



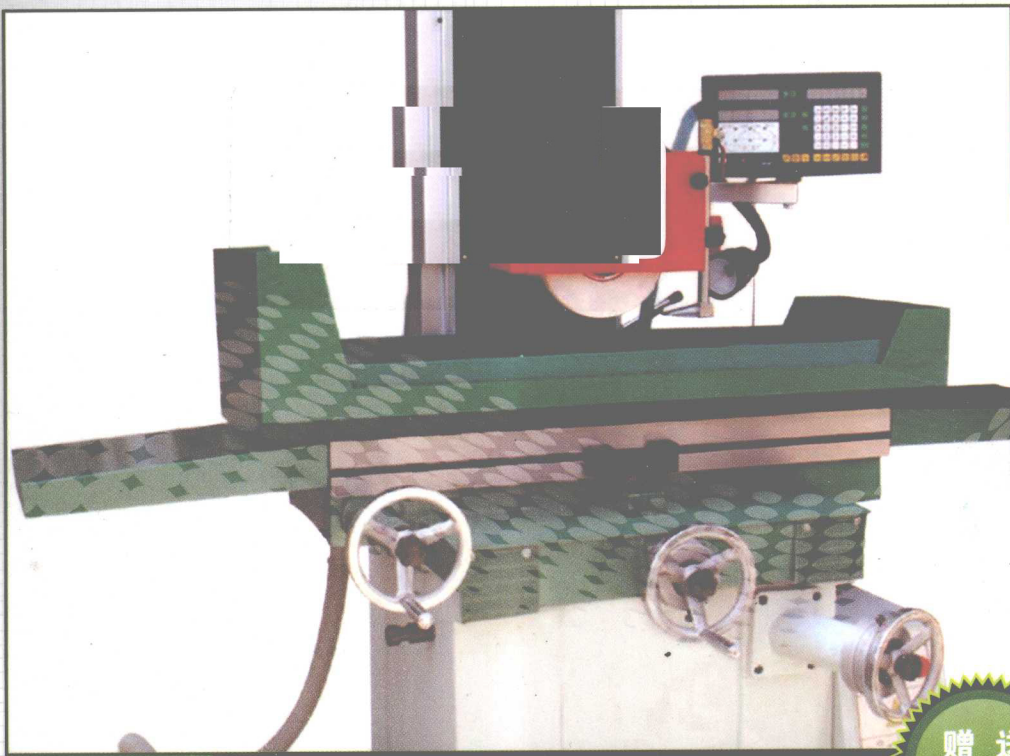
高职高专机电一体化专业规划教材

自动检测技术及应用

ZIDONG JIANCE JISHU JI YINGYONG

刘丽华 主编

杨柳 彭芳 副主编



赠送
电子课件

本书特色

- ❶ 理论知识阐述条理清晰，详简得当，易于掌握。
- ❷ 教材框架符合认知规律，便于实现理论与实践一体化教学。
- ❸ 紧跟技术发展动态，拓宽学生视野。

清华大学出版社

高职高专机电一体化专业规划教材

自动检测技术及应用

刘丽华 主 编
杨 柳 彭 芳 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共分 12 章,以实际检测过程为主线进行介绍。第 1 章介绍自动检测技术组成和基本概念,第 2 章介绍信号处理电路,第 3 章到第 10 章介绍了位移、物位、温度、液位、压力与流量、应变力、气体浓度与湿度等典型参数的检测方法,第 11 章介绍了微机检测系统,第 12 章介绍了生产线、机器人等典型机电设备中的检测技术。本书内容丰富,全面反映了自动检测技术的新动向,并注重工作过程的完整性和可操作性,突出了技能训练,以提高学生的实际操作能力。

本书可作为机电一体化、电气自动化、数控技术和电子信息专业“检测技术”课程的教材,也可作为技能培训教材和有关工程技术人员的参考书。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术及应用/刘丽华主编;杨柳,彭芳副主编. —北京:清华大学出版社,2010.1
(高职高专机电一体化专业规划教材)

ISBN 978-7-302-18420-1

I. 自… II. ①刘… ②杨… ③彭… 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(2009)第 215478 号

责任编辑:孙兴芳

装帧设计:杨玉兰

责任校对:李玉萍

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18.75 字 数:456 千字

版 次:2010 年 1 月第 1 版 印 次:2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:033014-01

前 言

随着现代工业的发展,生产过程自动化已成为必不可少的重要部分,其中,温度、压力、物位、位移、液位等物理参数是实现生产过程自动化的基础。各种常见物理量的检测方法是自动化类专业学生必须掌握的一门专业技能,在此背景下,目前各个高职院校电气自动化和机电一体化专业都开始把检测技术作为其专业基础课。编者根据我国高职高专自动化类专业的培养目标和要求,结合多年的教学经验和工作经验,编写了本书,旨在满足当前高职教育的需要。

在本书的编写过程中,广泛参考和吸取了国内外高职教材的优点,在满足高职生理论知识“够用为度”的原则下,精简理论知识,同时又兼顾知识的全面性,对各种常用物理量的检测方法均做了介绍,并且注重实训教学,内容以技能和能力提高为主线,以知识积累和素质提升为辅线,符合高职学生的认识规律。

本书从技能提高的角度出发,重点介绍各种物理量的检测方法和检测仪器及方法的实施。本书共分为12章:第1章介绍了自动检测技术的组成和基本概念;第2章介绍了信号处理电路;第3~10章介绍了几种典型参数的检测方法;第11章介绍了计算机在检测技术方面的应用以及最新的虚拟仪器检测技术;第12章介绍了机电设备的综合检测。本书中的案例均结合了具体的工程实例,可操作性强,实训内容由浅入深,内容组织得当。同时,为拓展机电一体化专业学生的测试技能,在传统的物理量检测中增加了几何量精度检测方法。

本书文字精练,图文并茂,内容生动,可以作为电气自动化、机电一体化和机械自动化等专业的教材,也可作为技能培训教材及有关工程技术人员的参考用书。

本书由刘丽华主编,杨柳、彭芳任副主编。具体分工为:广州铁路职业技术学院刘丽华编写第1、2、4、8、11、12章;广州铁路职业技术学院杨柳高工编写第6、7、10章;苏州工业园区职业技术学院彭芳编写第3、5章;广州铁路职业技术学院周玉海编写第9章。全书由刘丽华负责统稿。

由于自动检测技术发展快且更新快,加之作者水平有限,时间仓促,书中难免有不足之处,希望读者在使用本书的过程中提出宝贵意见,作者将在今后不断更新和充实本书。

在本书的编写过程中,参考了部分书刊内容,并引用了一些技术资料,在此向有关作者表示衷心的感谢!

编 者

目 录

第 1 章 自动检测技术基础 1	2.4 单臂、双臂和全桥电桥性能 项目检测与评估36
1.1 自动检测系统认识项目说明 1	2.4.1 检测方法36
1.2 基本知识..... 2	2.4.2 评估策略37
1.2.1 检测及自动检测系统 2	2.5 实训中常见的问题37
1.2.2 测量的定义及测量方法的 分类..... 4	本章小结37
1.2.3 误差分类及分析 5	思考与练习38
1.2.4 传感器及其基本特性 7	第 3 章 位移检测39
1.3 自动检测系统认识项目实施过程 9	3.1 机床主轴转速测量项目说明.....39
1.3.1 工作计划..... 9	3.2 基础知识40
1.3.2 方案分析..... 10	3.2.1 电阻式位移传感器及其应用....40
1.3.3 操作分析..... 11	3.2.2 光电传感器42
1.4 自动检测系统认识项目的检测 与评估..... 11	3.2.3 感应同步器44
1.4.1 检测方法..... 11	3.2.4 光栅传感器45
1.4.2 评估策略..... 12	3.2.5 光电编码器46
1.5 拓展实训——传感器数据处理 12	3.2.6 旋转变压器48
本章小结..... 13	3.3 机床主轴转速检测项目实施过程.....50
思考与练习..... 13	3.3.1 工作计划50
第 2 章 信号处理电路 16	3.3.2 方案分析51
2.1 单臂、双臂和全桥电桥性能 项目说明..... 16	3.3.3 操作分析52
2.2 基本知识..... 17	3.4 机床主轴转速测量项目的检测 与评估55
2.2.1 电桥电路..... 17	3.4.1 检测方法55
2.2.2 信号放大电路..... 21	3.4.2 评估策略55
2.2.3 信号滤波电路 23	3.5 拓展实训56
2.2.4 信号转换电路..... 24	3.5.1 将光栅传感器安装在数显 机床上测工作台的移动.....56
2.2.5 抗干扰技术..... 25	3.5.2 旋转变压器检测电动机 转子位置59
2.2.6 显示仪表..... 31	3.6 实训中常见问题解析.....62
2.3 单臂、双臂和全桥电桥性能 项目实施过程..... 33	本章小结64
2.3.1 工作计划..... 33	思考与练习64
2.3.2 操作过程..... 33	第 4 章 物位检测67
	4.1 物位检测项目说明67



4.2	基本知识.....	68	5.5.1	接近开关 E2E 检测金属材料尺寸.....	104
4.2.1	物位的检测对象.....	68	5.5.2	光电开关在流水线上的应用.....	107
4.2.2	差压液位检测.....	69	5.5.3	霍尔开关控制气缸的伸出和回缩到位.....	109
4.2.3	浮力式液位计.....	70	5.6	实训中常见问题解析.....	112
4.2.4	电容式物位计.....	72		本章小结.....	112
4.2.5	超声波物位检测.....	73		思考与练习.....	113
4.2.6	导电式水位传感器.....	75	第 6 章 温度检测		116
4.3	物位检测项目实施过程.....	75	6.1	温度检测系统安装项目说明.....	116
4.3.1	工作计划.....	75	6.2	温度基本知识.....	117
4.3.2	方案分析.....	76	6.2.1	温度测量的基本概念.....	117
4.3.3	操作分析.....	77	6.2.2	温度传感器的特点与分类.....	118
4.4	物位检测项目的检测与评估.....	77	6.2.3	热电阻.....	119
4.4.1	检测方法.....	77	6.2.4	热电偶.....	122
4.4.2	评估策略.....	77	6.2.5	测温显示仪表.....	127
4.5	拓展实训.....	78	6.3	温度检测系统安装项目实施过程.....	129
4.5.1	电容式液位计使用训练.....	78	6.3.1	工作计划.....	129
4.5.2	霍尔传感器测液位.....	80	6.3.2	方案分析.....	129
4.6	实训中常见问题解析.....	82	6.3.3	操作分析.....	129
	本章小结.....	83	6.4	温度检测系统安装项目的检测与评估.....	131
	思考与练习.....	83	6.4.1	检测方法.....	131
			6.4.2	评估策略.....	131
第 5 章 接近开关		87	6.5	拓展实训——热敏电阻及其应用.....	132
5.1	检测模块识别材料属性项目说明.....	87		本章小结.....	136
5.2	基础知识.....	88		思考与练习.....	136
5.2.1	接近开关的特点及特性.....	88	第 7 章 应变、力检测		139
5.2.2	电涡流接近开关.....	89	7.1	应变、力检测项目说明.....	139
5.2.3	电容接近开关.....	91	7.2	应变、力基本知识.....	140
5.2.4	磁感应接近开关.....	92	7.2.1	应变、力测量的基本概念.....	140
5.2.5	光电接近开关.....	95	7.2.2	电阻应变式传感器.....	140
5.3	检测模块识别材料属性项目实施过程.....	98	7.2.3	压电式传感器.....	145
5.3.1	工作计划.....	98	7.2.4	电子秤的标定和校准.....	151
5.3.2	方案分析.....	98	7.3	应变、力检测项目实施过程.....	152
5.3.3	操作分析.....	99	7.3.1	工作计划.....	152
5.4	检测模块识别材料属性项目的检测与评估.....	102			
5.4.1	检测方法.....	102			
5.4.2	评估策略.....	103			
5.5	拓展实训.....	104			

7.3.2 方案分析.....	153	9.2 基本知识.....	191
7.3.3 操作分析.....	153	9.2.1 形位公差的概念及常用 检测仪器.....	191
7.4 应变、力检测项目的检查与评估.....	154	9.2.2 表面粗糙度的概念及检测.....	195
7.4.1 检查方法.....	154	9.3 形位公差精密检测项目实施过程.....	198
7.4.2 评估策略.....	154	9.3.1 工作计划.....	198
7.5 拓展实训.....	155	9.3.2 操作分析.....	199
7.5.1 观察了解高分子压电材料的 应用.....	155	9.4 形位公差精密检测项目检测 与评估.....	201
7.5.2 压电加速度传感器测振动.....	157	9.4.1 项目检测.....	201
本章小结.....	159	9.4.2 评估策略.....	201
思考与练习.....	159	9.5 拓展实训.....	202
第 8 章 压力和流量检测.....	161	9.5.1 圆度仪测量工件圆度.....	202
8.1 压力检测项目说明.....	161	9.5.2 电动轮廓仪测螺纹轴轮廓.....	204
8.2 基础知识.....	161	9.6 实训中常见问题解析.....	205
8.2.1 压力和流量的基本概念.....	162	本章小结.....	206
8.2.2 电容式传感器.....	163	思考与练习.....	206
8.2.3 差动变压器式传感器.....	169	第 10 章 气体浓度、湿度的检测.....	209
8.2.4 超声波流量计.....	171	10.1 气体浓度检测项目说明.....	209
8.2.5 电磁流量计.....	175	10.2 基本知识.....	210
8.2.6 其他压力和流量传感器.....	177	10.2.1 气敏传感器.....	210
8.3 压力检测项目实施过程.....	180	10.2.2 湿敏传感器.....	215
8.3.1 工作计划.....	180	10.3 气体、湿度量检测项目实施过程.....	222
8.3.2 工作方案.....	181	10.3.1 工作计划.....	222
8.3.3 操作过程.....	181	10.3.2 方案分析.....	222
8.4 压力检测项目的检测与评估.....	181	10.3.3 操作分析.....	223
8.4.1 检查方法.....	181	10.4 自动检测系统组成项目的检测 与评估.....	224
8.4.2 评估策略.....	182	10.4.1 检测方法.....	224
8.5 拓展实训.....	182	10.4.2 评估策略.....	224
8.5.1 扩散硅压阻式压力传感器 测压力.....	182	10.5 拓展实训.....	225
8.5.2 超声波流量计测液体流量.....	184	10.5.1 制作湿度检测器.....	225
8.6 实训中常见问题解析.....	185	10.5.2 制作汽车后窗玻璃自动 去湿装置.....	226
8.6.1 压力传感器使用常见问题.....	185	10.6 实训中常见问题解析.....	227
8.6.2 流量检测要注意的问题.....	186	本章小结.....	227
本章小结.....	187	思考与练习.....	227
思考与练习.....	187		
第 9 章 形位公差检测.....	190		
9.1 形位公差精密检测项目说明.....	190		



第 11 章 微机检测系统	230
11.1 微机检测项目说明	230
11.2 基本知识.....	231
11.2.1 现代检测系统的基本结构 ...	231
11.2.2 计算机检测系统组成	233
11.2.3 计算机检测系统的设计	235
11.2.4 虚拟仪器	237
11.3 微机检测项目实施过程	240
11.3.1 工作计划.....	240
11.3.2 方案分析.....	241
11.3.3 操作分析.....	241
11.4 微机检测项目的检测与评估	243
11.4.1 检测方法.....	243
11.4.2 评估策略.....	243
11.5 拓展实训.....	244
11.5.1 认识动平衡测试系统	244
11.5.2 基于虚拟仪器的温度 检测系统设计(研究型)	245
本章小结.....	248
思考与练习.....	248
第 12 章 检测技术综合实例	250
12.1 小型机电一体化设备传感器 应用项目说明	250
12.2 基础知识.....	251
12.2.1 传感器的选择.....	251
12.2.2 传感器在自动化生产线中的 应用.....	252
12.2.3 传感器在机器人中的应用 ...	255
12.2.4 传感器在普通机床中的 应用.....	257
12.3 小型机电一体化设备传感器 应用实施过程.....	259
12.3.1 工作计划.....	259
12.3.2 方案分析	259
12.3.3 操作过程	261
12.4 小型机电一体化设备传感器 应用项目的检测与评估.....	265
12.4.1 检测方法	265
12.4.2 评估策略	265
12.5 拓展实训——传送带控制训练.....	266
12.6 实训中常见问题解析.....	268
本章小结	269
思考与练习	269
附录 1 常用传感器性能比较	271
附录 2 镍铬-镍硅(镍铝)K 型热电偶 分度表(自由端温度为 0℃).....	273
附录 3 工业热电阻分度表	275
附录 4 铂铑 10-铂热电偶(S 型) 分度表(ITS-90)(参考端 温度为 0℃)	277
附录 5 铂铑 30-铂铑 6 热电偶(B 型) 分度表(参考端温度为 0℃).....	278
附录 6 镍铬-铜镍(康铜)热电偶(E 型) 分度表(参考端温度为 0℃).....	279
附录 7 铁-铜镍(康铜)热电偶(J 型) 分度表(参考端温度为 0℃).....	280
附录 8 铜-铜镍(康铜)热电偶(T 型) 分度表(参考端温度为 0℃).....	281
附录 9 CSY2000 系列传感器实验仪 介绍.....	282
习题答案	285
参考文献	289

第 1 章 自动检测技术基础

学习要点

- 检测的定义及地位。
- 检测的内容和检测系统组成。
- 测量误差及分类。
- 传感器及其基本特性。

技能目标

- 对自动检测有初步的认识，根据数控机床速度和位置检测装置案例，掌握自动检测系统的组成。
- 学会处理测量数据，计算误差，根据精度要求合理选用仪表。
- 通过传感器实物及说明书，了解传感器的结构和基本特性。

主要理论及工程应用导航

数控机床是采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床，数控机床的位置和速度是如何检测的？数控机床检测装置是如何实现自动检测的？自动检测系统由几部分组成？传感器在数控机床中起什么作用？传感器有哪些性能？下面就通过学习本章内容来揭开数控机床检测的神秘面纱。

1.1 自动检测系统认识项目说明

1. 项目目的

- (1) 掌握检测的概念及自动检测系统的组成。
- (2) 掌握测量的定义及分类。
- (3) 了解传感器的分类及基本特性。

2. 项目条件

现场参观学校的数控机床，认识数控机床检测装置。

3. 项目内容及要求

通过基本知识学习和现场参观数控机床，认识自动检测系统及其组成。了解数控机床上的传感器实物，并阅读其技术资料，查找传感器的技术指标，理解传感器各技术指标的物理意义。根据某台仪器的输入/输出数据，要求计算传感器的灵敏度、线性误差等基本性能指标。



1.2 基本知识

1.2.1 检测及自动检测系统

1. 检测的基本概念

检测是利用各种物理、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的方法赋予定性或定量结果的过程。

自动检测就是在测量和检验过程中完全不需要或仅需要很少的人工干预而自动完成的检测。实现自动检测可以提高自动化的水平和程度，减少人为干扰因素或人为差错，提高生产过程或设备的可靠性和运行效率。

2. 检测技术的作用

在工程技术领域中，工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能实验等，都离不开检测技术。在机械制造行业中，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、床身振动等进行在线检测，从而控制加工质量。在化工、电力等生产过程中，温度、压力、流量、液位等过程参数的检测是实现生产过程自动化的基础。在工业机器人中，自动检测技术应用于手臂的位置和角度；传感器应用于视觉和触觉，机器人成本的二分之一是耗费在高性能的传感器上。

在国防领域，检测技术用得更多。例如，利用红外探测可以发现地形、地物及敌方各种军事目标；若研究飞机的强度，就要在机身、机翼上贴上几百片应变片进行动态测量。

在交通领域，汽车的行驶速度、行驶距离、发动机旋转速度以及燃料剩余量等有关参数都需要自动检测，汽车防滑控制、防盗、防抱死、排气循环、电子变速控制等装置都应用了检测技术。

日常生活中，如家用电器都离不开检测技术。例如，自动洗衣机、空调机、电子热水器、吸尘器、照相机、音像设备等都应用了检测技术。

总之，检测技术已广泛应用于工业、国防、交通等各个方面，成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要的基础技术。

3. 自动检测系统的检测对象

工业检测系统的检测对象比较广泛，常见的工业检测涉及的检测对象如表 1.1 所示。

表 1.1 工业检测系统的检测对象

被测量类型	被测量对象
热工量	温度、热量、热流、压力、压差、流量、流速、物位、液位、界面
机械量	直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、力矩、振动、噪声、质量
几何量	长度、厚度、角度、锥度、直径、间距、形状、粗糙度、平行度、硬度、材料缺陷
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、密度、浊度、透明度、颜色

续表

被测量类型	被测量对象
状态量	工作机械的运动状态、生产设备的异常状态(超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂)、计数
电工量	电压、电流、功率、电阻、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度

表 1-1 所列的被测量仅是工业检测的部分内容,也是最常见的内容,本书将对基本非电量检测进行介绍。

4. 自动检测系统的组成

自动检测系统需要若干仪器仪表以及附加设备构成一个有机整体,完成检测任务。自动检测系统应能完成对被测对象进行变换、分析、处理、判断、比较、存储、控制及显示等功能。一个完整的自动检测系统如图 1.1 所示,它包括传感器、测量电路、记录存储或显示部分、数据处理、执行机构。

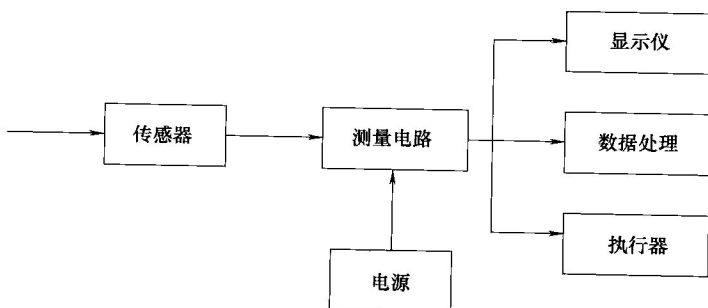


图 1.1 自动检测系统

传感器直接作用于被测量,并将被测量转换成电信号。传感器转换的电信号往往很弱,必须要由测量电路转换成标准电信号,测量电路包括信号处理电路和信号转换电路。

信号处理电路把来自传感器的信号转换成更适合于进一步传输和处理的形式。信号转换是指电信号之间的转换,如放大,将阻抗的变化转换成电压的变化,或将阻抗的变化转换成频率的变化等。

传感器属于一次仪表,如热电偶、压力传感器、流量传感器等,但工业产品传感器输出的信号必须是标准的电信号,如 $0\sim 100\text{mV}$ 、 $4\sim 20\text{mV}$,所以要由变送器发出一种信号来给二次仪表,使二次仪表显示测量数据,目前往往把信号处理电路和传感器做成一体,即变送器。变送器就是输出标准信号的传感器。变送器常见的有温度变送器、压力变送器、液位变送器和流量变送器。

信号处理电路将转换后的电信号进行各种运算、滤波、分析,将结果输至显示、记录部分或控制系统的执行机构。

常见的显示器有四类:模拟显示器、数字显示器、图像显示器及记录仪等。模拟量是指连续变化量。模拟显示器利用指针对标尺的相对位置来表示读数,常见的有毫伏表、模拟光柱、微安表。数字显示器以数字形式显示,多采用发光二极管或液晶等。图像显示器用点阵式 LCD 显示读数或被测参数的变化曲线,有时还可用图表或彩色图等形式来反映





整个检测系统的多组数据。

数据处理装置用来对测试所得的实验数据进行处理、运算、分析，对动态测试结果做频谱分析、相关分析等，完成这些工作必须采用计算机技术。

数据处理的结果要送到显示器和执行器中，以显示运算处理的各种数据或控制各种被控对象。数字显示器俗称数字表，属二次仪表。它可与变送器配合用做液位、压力等的指示仪表。执行器的作用是根据电子控制单元的指令驱动机械部件的运动。执行器是运动部件，通常采用电力驱动、气压驱动和液压驱动等几种方式。电力执行器包括各种继电器、电磁铁、电磁阀门、电磁调节阀、伺服电动机等；气动执行器包括汽缸、气动阀门；液压执行器包括液压缸、液压马达。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，来驱动这些执行机构。

1.2.2 测量的定义及测量方法的分类

1. 测量的定义

测量就是借助于专用的技术工具或手段，通过实验的方法，把被测量与同性质的标准量进行比较，求取二者比值，从而得到被测量数值的过程。

2. 测量方法的分类

测量方法可按测量手段、被测量随时间变化的方式、测量结果显示方式等来分类。

(1) 根据测量的手段分类，可分为直接测量和间接测量。

直接测量就是用仪表测量，测量值就是被测值。例如，用电流表测量电流，用电桥测量电阻等。这种方式简单方便，但它的准确程度受所用的仪器误差的限制。如果被测量不能直接测量，或直接测量该被测量的仪器不够准确，那么利用被测量与某种中间量之间的函数关系，先测出中间量，然后通过计算公式，算出被测量的值，这种方式称为间接测量。例如，用伏安法测电阻，就是利用测出的电压与电流的值，通过欧姆定律间接算出电阻的值。

(2) 根据被测量是否随时间变化，可分为静态测量和动态测量。

静态测量是指被测量是恒定的，如测物体的重量就属于静态测量。动态测量是指被测量随时间变化而变化，如用光导纤维陀螺仪测量火箭的飞行速度、方向就属于动态测量。

(3) 根据被测量结果的显示方式，可分为模拟式测量和数字式测量。

被测量连续变化的量是模拟量，模拟式测量易受噪声和干扰的影响。数字式仪器用数码显示结果，读数方便，不易读错。要求精密测量时绝大多数采用数字式测量。

(4) 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，用热电偶插入液体测温度就是接触式测量，用红外线温度仪测食品的温度就是非接触式测量。

(5) 根据是否在生产线上检测，可分为在线检测和离线检测。

在线检测即实时检测，如在加工过程中实时对刀具进行检测，并依据测量的结果做出相应的处理。离线检测无法实时监控生产质量。

1.2.3 误差分类及分析

测量的目的是得到被测量的真值。真值是指在一定条件下被测量客观存在的实际值。真值有理论真值、约定真值和相对真值三种。理论真值是一个变量本身所具有的真实值，它是一个理想的概念，一般是无法得到的。所以在计算误差时，一般用约定真值或相对真值来代替。约定真值是一个接近真值的值，它与真值之差可忽略不计。实际测量中在没有系统误差的情况下，把足够多次的测量值的平均值作为约定真值。相对真值是指当高一级仪表的误差仅为低一级仪表的误差 1/3 时，可认为高一级仪表测量值为低一级仪表测量值的相对真值。

测量值(也叫示值)与真值之间的差值称为测量误差。测量误差按其不同特性分类，有绝对误差和相对误差两种。

1. 绝对误差

绝对误差是测量值(示值) A_x 与真值 A_0 之间的差值，即

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

在实验室测量中，常用修正值 C 表示真值与测量值之差，即

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

由此可知，修正值是绝对误差的相反数。绝对误差可表示测量值偏离真值的程度，但不能表示测量的准确程度。

2. 相对误差

为了进一步说明测量的准确程度，引入了相对误差的概念。相对误差即百分比误差，它可分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

(1) 实际相对误差 γ_A 。实际相对误差 γ_A 用绝对误差 Δ 与约定真值 A_0 的百分比来表示

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

(2) 示值相对误差 γ_x 。示值相对误差 γ_x 用绝对误差与示值的百分比来表示

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-4)$$

(3) 满度相对误差 γ_m 。满度相对误差 γ_m 用绝对误差 Δ 与仪表满量程值 A_m 的百分比来表示

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

在式(1-5)中，对测量下限不为零的仪表而言，量程 $A_m = A_{\max} - A_{\min}$ 。


(4) 准确度。传感器的误差是以准确度来表示的。当 Δ 取最大值 Δ_m 时，准确度常用最大满度相对误差来定义

$$S = \frac{\Delta_{\max}}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

仪表的准确度习惯上称为精度，准确度等级习惯上称为精度等级。准确度表示传感器的最大相对误差。准确度等级 S 规定取一系列标准值。我国的仪表有下列七种等级：0.1、

0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。从仪表面板上的标识可以判断出仪表的等级，仪表的等级表示对应仪表的满度误差不应超过的百分比。例如，等级为 0.1 的仪表，它的基本误差最大不超过 $\pm 0.1\%$ 。由此可知，等级越大，误差就越大。所以，等级值越小的，仪表的价格越贵。

工业自动化仪表精度等级一般在 0.5~4.0。工业上常用 0.5 级以上的仪表。

 **注意：**仪表精度与精度等级不是一回事，精度越高，精度等级越小。

【例 1-1】 有一台测量仪表，测量范围为 $-200\sim+800^{\circ}\text{C}$ ，准确度为 0.5 级。现用它测量 500°C 的温度，求仪表引起的最大绝对误差和示值相对误差。

解： $A_m = A_{\max} - A_{\min} = 800 - (-200) = 1000^{\circ}\text{C}$ 。

最大绝对误差： $\Delta_{\max} = S \times A_m = 0.5\% \times 1000 = 5^{\circ}\text{C}$

最大示值相对误差 $\gamma_x = \frac{\Delta_{\max}}{A_x} \times 100\% = \frac{5}{500} \times 100\% = 1\%$

【例 1-2】 已知待测拉力约为 70N。现有两只测力仪表，一只为 0.5 级，测量范围为 0~500N；另一只为 1.0 级，测量范围为 0~100N。问选用哪一只测力仪表较好，为什么？

解：选择正确的仪表，要求示值相对误差要小。


用 0.5 级仪表测量时，最大示值相对误差为

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% = \frac{500 \times 0.5\%}{70} \times 100\% = 3.57\%$$

用 1.0 级仪表测量时，最大示值相对误差为

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% = \frac{100 \times 1\%}{70} \times 100\% = 1.43\%$$

计算结果表明，1.0 级表的示值相对误差反而比 0.5 级表小，所以 1.0 级表更合适。

 **注意：**在选用仪表时应兼顾精度等级和量程，通常希望示值落在仪表满度值的 2/3 以上。

3. 误差产生的原因

根据误差产生的原因，对误差进行分类，不同误差的解决办法也不同。

(1) 系统误差。在相同测量条件下多次测量同一物理量，其误差大小和符号保持恒定或按某一确定规律变化，此类误差称为系统误差。系统误差表征测量的准确度。它可以通过实验的方法或引入修正值的方法计算修正，也可以重新调整测量仪表的有关部件予以消除。

(2) 随机误差。在同一条件下，多次测量同一被测量，有时会发现测量值时大时小，误差的绝对值及正、负以不可预见的方式变化，该误差称为随机误差。它反映了测量值离散性的大小。通常用精密度表征随机误差的大小。

(3) 粗大误差。明显偏离约定真值的误差称为粗大误差，它也叫过失误差。粗大误差主要是由于测量人员的粗心大意及电子测量仪器受到突然而强大的干扰所引起的，如测错、记错、读错等造成的误差。当测量值明显超过正常条件下的误差时，即为粗大误差，应予以剔除。

1.2.4 传感器及其基本特性

1. 传感器的定义及组成

根据中华人民共和国国家标准(GB/T 7665—1987), 传感器是指能感受规定的被测量, 并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。

传感器通常由敏感元件、传感元件及转换电路组成, 如图 1.2 所示。

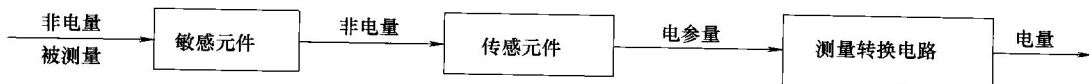


图 1.2 传感器组成图

(1) 敏感元件是指传感器中直接感受被测量的部分。在完成非电量到电量的变换时, 并非所有的非电量都能利用现有手段直接转换成电量, 往往是先变换成另一种易于变成电量的非电量, 然后再转换成电量。

(2) 传感元件是指传感器中能将敏感元件输出的非电量转换成适于传输和测量的电量信号的部分。有些传感器把敏感元件和传感元件合二为一。

(3) 转换电路是指将无源型传感器输出的电参数量转换成易于处理的电量的部分。常用的转换电路有电桥电路、脉冲调宽电路、谐振电路等, 它们将电阻、电容、电感等电参数量转换成电压、电流或频率。

2. 传感器的分类

传感器的分类方法有很多, 常用的分类方法如下。

(1) 按被测对象可分为位移、压力、温度、流量、速度、加速度、磁场、光通量等传感器。

(2) 按输出信号的类型可分为开关型传感器、模拟式传感器和数字式传感器。开关型传感器输出的是开关量(“1”和“0”或“开”和“关”), 模拟式传感器的输出量是模拟电压值, 数字式传感器的输出量是脉冲或代码型。

(3) 按工作原理可分为电阻式、电容式、电感式、霍尔式、光电式等传感器。

3. 传感器的基本特性

传感器的特性一般指输入和输出特性, 它有静态特性和动态特性之分。传感器的静态特性是指静态工作下的输入/输出特性, 传感器的动态特性反映传感器的动态性能。静态特性指标有灵敏度、分辨率、线性度、迟滞、测量范围与量程、精度等级、重复性、稳定性、死区等。动态特性指标有超调量、上升时间、响应时间、相频特性及幅频特性等。这里仅介绍静态特性, 传感器出厂说明书上一般都列有其主要的静态性能指标的额定数值。

1) 灵敏度

灵敏度是传感器静态特性的一个重要指标。其定义是输出量增量 Δy 与引起输出量增量的相应输入量增量 Δx 之比, 用 K 表示, 即

$$K = \frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-7)$$

式中： x 为输入量； y 为输出量； K 表示单位输入量的变化所引起的传感器输出量的变化。

很显然，灵敏度 K 值越大，表示传感器越灵敏。对线性传感器而言，灵敏度为一常数，如图 1.3(a)所示；对非线性传感器而言，灵敏度随输入量的变化而变化，可用作图法求出曲线上任一点的灵敏度，如图 1.3(b)所示，作该曲线的切线，切线斜率大小即灵敏度。

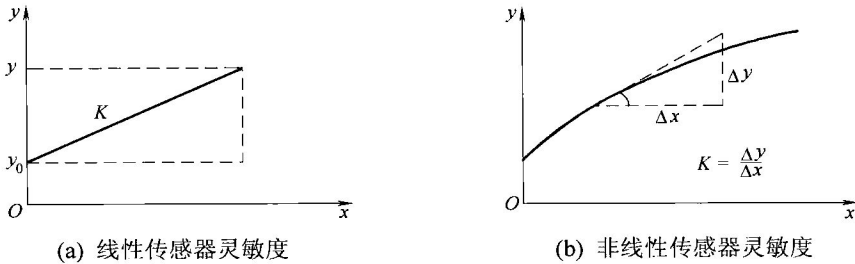


图 1.3 用作图法求取传感器的灵敏度

2) 分辨力

分辨力是指传感器能检出的被测信号的最小变化量。当被测量的变化小于分辨力时，传感器对输入量的变化无任何反应。对数字仪表而言，一般可以认为该表的最后一位所表示的数值就是它的分辨力。其分辨率是分辨力与仪表满量程的比值，分辨率反映传感器对输入量极小变化的分辨能力。

3) 迟滞性

迟滞性是指正反行程中输入/输出曲线的不重合性。迟滞误差又叫回程误差，即传感器正行程及反行程中输出信号差值的最大值。如图 1.4 所示，迟滞误差可用 γ_H 表示

$$\gamma_H = \frac{1}{2} \frac{\Delta H_{\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中： ΔH_{\max} 为最大迟滞误差； y_{\max} 为满量程输出。

4) 线性度

线性度又叫非线性误差，是指传感器实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差与传感器满量程范围内的输出的百分比，如图 1.5 所示，非线性误差用 γ_L 表示，即

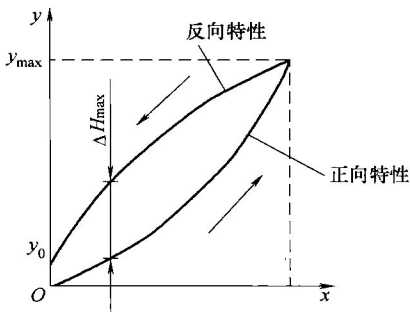


图 1.4 传感器的迟滞性示意图

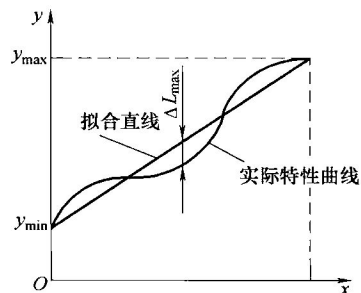


图 1.5 传感器的线性度示意图

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中： ΔL_{\max} 为最大非线性误差； $(y_{\max} - y_{\min})$ 为输出范围。

线性度是表示传感器的输入与输出之间数量关系的线性误差。从传感器的性能看，希望具有线性关系，即理想输入/输出关系，但实际遇到的传感器大多为非线性。现在多采用计算机来纠正检测系统的非线性误差。

5) 稳定性

稳定性指在室温条件下，经过相当长的时间间隔，如一天、一月或一年，传感器输出与起始标定时输出之间的差异。影响稳定性的主要因素是环境，环境影响量是指由环境变化而引起的示值变化量，示值的变化量由零漂和灵敏度漂移两个因素构成。

零漂在测量前是可以发现的，并且可用重新调零的办法来解决。灵敏度漂移会使仪表的输入/输出曲线的斜率产生变化。

造成环境影响量的因素有温度、湿度、气压、电源电压、电源频率等。在这些因素中，温度变化对仪表的影响最难克服，必须予以重视。例如，克服热电偶温度漂移的办法可采用电桥电路补偿法。

1.3 自动检测系统认识项目实施过程

1.3.1 工作计划

查询数控机床的位置检测和速度检测的有关资料，参观学校的数控机床，了解数控机床检测系统。

在项目实施过程中，小组协同编制计划并协作解决难题，相互之间监督计划执行与完成情况，以养成“组织管理”、“准确遵守”等职业素养。工作计划表如表 1.2 所示。

表 1.2 工作计划表

序号	内容	负责人/责任人	开始时间	结束时间	验收要求	完成/执行情况记录	个人体会、行为改变效果
1	研讨任务	全体组员			分析项目的控制要求		
2	制定计划	小组长			制定完整的工作计划		
3	确定检测系统	全体组员			根据任务研讨结果，确定某型号数控机床速度和位置检测系统		
4	具体操作	全体组员			根据某型号数控机床画出自动检测系统的组成框图		
5	效果检查	小组长			检查本组组员画出的自动检测系统框图是否正确		
6	评估	老师/讲师			根据小组协同完成的情况进行客观评价，并填写评价表		

注：该表由每个小组集中填写，时间根据实际授课(实训)填写，以供检查和评估参考。最后一栏供学习者自行如实填写，作为自己学习的心得体会见证。

