书编写过程中,还得到了上海电机学院王侃夫、上海交通大学朱承高、原上海机电工业



由于传感器和检测技术发展较快，作者水平有限，本书内容难免存在遗漏和不妥之处，敬请读者批评指正。我们真诚希望本书能对从事和学习自动检测技术的广大读者有所帮助，并欢迎通过 E-mail，把对本书的意见和建议告诉我们，E-mail 地址是 liangwan@shtel.net.cn，也可以在“自动检测技术教辅网”（梁老师答疑网）的 BBS 上留言。需要复制多媒体课件的教师可与作者联系。

目 录

前言

绪论 1

第一章 检测技术的基本概念 9

第一节 测量的分类 9

第二节 测量误差及分类 10

第三节 传感器及其基本特性 14

思考题与习题 19

第二章 电阻传感器 21

第一节 电位器传感器 21

第二节 电阻应变传感器 24

第三节 测温热电阻传感器 30

第四节 气敏电阻传感器 36

第五节 湿敏电阻传感器 39

思考题与习题 41

第三章 电感传感器 45

第一节 自感传感器 45

第二节 差动变压器传感器 49

第三节 电感传感器的应用 50

思考题与习题 55

第四章 电涡流传感器 57

第一节 电涡流传感器的工作原理 57

第二节 电涡流传感器的结构及特性 58

第三节 电涡流传感器的测量转换

电路 59

第四节 电涡流传感器的应用 60

第五节 接近开关及其应用 64

思考题与习题 67

第五章 电容传感器 70

第一节 电容传感器的工作原理

录

及特性 70

第二节 电容传感器的测量转换电路 74

第三节 电容传感器的应用 74

第四节 压力、液位和流量的测量 77

思考题与习题 82

第六章 压电传感器 84

第一节 压电传感器的工作原理

及特性 84

第二节 压电传感器的测量转换电路 85

第三节 压电传感器的应用 87

第四节 振动的测量 89

思考题与习题 92

第七章 超声波传感器 95

第一节 超声波的基本知识 95

第二节 超声波换能器及耦合技术 98

第三节 超声波传感器的应用 99

第四节 无损探伤 103

思考题与习题 106

第八章 霍尔传感器 109

第一节 霍尔元件的工作原理及特性 109

第二节 霍尔集成电路 111

第三节 霍尔传感器的应用 113

思考题与习题 117

第九章 热电偶传感器 120

第一节 温度测量的基本概念 120

第二节 热电偶传感器的工作

原理与分类 122

第三节 热电偶冷端的延长 125

第四节 热电偶的冷端温度补偿 126



第五节 热电偶的应用及配套仪表	127	第二节 传感器在温度、压力测控	
思考题与习题	130	系统中的应用	189
第十章 光电传感器	132	第三节 传感器在流量测量中的	
第一节 光电效应及光电元器件	132	应用	191
第二节 光电元器件的基本应用		第四节 传感器在现代家电中的	
电路	138	应用	193
第三节 光电传感器的应用	141	第五节 传感器在现代汽车中的	
第四节 光电开关及光电断续器	148	应用	195
思考题与习题	151	第六节 传感器在数控机床中的	
第十一章 数字式位置传感器	153	应用	199
第一节 角编码器	153	第七节 传感器在机器人中的应用	201
第二节 光栅传感器	158	第八节 传感器在智能楼宇中的	
第三节 磁栅传感器	161	应用	204
第四节 容栅传感器	164	思考题与习题	208
思考题与习题	168	附录	211
第十二章 检测系统的抗干扰技术	170	附录 A 常用传感器的性能及选择	211
第一节 噪声干扰及其防护	170	附录 B 工业热电阻分度表	213
第二节 电磁兼容技术	173	附录 C 镍铬-镍硅 (K) 热电偶	
思考题与习题	183	分度表	214
第十三章 检测技术的综合应用	185	附录 D 部分习题参考答案	216
第一节 现代检测系统的基本结构	185	参考文献	217

绪 论

这节课里，卡卡给大家讲一讲检测技术的定义、用途、对象、检测系统构成以及学好这门课的方法。



一、检测技术的概念

检测 (Detection) 是利用各种物理、化学效应，选择合适的方法与装置，将生产、科研、生活等各方面的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。能够自动地完成整个检测处理过程的技术称为自动检测与转换技术。

图 0-1 所示的“曹冲称象”的故事在中国可谓尽人皆知，人们都在赞叹少年曹冲的聪明才智。然而在今天，运用自动检测技术，可以很容易地称出大象的体重。



图 0-1 曹冲称象

二、检测技术的作用

检测技术用于国防、航天、工业、日常生活等诸多领域，图 0-2 ~ 图 0-5 所示为检测技术在这些领域应用的一些典型示例。

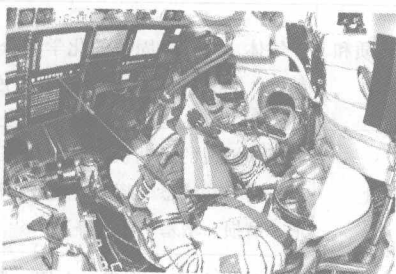


图 0-2 宇航员在载人飞船中练习操作各种仪表

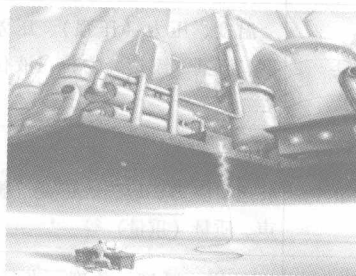


图 0-3 检测系统在电厂中的应用

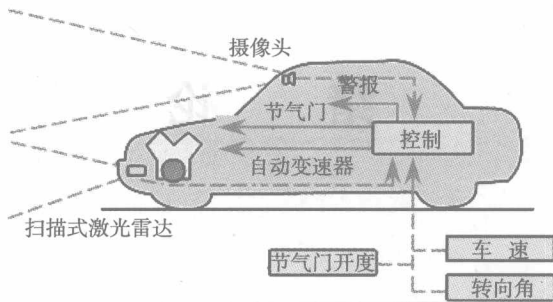


图 0-4 检测技术在车辆碰撞预防系统中的应用

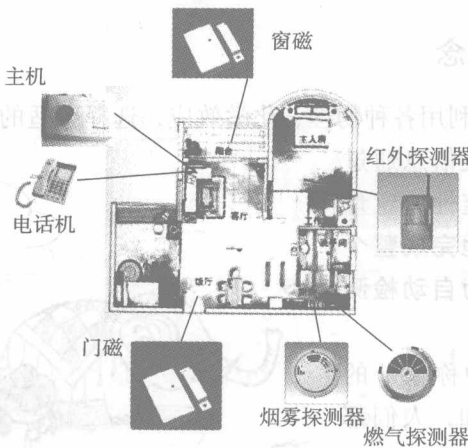


图 0-5 检测技术在智能楼宇中的应用

三、检测的内容

检测技术涉及的范围比较广泛，常见的检测对象如表 0-1 所示。

表 0-1 检测技术涉及的内容

被测量类型	被 测 量	被测量类型	被 测 量
热工量	温度、压力（压强）、压差、真空度、流量、流速、物位、液位、界面等	物体的性质和成分量	气体、液体、固体的化学成分、浓度、粘度、湿度、浊度、透明度、颜色等
机械量	直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量（重量）等	状态量	工作机械的运动状态（起停等）、生产设备的异常状态（超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等）
几何量	长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平行度、同轴度、粗糙度、硬度、材料缺陷等	电工量（电量）	电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度、材料的磁性能等

想一想

你了解到的检测技术应用还有哪些？你还能写出哪些非电量？



四、自动检测系统的组成

非电量的检测多采用电测法，即首先将各种非电量转变为电量，然后经过一系列的处理，将非电量参数显示出来，如图 0-6 所示。读者可以通过类比人体的信息反应系统来了解自动检测系统对信息的处理过程。

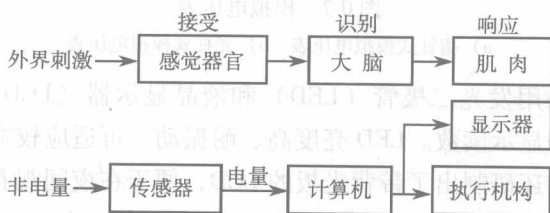


图 0-6 人体信息接受过程框图与自动检测系统框图比较

图 0-6 中有几个术语是第一次见到，能不能逐一解释一下？



小贴士

在产品说明书、科技论文中，利用框图可以较简明、清晰地说明系统的构成及工作原理。

1. 系统框图

所谓**系统框图**，就是将系统中的主要功能或电路的名称画在方框内，按信号的流程，将几个方框用箭头联系起来，有时还可以在箭头上标出信号的名称。

2. 传感器

人有视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉等 5 种以上的感觉器官。传感器能够再现人的五官，并且具有更强的反应功能。在本教材中，**传感器**是指一种能将被测的非电量变换成电量的器件。

3. 显示器的分类

目前常用的显示器有 3 类：**模拟显示**、**数字显示**、**图像显示**等。模拟量是指连续变化量。模拟显示是利用指针对标尺的相对位置来显示读数的。常见的有指针式、光柱式等，这两种形式的模拟电压表如图 0-7 所示。

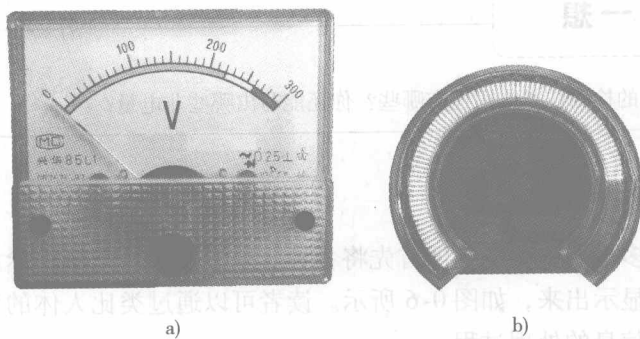


图 0-7 模拟电压表

a) 指针式模拟电压表 b) 光柱式模拟电压表

数字显示目前多采用发光二极管 (LED) 和液晶显示器 (LCD) 等, 如图 0-8 所示。它们都以数字的形式来显示读数。LED 亮度高、耐振动、可适应较宽的温度范围; LCD 耗电少、集成度高。目前还研制出了带背光板的 LCD, 便于在夜间观看 LCD 的内容。

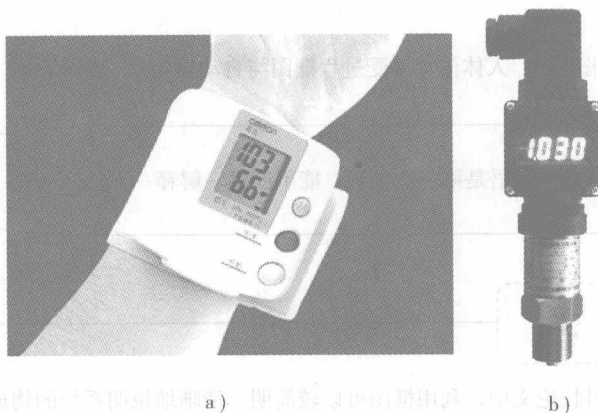


图 0-8 数字显示

a) 电子血压计的 LCD 显示 b) 压力表的 LED 显示

想一想

出租车计价器的数码显示器应该使用LED显示器还是LCD显示器?



图像显示是用显像管显示器 (CRT) 或彩色 LCD 来显示读数或被测参数的变化曲线, 有时还可使用彩色图表等形式来反映整个生产线上的多组数据。无纸记录仪的图像显示如图 0-9 所示。

4. 执行机构

所谓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，它们在电路中是起通断、控制、调节、保护等作用的电器设备。许多检测系统能输出与被测量有关的电流或电压信号，作为自动控制系统的控制信号，去驱动这些执行机构。继电器和电磁阀的外形分别如图 0-10、图 0-11 所示。

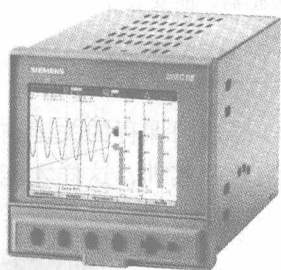


图 0-9 无纸记录仪的图像显示

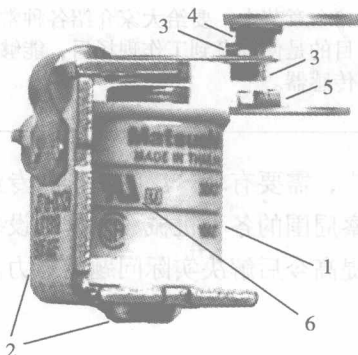


图 0-10 继电器

1—线圈 2—铁心

3—动触点 4—动断触点（常闭触点）

5—动合触点（常开触点） 6—安全试验标记



图 0-11 电磁阀



能不能举一个检测系统的具体例子？

图 0-12 所示的自动磨削控制系统就是自动检测的一个典型例子。图中的传感器快速检测工件的直径参数 D 。计算机快速地对直径参数做运算、比较、判断等一系列工作，然后将有关参数送到显示器显示出来，另一方面发出控制信号，控制研磨盘的径向位移 x ，直到工件被磨削到规定的直径为止。

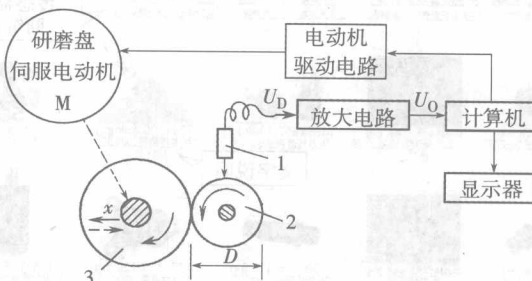


图 0-12 自动磨削控制系统

1—传感器 2—被研磨工件 3—研磨盘

五、本课程的任务和学习方法

卡卡的任务是：在以后的13个章节中，要给大家介绍各种常用传感器的基本检测原理，并介绍它们在工业中的应用。目的是使读者到工作现场后，能够识别常用传感器，能安装、接线、读取数据，能正确使用传感器。



本课程涉及的学科面广，需要有较广泛的基础和专业知识。学好这门课程的关键在于理论联系实际，要仔细观察周围的各种机械、电气等设备，重视实验和实训，这样才能学得活、学得好，才有利于提高今后解决实际问题的能力。

怎样巩固学过的知识？怎样获得新知识？



本书各章均附有思考题与习题，引导读者循序渐进地掌握检测技术的基本概念，提高实际应用能力。读者可根据自身的专业方向选做其中的一部分。对本书中的分析、思考题，可利用讨论课的方式来学习和掌握。读者还应当掌握上网查阅资料的技巧，有利于读者掌握新器件、新技术。利用“百度”搜索引擎查找“压力传感器”图片的结果如图0-13所示，在“谷歌”网站上搜索到的传感器技术资料如图0-14所示。

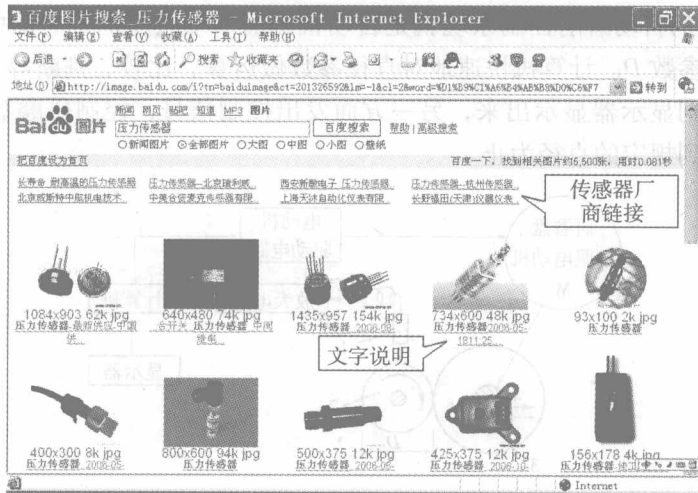


图 0-13 “百度”搜索“压力传感器”图片的页面

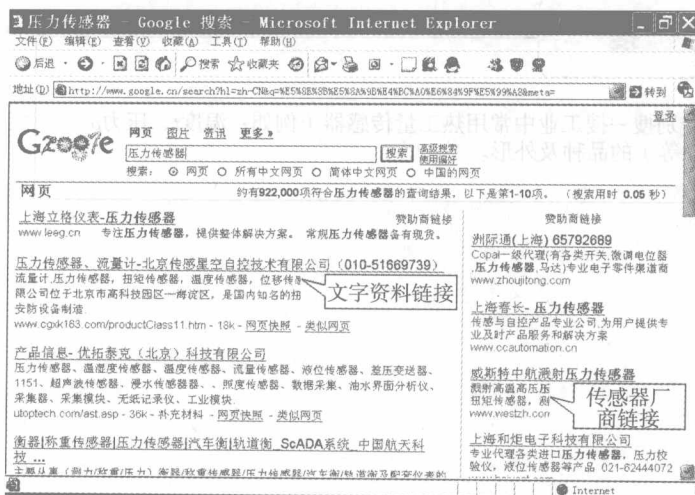


图 0-14 “谷歌”搜索“压力传感器”资料的页面

由于传感器的品种繁多，检测技术的实践性较强，建议传感器原理可对照实物来学习和理解。在开卷考试中，学生可以翻阅有关的书籍资料，以及作业和笔记，从而模拟工业现场解决实际问题的场景，培养学生查阅资料，解决实际问题的能力。

在学习过程中，还可以登录与本书配套的 www.liangsen.net 教辅网站（梁老师答疑网），可在网站 BBS 上与版主进行讨论或下载有关的专业资料。“梁老师答疑网”也可以通过“百度”或“谷歌”搜索引擎找到，主页如图 0-15 所示。



图 0-15 梁老师答疑网主页



搜一搜

请到网上分别搜一搜工业中常用热工量传感器（例如：温度 t 、压力 p 、流量 q 以及液位 h 等）的品种及外形。



图 1-1-1 工业中常用热工量传感器的品种及外形

以某家企业为例，其生产的产品种类繁多，且随着技术的不断进步，产品的种类也在不断地增加。为了能够更好地管理和推广其产品，该企业决定建立一个产品数据库。该数据库将记录产品的名称、规格、价格、产地等信息，以便于客户查询和购买。同时，该企业还将利用该数据库进行市场分析，了解产品的销售情况和市场需求，从而制定更加合理的生产和销售计划。

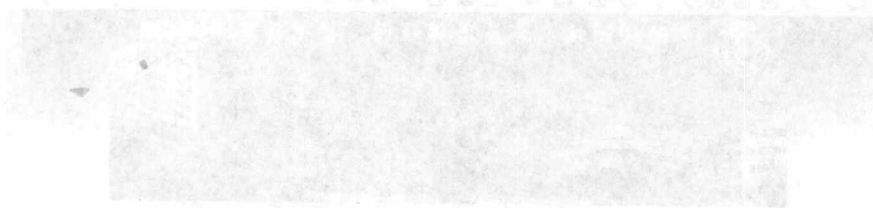


图 1-1-2 工业中常用热工量传感器的品种及外形

序号	传感器名称	规格	价格	产地
1	温度传感器	PT100	100元	中国
2	压力传感器	4-20mA	150元	中国
3	流量传感器	0-100L/h	200元	中国
4	液位传感器	0-10m	180元	中国
5	温度传感器	PT100	100元	中国
6	压力传感器	4-20mA	150元	中国
7	流量传感器	0-100L/h	200元	中国
8	液位传感器	0-10m	180元	中国
9	温度传感器	PT100	100元	中国
10	压力传感器	4-20mA	150元	中国
11	流量传感器	0-100L/h	200元	中国
12	液位传感器	0-10m	180元	中国

图 1-1-3 工业中常用热工量传感器的品种及外形

第一章 检测技术的基本概念

在这一章里，卡卡给大家讲一讲测量的方法有哪些；测量误差有哪些；如何克服误差。卡卡还将与大家一起来学习如何读懂传感器的“特性参数表”。



第一节 测量的分类

1. 静态测量和动态测量

根据被测量是否随时间变化，可分为静态测量和动态测量。

例如，用激光干涉仪对建筑物的缓慢沉降作长期监测就属于静态测量；又如，用光导纤维陀螺仪测量火箭的飞行方向就属于动态测量。

2. 直接测量和间接测量

根据测量手段的不同，可分为直接测量和间接测量。

用仪表直接读取被测量的测量结果称为直接测量。例如，用磁电式仪表测量电流、电压；用光电池测量课桌的照度等。

间接测量必须经过计算求得被测量。例如，利用浮力法测量比重等。图 1-1 和图 1-2 所示分别为直接测量和间接测量的示例。

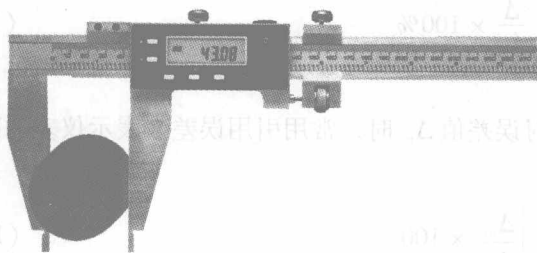


图 1-1 用游标卡尺直接测量工件的直径



图 1-2 阿基米德测量比重的构想

3. 接触式测量和非接触式测量

根据测量时是否与被测对象接触，可分为接触式测量和非接触式测量。

例如,用多普勒超声测速仪测量汽车是否超速和用红外线辐射测温均属于非接触式测量。非接触式测量不影响被测对象的运行工况,是未来检测技术的发展趋势。利用红外线辐射测量供电变压器的表面温度如图 1-3 所示。

4. 在线测量和离线测量

为监视生产流程或监测在生产流水线上的产品质量,在生产过程中所进行的测量称为**在线测量**;反之,则称为**离线测量**。

例如,现代自动化机床均采用边加工、边测量的方式,就属于在线测量,它能实时检测加工质量,保证产品质量的一致性。离线测量(例如图 1-1 的直径测量)虽然能检测出产品的合格与否,但无法实时监控生产质量。



图 1-3 利用红外线辐射测量供电变压器的表面温度

第二节 测量误差及分类

测量值与真实值之间的误差称为**测量误差**。测量误差分为绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

绝对误差 Δ 是指测量值 A_x 与真实值 A_0 之间的差值,即

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

2. 相对误差

相对误差用百分比的形式来表示,一般多取正值。相对误差又有示值(标称)相对误差和引用误差之分。

(1) 示值相对误差 γ_x 用绝对误差 Δ 与被测量 A_x 的百分比来表示,即

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-2)$$

(2) 引用误差 γ_m 有时也称满度相对误差。它用绝对误差 Δ 与仪器满度值 A_m 的百分比来表示的,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

3. 准确度等级

式(1-3)中,当 Δ 取仪表的最大绝对误差值 Δ_m 时,常用引用误差来表示仪表的准确度等级 S ,即

$$S = \left| \frac{\Delta_m}{A_m} \right| \times 100 \quad (1-4)$$

根据给出的准确度等级 S 及满度值 A_m ,可以推算出该仪表可能出现的最大绝对误差 Δ_m 、示值相对误差等。

我国的模拟仪表通常分 7 个等级,如表 1-1 所示。我们可以从仪表的使用说明书上或