

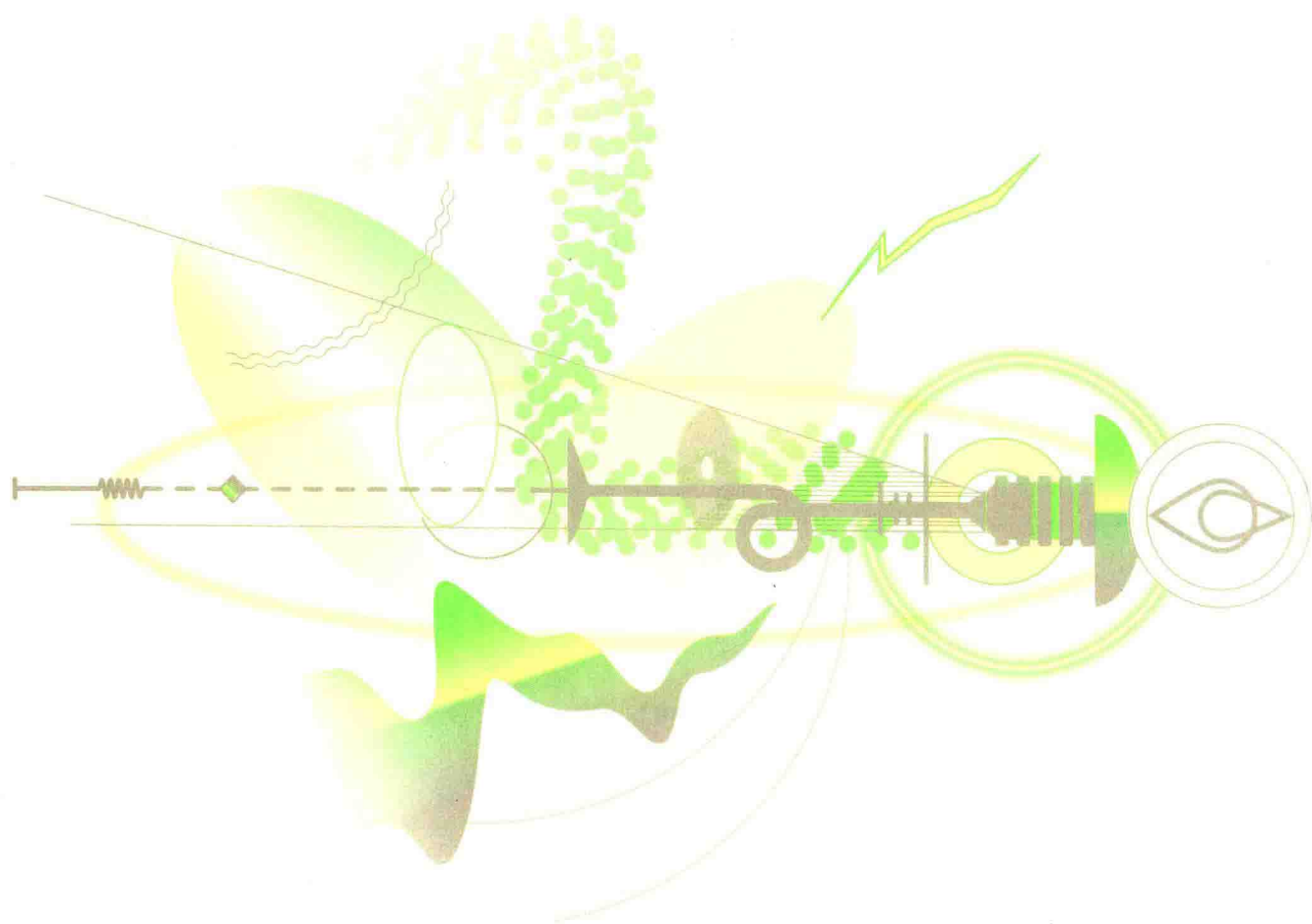


教育科学“十五”
国家规划课题研究成果

传感器 检测技术 及仪表

Sensor Detection Technologies
and Instruments

孙传友 编著



高等教育出版社

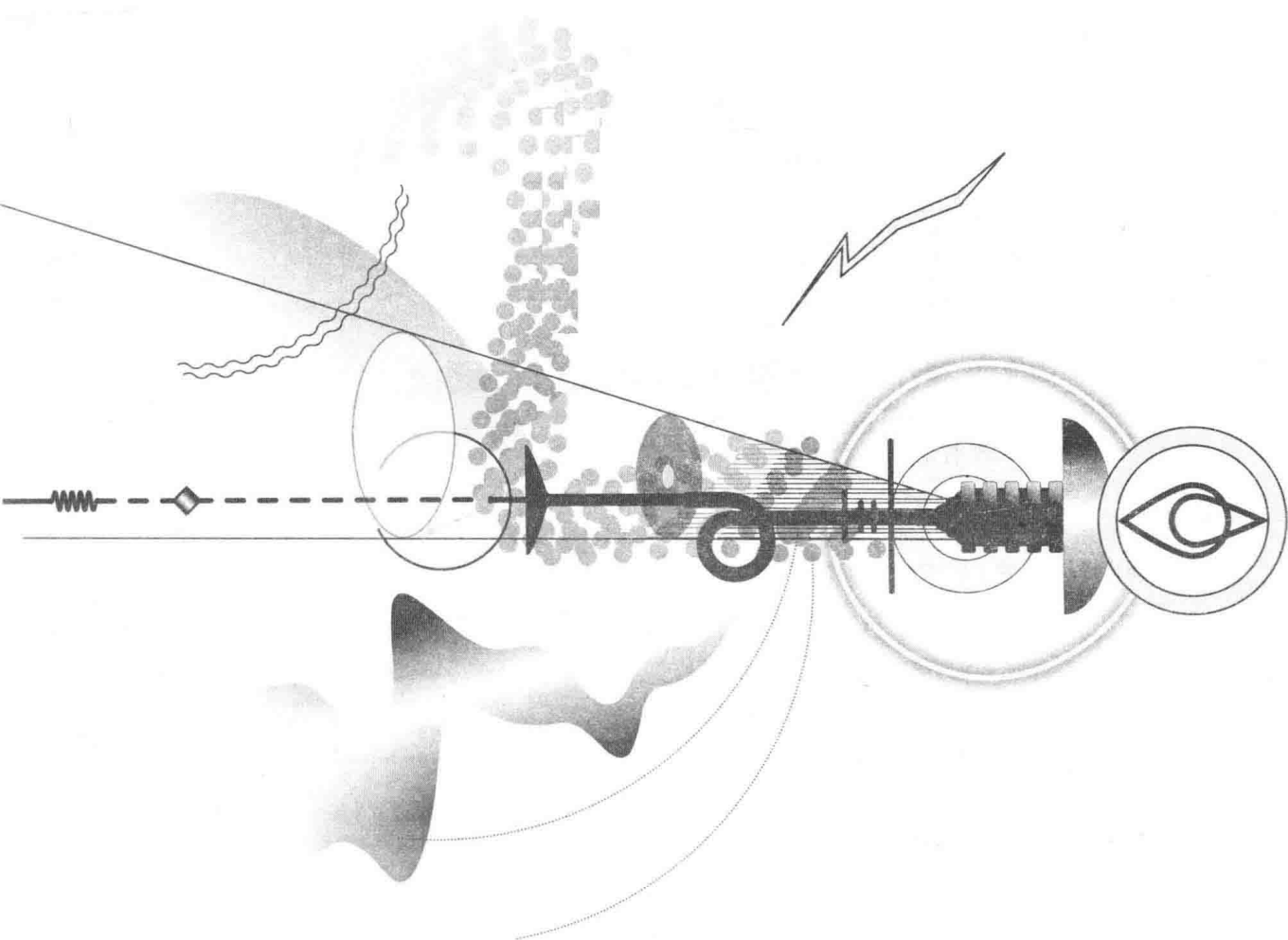


教育科学“十五”
国家规划课题研究成果

传感器 检测技术 及仪表

Sensor Detection Technologies
and Instruments

孙传友 编著



高等教育出版社·北京

内容简介

本书在教育科学“十五”国家规划课题研究成果——《现代检测技术及仪表(第2版)》的基础上修订更新而成,是适应“互联网+教育”的“新形态教材”。

全书共14章:绪论、检测系统的基本特性、阻抗型传感器、电压型传感器、半导体传感器、数字式传感器、其他传感器、几何量的电测法、机械量的电测法、热工量的电测法、模拟式检测仪表、数字式检测仪表、智能检测仪表、现代检测新技术简介。

本书有三大特色:1. 特别注重归纳共性和总结规律,以此编排教材内容,既通俗易懂,又简明易记。2. 率先将三类检测仪表共性技术编入教材,完善了本课程的教学内容,增强了教材的实用性。3. 与本书配套的教学资源丰富齐全,读者可访问网址 <http://abook.hep.com.cn/1227955> 免费浏览。

本书可作为应用型(或技术型)自动化类、仪器类、电气类、电子信息类专业本科生的教材,也可供从事检测仪表设计、使用、维护和管理工作的人员参考或作为自学读物。

图书在版编目(CIP)数据

传感器检测技术及仪表/孙传友编著.--北京:
高等教育出版社,2019.1

ISBN 978-7-04-051243-4

I. ①传… II. ①孙… III. ①传感器-检测-高等学校-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 012014 号

策划编辑 韩 颖	责任编辑 韩 颖	封面设计 张申申	版式设计 马 云
插图绘制 于 博	责任校对 李大鹏	责任印制 耿 轩	

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京市密东印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	21.75	版 次	2019年1月第1版
字 数	530千字	印 次	2019年1月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	49.80元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 51243-00

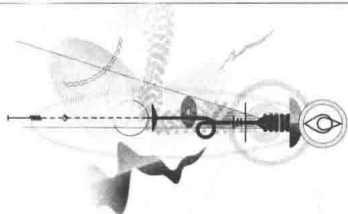
传感器 检测技术 及仪表

孙传友 编著

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1227955>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



① 当前通知 | APP 下载



传感器检测技术及仪表

本数字课程与纸质教材一体化设计, 包含的教学资源有: PPT 课件、插图动画、电子教案、例题解析、习题解答、课程视频、双语教学、拓展阅读、实验指导等。可以拓展学生的学习内容, 达到更好的学习效果。

课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1227955>

前 言

当今世界需要检测的量可分为电量和非电量两大类,非电量的种类比电量多得多。非电量的现代检测涉及两个基本问题:如何用传感器将非电量转换成电量,如何用仪表电路对电量进行测量,以得到人们需要的测量结果。然而,长期以来,国内出版的传感器与检测技术的教材介绍传感器原理及其应用的多,系统地介绍与传感器紧密相关的仪表电路的少。这就使学生学完传感器课后,还是不知道传感器怎么用。本人长期从事传感器检测技术课程教学,深切感受到,仅有传感器知识是不够的,需要增加仪表电路知识。为此,本人编写了《现代检测技术及仪表》(高等教育出版社2006年5月出版)。本书率先将三类检测仪表共性技术编入教材,从基础上完善了传感器检测技术课程的教学内容,大大增强了教材的实用性。

本书将传感器原理、非电量电测法和常用仪表电路的主要内容有机地整合为一门课程,正是作者为培养学生更好地适应今后实际工作的需要,而对教学内容和课程体系进行改革的一种尝试。十多年的教学实践证明,这样“整合”不仅加强了课程内容间的联系与综合,避免脱节和不必要的重复,大大节省了学时,而且也有利于拓宽学生的专业面,培养学生的创新能力。

本书与其他同类教材相比,在内容编排上还有以下三个不同:第一,本书不是着眼于传感器的“设计”,而是着眼于传感器的“应用”(因为毕竟“使用”传感器的人比“制作”传感器的人多得多)。对传感器的理论阐述以够“用”为度,同时注意从应用角度介绍传感器前端的敏感器和后端的接口电路。第二,本书不是在讲完每一种传感器后就列举它的应用,而是把传感器的应用,按被测量分类归并到非电量电测量的相应章节。把同一种非电量的多种测量方法归纳在一起,既便于学生掌握同一非电量多种测量方法的共同点,又便于理解它们的不同点,以开拓学生的思维。第三,本书不是逐个介绍每一种传感器的接口电路,而是把输出量相同或原理有共性的传感器归并成一类。这样编排,既便于学生理解传感器的原理,又便于学生掌握这一类传感器可共用的接口电路;既避免不必要的内容重复,又能使学生举一反三,触类旁通。

由于传感器和检测仪表的种类和型号繁多,涉及知识面很广,常常使教师感到难教,学生感到难学。本书特别注重归纳共性和总结规律,化“多而繁”为“少而简”,变“深奥枯燥”为“通俗有趣”。为了便于总结各种传感器和测量方法的规律,本书把“将非电量转换成电量的器件或装置”称为“传感器”,把“将被测非电量转换成可用非电量的器件或装置”称为“敏感器”。使学生认识到,只要将“敏感器”与“传感器”适当配合,就可以使一种传感器开发出多种用途,一种非电量也就可以有多种测量方法。各种检测仪表的用途、名称型号、性能尽管各不相同,但差别仅在于仪表的前端所使用的传感器和测量方法不同,传感器以后的仪表部分却是基本上相同的。理论上讲, M 种敏感器、 N 种传感器和3种仪表电路的排列组合可产生出 $(M \times N \times 3)$ 种非电量检测仪表产品,我们没有必要也没有时间给学生逐一介绍一个个具体的仪表产品,我们只需要教给学生掌握这 $(M+N+3)$ 种功能模块,学生今后根据特定的检测任务要求,将这些模块恰当地排列组合,再引入一些新器件和新技术,就能创新设计出自己的检测方案或仪表产品。

本书内容具有“全新”的特点,突出教学内容和课程体系的改革,注重归纳共性和总结规

律,启发和引导学生的创新思维。既通俗易懂,又简明实用。

本书的上述特色受到同行专家和广大师生的好评。目前,《现代检测技术及仪表》第1、2版已累计印刷14次,有数十所高校选用本书作教材。为了使本书能适应当今兴起的“互联网+教育”,本书在保持《现代检测技术及仪表》第1、2版的特色和体系基本不变的前提下,进行了如下内容修订:1. 删去了气敏电阻、湿敏电阻、成分与含量的电测法等章节,更突出测控领域常见物理量的检测。2. 增加了智能传感器、网络传感器和物联网传感技术等新技术的简介。3. 删去了学生可以在课下自学的内容,这些内容作为拓展阅读放在与本书关联的数字课程网站,从而减少了教材的篇幅和成本。4. 修订了各章的习题及解答,增加了各章的例题解析。为了名符其实地反映本书的三大板块内容,作者还将书名更改为《传感器检测技术及仪表》。

本书是适应“互联网+教育”的“新形态教材”。与本书配套的教学资源有:PPT课件、插图动画、电子教案、例题解析、习题解答、课程视频、双语教学、拓展阅读、实验指导等。这些资源全部发布在高等教育出版社创建的【传感器检测技术及仪表数字课程网站】(网址 <http://abook.hep.com.cn/1227955>),读者可上网免费浏览。

我们建议学生在做作业时,先不要看网上刊登的答案。自己独立思考地做完后,再与网上刊登的答案对比,自己给自己的作业批改和打分,自己发现学习中的问题自己纠正。任课教师可以检查和记录学生自己完成和批改作业的情况,利用课堂小测验和期末考试考核学生学习的效果。这样把作业主动权交给学生,有利于培养学生的自学能力和提高学生的学习自觉性。

我们建议学生不要只忙于应付作业和考试,而要在课外多收集一些检测技术及仪表的实例进行剖析,自己动手搞一些小制作小发明,还可把自己的研究心得撰写成论文在科技期刊上发表甚至申报专利,多创造些社会认可的成果以提升自己今后在人才市场的竞争力。

本书可作为应用型(或技术型)电气信息类专业本科生的教材,也可供从事检测仪表设计、使用、维护和管理的工作人员参考或作为自学读物。

本书由长江大学孙传友教授编著,东南大学周杏鹏教授主审。借此机会,特向周杏鹏教授表示衷心感谢。本书在编写和修订过程中除引用编著者自己的研究成果外,还参考了几十种有关文献,在此,谨向所有参考文献的作者表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请各位专家和读者批评指正。作者邮箱: jejsjx@sina.com。

编著者

2018年9月于北京

目 录

第1章 绪论	1	3.2 电容式传感器	43
1.1 检测技术及仪表的地位与作用	1	3.2.1 基本原理与结构类型	43
1.1.1 检测仪表的地位与作用	1	3.2.2 输入-输出特性	44
1.1.2 检测技术是仪器仪表的技术基础	2	3.2.3 等效电路分析	46
1.2 传感器概述	3	3.2.4 接口电路	47
1.2.1 传感器的基本概念	3	3.3 电感式传感器	50
1.2.2 传感器的分类和命名法	4	3.3.1 自感式传感器	51
1.3 检测仪表概述	5	3.3.2 互感式传感器(差动变压器)	57
1.3.1 检测仪表的基本组成	5	3.3.3 电涡流式传感器	61
1.3.2 检测仪表的基本类型	6	思考题与习题	68
思考题与习题	8	第4章 电压型传感器	70
第2章 检测系统的基本特性	9	4.1 磁电式传感器	70
2.1 静态特性及性能指标	9	4.1.1 基本原理和组成	70
2.1.1 静态特性	9	4.1.2 结构类型	70
2.1.2 静态性能指标	10	4.1.3 接口电路	72
2.2 动态特性及性能指标	11	4.2 压电式传感器	72
2.2.1 传递函数	12	4.2.1 压电效应及其表达式	72
2.2.2 阶跃响应和时域动态性能指标	16	4.2.2 压电材料	75
2.2.3 正弦响应和频域动态性能指标	19	4.2.3 压电元件	78
2.2.4 无失真检测条件	20	4.2.4 接口电路	80
2.3 测量误差	22	4.3 热电偶传感器	83
2.3.1 测量误差的概念及表达方式	22	4.3.1 热电效应	83
2.3.2 测量误差的分类	24	4.3.2 热电偶的材料、型号及结构	86
思考题与习题	25	4.3.3 冷端恒温式热电偶测温电路	88
第3章 阻抗型传感器	27	4.3.4 冷端补偿式热电偶测温电路	90
3.1 电阻式传感器	27	4.4 光电式传感器	93
3.1.1 电位器式传感器	27	4.4.1 光电效应	93
3.1.2 应变式传感器和压阻式传感器	29	4.4.2 光电管和光电倍增管	95
3.1.3 热电阻和热敏电阻	34	4.4.3 光敏电阻	97
3.1.4 接口电路	38	4.4.4 光电池	100
		4.4.5 光电式传感器的基本组成和类型	104
		4.5 霍尔传感器	107

4.5.1 霍尔效应	107	7.3 红外传感器	165
4.5.2 霍尔传感器的组成与基本特性	108	7.3.1 红外线及其特性	165
4.5.3 霍尔传感器的应用	110	7.3.2 红外探测器的类型	165
4.5.4 测量误差及其补偿办法	112	7.3.3 热释电红外探测器	166
思考题与习题	115	7.4 超声波与核辐射传感器	168
第5章 半导体传感器	117	7.4.1 超声波传感器	168
5.1 半导体管传感器	117	7.4.2 核辐射传感器	171
5.1.1 磁敏二极管和磁敏晶体管	117	思考题与习题	174
5.1.2 光敏二极管和光敏晶体管	122	第8章 几何量的电测法	175
5.1.3 温敏二极管和温敏晶体管	125	8.1 位移的电测法	175
5.2 半导体集成传感器	127	8.1.1 位移电测法的分类	175
5.2.1 集成温度传感器	127	8.1.2 位移的间接电测法	175
5.2.2 集成霍尔传感器	128	8.2 倾角的电测法	178
5.2.3 集成压力、加速度传感器	129	8.2.1 摆锤式	178
思考题与习题	131	8.2.2 液体摆式	180
第6章 数字式传感器	133	8.2.3 气体摆式	181
6.1 编码器	133	8.3 厚度的电测法	181
6.1.1 直接编码器	133	8.3.1 电涡流式	181
6.1.2 增量编码器	136	8.3.2 电容式	182
6.2 光栅	138	8.3.3 核辐射式和超声波式	184
6.2.1 光栅的结构和基本原理	138	8.4 物(液)位的电测法	185
6.2.2 光栅辨向原理与细分技术	141	8.4.1 超声波法	185
6.3 感应同步器	143	8.4.2 浮力法	187
6.3.1 感应同步器的类型和结构	143	8.4.3 差压法	187
6.3.2 感应同步器的工作原理	145	8.4.4 电容法	189
6.4 频率式传感器	149	思考题与习题	189
6.4.1 振弦式传感器	149	第9章 机械量的电测法	191
6.4.2 振筒式传感器	153	9.1 转速的电测法	191
思考题与习题	155	9.1.1 模拟式电测法	191
第7章 其他传感器	156	9.1.2 计数式电测法	193
7.1 光纤传感器	156	9.2 振动的电测法	197
7.1.1 光导纤维的结构和传光原理	156	9.2.1 相对振动传感器与绝对振动敏感器	198
7.1.2 光纤传感器的基本原理和类型	158	9.2.2 绝对振动电测法	201
7.2 CCD 图像传感器	160	9.3 力与荷重的电测法	207
7.2.1 CCD 的工作原理	160	9.3.1 力敏感器	207
7.2.2 CCD 图像传感器的结构	162	9.3.2 力的间接电测法	209
7.2.3 CCD 数码照相机	164	9.3.3 电子秤	212

9.4 力矩的电测法	213	* 11.3.3 模拟非线性校正的实例	258
9.4.1 扭轴(扭矩敏感器)	213	11.4 环境及温度误差校正	258
9.4.2 力矩的扭轴式电测法	214	11.4.1 环境及温度因素对测量的 影响	258
思考题与习题	215	11.4.2 环境及温度误差的校正电路	260
第10章 热工量的电测法	217	11.5 模拟式仪表实例	263
10.1 压力与差压的电测法	217	11.5.1 DDZ-Ⅲ型仪表简介	263
10.1.1 压力的概念、单位和测量 方法	217	* 11.5.2 指针式万用表	266
10.1.2 压力敏感器	218	思考题与习题	267
10.1.3 压力的电测法	220	第12章 数字式检测仪表	269
10.1.4 差压的电测法	225	12.1 数字“表头”电路	269
10.2 温度的电测法	226	12.1.1 数字显示器	269
10.2.1 温度的概念、单位和测量 方法	226	12.1.2 A/D转换式仪表的“表头” 电路	272
10.2.2 接触式测温法	227	12.1.3 脉冲计数式仪表的“表头” 电路	274
10.2.3 温度和温度差的电测法	228	12.1.4 条图显示式仪表的“表头” 电路	275
10.2.4 非接触式测温法	234	12.2 数字式仪表的标度变换	277
10.3 流量的电测法	237	12.2.1 A/D转换式仪表的标度变换	278
10.3.1 流量的概念	237	12.2.2 脉冲计数式仪表的标度变换	278
10.3.2 流量-转速转换法	238	12.3 数字式仪表零位调整与量程切换	282
10.3.3 流量-差压、力、位移转换法	239	12.3.1 数字式仪表的零位调整	282
10.3.4 流量-频率转换法	241	12.3.2 数字式仪表的量程切换	283
10.3.5 流量-温度转换法	242	12.4 数字式仪表的非线性校正	285
10.3.6 非接触式流量测量法	244	12.4.1 数字非线性校正的原理	285
思考题与习题	246	* 12.4.2 数字非线性校正的实例	285
第11章 模拟式检测仪表	248	12.5 数字式检测仪表设计实例	285
11.1 “表头”的原理与刻度	248	12.5.1 数字式检测仪表的组成方案	285
11.1.1 “表头”的原理	248	12.5.2 数字式转速测量仪的设计	286
11.1.2 “表头”的刻度	251	12.5.3 数字式扭矩测量仪的设计	287
11.2 调零、调满度与量程切换	252	12.6 数字式万用表	290
11.2.1 常见的调零电路	253	12.6.1 数字式万用表的基本原理	290
11.2.2 常见的调满度电路	254	* 12.6.2 DT890D 数字式万用表电路 剖析	291
11.2.3 常见的量程切换电路	255		
11.3 模拟非线性校正	256		
11.3.1 非线性校正的数学原理	256		
11.3.2 非线性校正的实现方法	257		

注: * 表示该节为拓展阅读内容

思考题与习题	291	13.7.2 MAX134 配单片机构成智能万 用表	316
第 13 章 智能检测仪表	292	思考题与习题	318
13.1 智能仪表的基本组成	292	第 14 章 现代检测新技术简介	319
13.1.1 智能仪表的硬件组成	292	14.1 微型传感器	319
13.1.2 智能仪表的软件组成	293	14.1.1 微电子机械系统	319
13.2 测量通道的总体设计	294	14.1.2 微型传感器(MEMS 传感器) ...	319
13.2.1 测量通道的基本组成与类型 ...	294	14.2 智能传感器和网络传感器	320
13.2.2 传感器的选用	294	14.2.1 智能传感器	320
13.2.3 信号调理电路的参数设计和 选择	296	14.2.2 网络传感器	321
13.2.4 采集电路组成模块和方案的 选择	300	14.3 物联网传感器技术	323
13.2.5 测量通道与微机的接口	303	14.3.1 物联网的概念	323
13.3 量程自动切换与超限自动报警	305	14.3.2 传感网技术	324
13.3.1 量程自动切换	305	14.3.3 物联网的应用领域	326
13.3.2 超限自动报警	306	14.4 虚拟仪器	327
13.4 标度变换	308	14.4.1 虚拟仪器的概念	327
13.4.1 线性测量通道的标度变换	308	14.4.2 虚拟仪器的组成特点	328
13.4.2 非线性测量通道的标度变换 ...	309	14.5 软测量技术	329
13.5 非线性校正软件算法	310	14.5.1 软测量技术的概念	329
13.5.1 查表法	310	14.5.2 软测量技术的实现方法	330
13.5.2 插值法	310	14.6 多传感器数据融合	332
13.5.3 拟合法	312	14.6.1 多传感器数据融合的概念及 优点	332
13.6 温度误差的软件校正法	313	14.6.2 基本原理及融合过程	332
13.7 智能检测仪表实例——智能 万用表	315	思考题与习题	333
13.7.1 数字万用表集成芯片 MAX134 ...	315	主要参考文献	334

第1章 绪 论

1.1 检测技术及仪表的地位与作用

1.1.1 检测仪表的地位与作用

检测是人们借助专门工具,对研究对象进行检验和测量,取得定性信息和定量信息的过程。国家标准中对测量一词的定义为:测量是指以确定被测对象属性和量值为目的的全部操作。“测试”与“检测”基本上是同义语,而仪器仪表则是专门用于“测试”或“检测”的手段或工具。

检测是人类认识世界和改造世界必不可少的重要手段。在科学技术的发展过程中,人们根据对客观事物所做的大量试验和测量,形成定性和定量的认识,总结出客观世界的规律;通过试验和测量进一步检验这些规律是否符合客观实际;在利用这些客观规律改造客观世界的过程中,又通过试验和测量来检验实际效果。科学的发展、突破是以检测技术的水平为基础的。例如人类在光学显微镜出现以前,只能用肉眼来分辨物质,而16世纪出现了光学显微镜,这就使人们能够借助显微镜来观察细胞,从而大大推动了生物科学的发展。而到20世纪30年代出现了电子显微镜,又使人们的观察能力进入微观世界,这又推动了生物科学、电子科学和材料科学的发展。“在诺贝尔物理学和化学奖中大约有 $\frac{1}{4}$ 是属于测试方法和仪器的创新。”^[1]这些事实都说明了检测仪器在科学研究中的重要作用。

“在国民经济建设中仪器的作用重大,在工业生产中起着把关者和指导者的作用,它从生产现场获取各种参数,运用科学规律和系统工程的做法,综合有效地利用各种先进技术,通过自控手段和装备,使每个生产环节得到优化,进而保证生产规范化,提高产品质量,降低成本,满足需要,保证安全生产。”^[1]

“仪器仪表对国民经济有巨大的‘倍增器’和拉动作用。应用仪器仪表是现代生产从粗放型经营转变为集约型经营必须采取的措施,是改造传统工业必备的手段,也是产品具备竞争能力、进入市场经济的必由之路。”^[1]

“仪器在产品质量评估及计量等有关国家法制实施中起着技术监督的‘物质法官’的作用。在国防建设和国家可持续发展战略的诸多方面,都有至关重要的作用。现代仪器已逐渐走进千家万户,与人们的健康、日常生活、工作和娱乐活动休戚相关。”^[1]

“今天,世界正在从工业化时代进入信息化时代,向知识经济时代迈进。这个时代的特征是以计算机为核心,延伸人的大脑功能,起着扩展人脑力劳动的作用,使人类正在走出机械化的过程,进入以物质手段扩展人的感官神经系统及脑力智力的时代。这时,仪器的作用主要是获取信

[1] 注:引自参考文献[1]。

息,作为智能行动的依据。”^[1]

“仪器的功能在于用物理、化学或生物的方法,获取被检测对象运动或变化的信息,通过信息转换的处理,使其成为易于人们阅读和识别表达(信息显示、转换和运用)的量化形式,或进一步信号化、图像化。通过显示系统以利观测,入库存档,或直接进入自动化、智能运转控制系统。”^[1]

“仪器是一种信息的工具,起着不可或缺的信息源的作用。仪器是信息时代的信息获取—处理的链条中的源头技术。如果没有仪器,就不能获取生产、科学、环境、社会等领域中全方位的信息,进入信息时代将是不可能的。钱学森院士在对新技术革命的论述中说:‘新技术革命的关键技术是信息技术。信息技术由测量技术、计算机技术、通信技术三部分组成。测量技术则是关键和基础’。现在提到信息技术通常想到的只是计算机技术和通信技术,而关键的基础性的测量技术却往往被人们忽视了。综上所述可以看出仪器技术是信息的源头技术。仪器工业是信息工业的重要组成部分。”^[1]

1.1.2 检测技术是仪器仪表的技术基础

最早应用的仪器仪表是机械式仪表,以后发展到光学的、电学的,等等,而这些发展也是随着科学技术的发展而发展的,因为新科技诞生、发展,均会伴随产生许多新的检测课题,在要求推动下,就促进了仪器仪表的发展;而科学技术的进步也为发展新型的仪器仪表提供了条件。

在科研和工程上需要测试或检测的量可分为电量和非电量两大类,相应的检测仪表也分为电量检测仪表和非电量检测仪表两大类。由于非电量种类比电量的种类多得多,所以,非电量检测仪表的种类也就比电量检测仪表种类多得多。

非电量早期多用非电的方法测量,例如,用尺测量长度,用水银温度计测量温度。但是随着科学技术的发展,对测量的精确度、速度都提出了新的要求,尤其对动态变化的物理过程进行测量,以及对物理量的远距离测量,用非电的方法已经不能满足要求了,必须采用电测法。

电测法就是把非电量转换为电量来测量,同非电的方法相比,电测法具有如下的优越性:

(1) 便于采用电子技术,用放大和衰减的办法灵活地改变测量仪器的灵敏度,从而大大扩展仪器的测量幅值范围(量程)。

(2) 电子测量仪器具有极小的惯性,既能测量缓慢变化的量,也可测量快速变化的量,因此采用电测技术将具有很宽的测量频率范围(频带)。

(3) 把非电量变成电信号后,便于远距离传送和控制,这样就可实现远距离的自动测量。

(4) 把非电量转换为数字电信号,不仅能实现测量结果的数字显示,而且更重要的是能与计算机技术相结合,便于用计算机对测量数据进行处理,实现测量的微机化和智能化。

由于电测法具有无可比拟的优越性,因此,在现代测量中,非电量大多用传感器转换成电量再进行测量——非电量的电测法。

现代检测技术包括电量检测和非电量检测两方面,而非电量的电测法涉及两个基本问题:一是怎样用传感器将非电量转换为电量,二是怎样用仪表电路对电量进行测量。因此非电量的电测技术同传感器技术、仪表电路的电量测量技术是紧密联系不可分割的。现代检测技术应包括:

[1] 注:引自参考文献[1]。

传感器技术、非电量电测技术、仪表电路的电量测量技术三个组成部分。

如前所述,科研、生产、生活、国防等各个领域都需要检测一些电量或非电量,而每一种电量或非电量又有多种测量方法,因此仪器仪表的种类和型号是很多很多的。从“硬件”方面来看,如果把常见的各类仪器仪表“化整为零”地解剖开来,我们会发现它们内部组成模块大多是相同的。从“软件”方面来看,如果把各个模块“化零为整”地组装起来,我们会发现它们的整机原理、总体设计思想、主要的软件算法也是大体相近的。这就是说,常见的各类仪器仪表尽管用途、名称型号、性能各不相同,但它们有很多的共性,而且共性和个性相比,共性是主要的,它们共同的基础和技术基础实质就是“现代检测技术”。常见的各类仪器仪表只不过是作为其“共同基础”的“现代检测技术”与各个具体应用领域的“特殊要求”相结合的产物。本书不是逐个介绍具体的仪器仪表产品,而是讲述各类仪器仪表中常见的传感器、常见非电量的电测量方法、常规仪表的共性技术。因为“产品”是“技术”的产物,读者只要掌握了常见的各类仪器仪表产品通用的模块和常用的技术,今后遇到具体的仪器仪表时,再了解一下该仪器仪表应用领域的特殊要求和某些专用电路,就能很快适应所从事仪器仪表的具体工作。

1.2 传感器概述

1.2.1 传感器的基本概念

国家标准《传感器通用术语》中,对于传感器的定义做了如下规定:“能感受(或响应)规定的被测量并按照一定规律转换成可用信号输出的器件或装置。传感器通常由直接响应于被测量的敏感元件和产生可用信号输出的转换元件以及相应的电子线路所组成。”这一定义同美国仪表协会(ISA)的定义相类似,是比较确切的。

应当指出,这里所谓的“可用信号”是指便于处理、传输的信号。当今电信号最易于处理和便于传输,因此,可把传感器狭义地定义为:“能把外界非电信息转换成电信号输出的器件或装置”或“能把非电量转换成电量的器件或装置”。

如果所要测量的非电量正好是某传感器能转换的那种非电量,而该传感器转换出来的电量又正好能为后面的显示记录电路所利用(例如,热电偶测温度时产生的热电动势可以驱动动圈式毫伏表),那么,就只要由传感器和显示仪表便可非常容易地构成一个非电量测量系统。

然而,很多情况下,我们所要测量的非电量并不是我们所持有的传感器所能直接转换的那种非电量,这就需要在传感器前面增加一个能把被测非电量转换为该传感器能够接受和转换的非电量(即可用非电量)的装置或器件,这种能把被测非电量转换为可用非电量的器件或装置称为敏感器。如果把传感器称为变换器,那么敏感器则可称为预变换器。例如,用电阻应变片测压力时就要将应变片粘贴到承受压力的弹性元件上,弹性元件将压力转换为应变,应变片再将应变转换为电阻变化,这里应变片便是传感器,而弹性元件便是敏感器。敏感器与传感器虽然都是对被测非电量进行转换,但敏感器是把被测非电量转换为可用非电量,而不是像传感器那样把非电量转换成电量。

尽管非电量的电测方法很多,但就其转换关系而言可以归纳为两大类:直接法和间接法。

直接法就是用传感器直接将被测非电量 x 转换为电量 y ,直接法所使用的传感器的可用非

电量必须正好是被测量,而且其输出电量 y 应是被测量 x 的单值函数,即

$$y=f(x) \quad (1-2-1)$$

直接法所使用的这种传感器本书称之为直接传感器。

间接法就是先用敏感器将被测量 x 转换为传感器的可用非电量 z ,再用传感器将可用非电量 z 转换为电量 y 。设传感器的转换关系为

$$y=\phi(z) \quad (1-2-2)$$

敏感器的转换关系为

$$z=\psi(x) \quad (1-2-3)$$

由敏感器与传感器组合成的非电量 x 的电测装置的转换关系便为复合函数

$$y=\phi[\psi(x)]=f(x) \quad (1-2-4)$$

按照传感器定义,这种敏感器与传感器的组合装置仍可称为传感器,但却不是原来的非电量 z 的传感器,而是被测量 x 的传感器。因为其转换关系为复合函数,故本书称之为复合传感器或间接传感器。通过以后的学习,我们将会看到,只要将“敏感器”与“传感器”适当组合,就可以使一种传感器开发出多种用途,一种非电量也就可以有多种测量方法。

在很多情况下,传感器所转换得到的电量并不是后面的显示记录电路所能直接接收的。例如,电阻式应变传感器把应变转换为电阻变化,电阻虽然属于电参量,但不能像热电偶产生的热电动势那样被电压显示仪表所接受。这就需要用某种电路来对传感器转换出来的电量进行变换和处理,使之成为便于显示、记录、传输或处理的电信号。接在传感器后面具有这种功能的电路,称为测量电路或传感器接口电路。例如,电阻应变片接入电桥,将电阻变化转换为电压变化,这里电桥便是电阻传感器常用的测量电路。

很多传感器书把这里所说的敏感器、直接传感器和测量电路分别称为敏感元件、传感元件(或转换元件)和转换电路,并把这三部分作为传感器的三个组成部分。

很多传感器产品广告和说明书,把凡能输出标准信号的传感器称为变送器。也就是说,“变送器”是“传感器”配接能输出标准信号的“接口电路”后构成的将非电量转换为标准信号的器件或装置。由于国际电工委员会(IEC)将 4~20 mA 直流电流信号和 1~5 V 直流电压信号确定为过程控制系统电模拟信号的统一标准。所以“变送器”通常就是指将被测非电量转换为 4~20 mA 直流电流信号的器件或装置。

1.2.2 传感器的分类和命名法

1. 传感器的分类

传感器一般都是根据物理学、化学、生物学的效应和规律设计而成的,因此大体上可分为物理型、化学型和生物型三大类。化学型传感器是利用电化学反应原理,把无机和有机化学物质的成分、浓度等转换为电信号的传感器。生物型传感器是利用生物活性物质选择性,识别和测定生物和化学物质的传感器。这两类传感器广泛应用于化学工业、环保监测和医学诊断。因篇幅所限,本书不涉及化学型、生物型传感器,只介绍应用于工业测控技术领域的物理型传感器。

按构成原理,物理型传感器又可分为物性型传感器和结构型传感器。物性型传感器是利用其物理特性变化实现信号转换,例如热敏电阻、光敏电阻等。结构型传感器是利用其结构参数变

化实现信号转换,例如变极距型电容式传感器、变气隙型电感式传感器等。

按输出信号表示形式,物理型传感器又可分为模拟式和数字式两类。模拟式传感器又可分为阻抗型(输出信号为电阻、电容、电感等阻抗参数)和电压型(输出信号为电压信号)。数字式传感器又可分为:直接编码式传感器、脉冲计数式传感器、频率式传感器。

目前比较流行的传感器的分类方法有两种:一种是按照被测的非电量分类,另一种是按照输出量的性质分类。

2. 传感器的命名法

一种传感器产品名称,应由主题词加四级修饰语构成。

(1) 主题词——传感器。

(2) 第一级修饰语——被测量,包括修饰被测量的定语。

(3) 第二级修饰语——转换原理,一般可后续以“式”字。

(4) 第三级修饰语——特征描述,指必须强调的传感器结构、性能、材料特征、敏感元件及其他必要的性能特征,一般可后续以“型”字。

(5) 第四级修饰语——主要技术指标(量程、精确度、灵敏度等)。

在有关传感器的统计表格、图书索引、检索以及计算机汉字处理等特殊场合,应采用本命名法所规定的顺序。

例 1:传感器,绝对压力,应变\[计\]式,放大\[型\],1~3 500 kPa。

例 2:传感器,加速度,压电式, ± 20 g。

在技术文件、产品样本、学术论文、教材及书刊的陈述句子中,作为产品名称应采用与上述相反的顺序。

例 1:1~3 500 kPa 放大\[型\]应变\[计\]式绝压传感器。

例 2: ± 20 g 压电式加速度传感器。

1.3 检测仪表概述

1.3.1 检测仪表的基本组成

依据检测对象是电量还是非电量,检测仪表可分为电量检测仪表和非电量检测仪表两大类。由于非电量的种类比电量多得多,因此非电量检测仪表比电量检测仪表更为常见,也更具有普遍性。又由于非电量常常都通过传感器转换成电量来测量,电量检测仪表的前端加上传感器即构成非电量检测仪表,所以电量检测仪表大多已被包含在非电量检测仪表中。因此,为了避免重复,本书只研究非电量检测仪表。

在现代的测量系统中,各个组成部分常常以信息流的过程来划分,一般可以分为:信息的获得,信息的转换,信息的显示。因此作为一个完整的非电量电测仪表,至少应包括传感器(信息的获得)、测量电路(信息的转换)、显示装置(信息的显示)3个基本组成部分,它们之间的关系可用图 1-3-1 的框图来表示。

“传感器”把被测的非电量转换成电量,“测量电路”对该电量进行测量,“显示装置”把测量结果显示出来。“测量电路”和“显示装置”的功能就是实现电量的测量,电量检测仪表就是由这



图 1-3-1 非电量电测仪表的基本组成

两部分组成的,人们习惯把这两部分总称为“仪表电路”。由于无论电量检测仪表和非电量检测仪表都必须有实现电量测量的“仪表电路”,因此“电量测量技术”也称为“仪表共性技术”。

目前,国内常规(常用)的检测仪表按照“传感器”后接“仪表电路”的不同,可分为模拟式、数字式和智能式三种基本类型。

同一类型的各种非电量检测仪表的用途、名称型号、性能尽管各不相同,但差别仅在于仪表的前端即使用的传感器和测量方法不同,传感器以后的仪表部分却是基本上相同的。

检测仪表是进行非电量测量的手段和工具。由图 1-3-1 可见,传感器只不过是检测仪表的一部分,而绝非全部。因此光有传感器知识还不能使用和设计检测仪表。为了适应今后从事的非电量测量工作,我们不仅要学习传感器的原理和非电量的电测方法,也要学习三类“仪表电路”的共性技术。

1.3.2 检测仪表的基本类型

1. 普通模拟式检测仪表

普通模拟式检测仪表是最早出现的检测仪表(故称第一代仪表),也是结构最简单的检测仪表,基本上由模拟式传感器、模拟测量电路和模拟显示器三部分组成,如图 1-3-2 所示。在整个测量过程中,只是模拟量之间发生转换。测量结果用指针相对标尺的位置来表示。这种仪表因为结构简单、价格低廉、维修方便,目前还在广泛地应用。

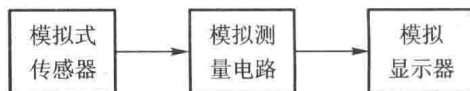


图 1-3-2 普通模拟式检测仪表简化框图

2. 普通数字式检测仪表

普通数字式检测仪表是在普通模拟式检测仪表的基础上发展起来的(故称第二代仪表),它采用数字显示器显示测量结果,按照显示数字产生的方式,普通数字式检测仪表又可分为模数转换式和脉冲计数式两种类型。

模数转换式检测仪表的组成框图如图 1-3-3(a)所示,它实际上是以模数转换器和数字显示器构成的数字电压表取代了图 1-3-2 中的模拟显示器。模拟测量电路把传感器输出的电量转换成直流电压信号,模数转换器把直流电压转换成数字量,最后由数字显示器显示测量结果。这种模数转换式的数字检测仪表,至今仍在不断投放市场。

在为数众多的传感器品种中,模拟式传感器仍占大多数,但也有一些数字式和准数字式传感器。数字式传感器输出的是数码或脉冲数,可直接与数字显示器相连接。准数字式传感器输出的是频率或时间信号,放大整形后,由计数器进行计数,计数结果由数字显示器显示出来。这种类型的脉冲计数式检测仪表的结构简图如图 1-3-3(b)所示。

3. 智能仪表

普通的模拟式和数字式检测仪表一般只能用于一个测量点的一种被测参数的测量。多个测量点或多种被测参数常常需要同时使用多个普通的模拟式或数字式检测仪表。

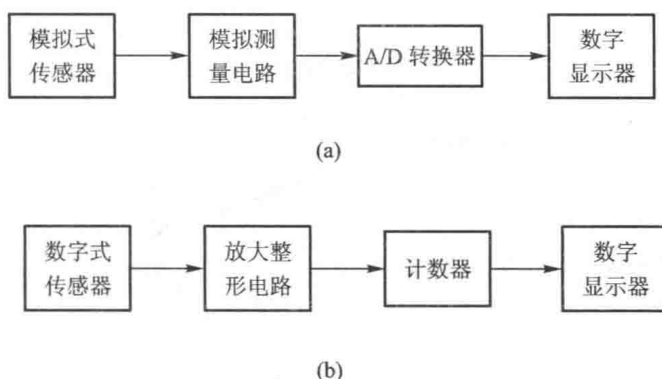


图 1-3-3 普通数字式检测仪表简化框图

随着生产的发展和技术的进步,越来越需要对多个测量点或多种被测参数进行巡回测量,甚至要求根据测量结果对生产过程进行控制。这种需求对普通的模拟式和数字式检测仪表来说是无能为力的。

微型计算机的引入使检测仪表发生了根本性的变革,产生了第三代检测仪表——微机化仪表亦称智能仪表,其简化框图如图 1-3-4 所示。

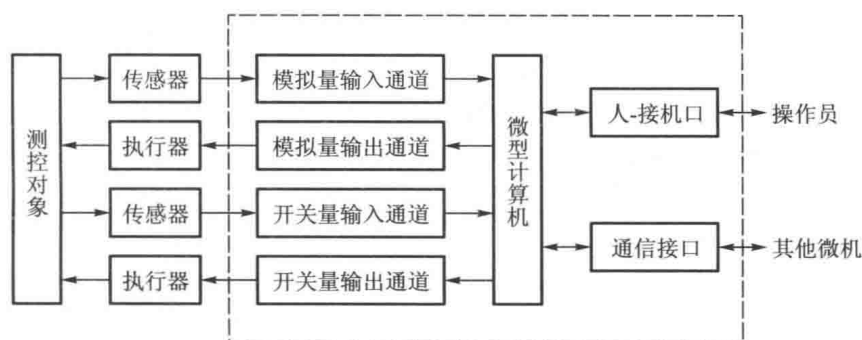


图 1-3-4 智能仪表简化框图

图 1-3-4 中左侧的输入、输出通道,是微机与测控对象的联结渠道,称之为“测控通道”。传感器将被测量(模拟量和开关量)转换为相应的电信号,分别通过模拟量输入通道和开关量输入通道,变换成微机可接受的数据和代码,微机对输入的数据和代码进行处理,发出控制命令和数据,分别通过模拟量输出通道和开关量输出通道变换成相应的控制信号,驱动执行器完成相应的控制。图 1-3-4 中右侧“人-机接口”是微型计算机与操作人员的联结渠道,称为“人-机通道”,最常用的有输入命令和数据的键盘和展示测量结果和运行状态的显示器、记录器、打印机以及报警器等。

图 1-3-4 中“通信接口”是图中的微型计算机与其他微型计算机的联系渠道,称为“相互通道”。多个智能仪表的各个微型计算机之间通过“通信接口”传送指令或数据。

由于计算机技术的引入,使微机化仪表具有了普通的模拟式和数字式检测仪表所没有的新特点和新功能。