



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

孙传友 翁惠辉 编著
施文康 主审



高等教育出版社

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

孙传友 翁惠辉 编著

施文康 主审

高等教育出版社

内容简介

本书是为了适应教学内容和课程体系改革的需要,将传感器原理、非电量电测量和检测仪表等课程的主要内容有机地整合为一门课程而编写的新教材。第1~3章介绍传感器、检测仪表以及误差分析和处理的基础知识;第4~7章从应用角度介绍传感器的基本原理和接口电路;第8~11章归纳和总结常见非电量电测方法及相应的敏感器;第12~14章分别介绍模拟式、数字式、微机化三类常规检测仪表的共性技术和总体设计;第15章简要介绍虚拟仪器、网络化仪器和网络化传感器、软测量技术以及多传感器数据融合等现代检测新技术。

本书内容具有“全而新”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。此外,还另有配套的电子教案、CAI课件、习题解答、实验指导等教学辅助资料。

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自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代检测技术及仪表/孙传友编著. —北京:高等教育出版社, 2006.5

ISBN 7-04-019525-9

I. 现... II. 孙... III. ①自动检测-高等学校-教材 ②检测仪表-高等学校-教材 IV. ①TP274②TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 054040 号

策划编辑	韩颖	责任编辑	胡纯	封面设计	于文燕	责任绘图	朱静
版式设计	王莹	责任校对	王效珍	责任印制	尤静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京东光印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 22.75
字 数 550 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006年5月第1版
印 次 2006年5月第1次印刷
定 价 28.40元

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 19525-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高等学校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高等学校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等学校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等学校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等学校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高等学校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高等学校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高等学校应用型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高等学校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高等学校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高等学校教学改革的不断深入,特别是随着教育部

“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高等学校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

为了适应教学内容和课程体系改革的需要,我们将传感器原理、非电量电测量和检测仪表等课程的主要内容有机地整合为一门课程——现代检测技术及仪表,并编写了试用讲义。近几年试用证明,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。这次公开出版,在原试用讲义的基础上,又做了进一步的修改和调整。希望本书公开出版能对教学内容和课程体系改革起抛砖引玉的作用。

国内现有的检测技术及仪表课程教材,虽然也分类介绍各种温度计、压力计、流量计、液位计等,但大多是只介绍这些仪表的电测方法和使用的传感器,并不介绍传感器后面的仪器部分。实际上,传感器只不过是检测仪表的一部分。本书从系统角度出发,全面介绍传感器原理、非电量电测法、非电量检测仪表的共性技术和设计方法以及三类常规检测仪表的总体设计和设计实例。因此本书比较适合于未单独开设“检测仪表”课的高等学校作为现代检测技术课的教材。

传统的传感器或检测技术教材大多只针对某一类专业领域的检测,例如只涉及温度、压力、物位、流量、成分等5种过程参数的检测,不太适应目前宽口径通识教育的需要。本教材除介绍这些过程参数的检测外,还介绍了位移、厚度、倾角、转速、振动、力、力矩、水分、湿度、密度、浓度和气体等参数的检测方法。因此,使用本教材,有利于拓宽学生的专业面,增强学生的适应性。

传统的传感器或检测技术教材,有的是单纯按传感器的原理分类进行讲解,有的则是单纯按被测非电量分类进行讲解。实际上单纯采用哪一种讲法都各有优缺点。本教材则将这两种讲法结合起来,先介绍传感器的工作原理,后介绍常见非电量电测法,使两种讲法优势互补、相得益彰。本教材不是像一些传感器教材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法的相应章节。这样编排既便于学生理解传感器的工作原理,又便于了解各类非电量电测法本身的基本理论和多种测量方法。

本教材不是像一些传感器教材讲完每一种传感器后就介绍这一种传感器的接口电路,而是把接口电路相近的传感器归并为一类,把这一类的各种传感器的原理介绍完后,再介绍这一类传感器的接口电路。这样编排既避免了不必要的重复,又能使学生举一反三、触类旁通。

传感器和检测仪表的种类和型号繁多。本教材注重归纳共性和总结规律,以理解和掌握技术原理取代对具体仪表结构的介绍,化“多而繁”为“少而简”,提高学生的学习兴趣,激发学生的创新思维。本教材第4~7章,把输出量或原理有共性的传感器归并成一类,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。第8~11章,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12~14章,把终端部分相同的常规检测仪表归并为一类,分别介绍了模拟式、数字式和微机化等三类常规检测仪表的共性技术和总体设计,既便于学生掌握各类常规检测仪表的共性技术,又便于学生理解检测仪表的发展方向和规律。

为了便于总结各种传感器和测量方法的规律,本教材把“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”。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,传感器以后的仪器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。学生只要学习和掌握了这 $(M+N+3)$ 种组成模块,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“全而新”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。此外,还另有配套的电子教案、CAI课件、习题解答、实验指导等教学辅助资料,可从本课程网站免费下载(网站网址是 <http://dxxy.yangtzeu.edu.cn/gcjs/>)。

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自学和参考。

本书承蒙教育部高等学校仪器仪表学科教学指导委员会副主任、上海交通大学博士生导师施文康教授主审,施教授提出了很多宝贵的意见和建议,特向他表示衷心感谢。本书在编写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。

本书第4、5、6、7章和第15章由翁惠辉副教授编写,其余章节和全书习题解答由孙传友教授编写,全书由孙传友主编统稿。配套的电子教案、CAI课件、实验指导由孙传友策划、吴爱平老师制作编写。研究生唐美斌也做了很多辅助性工作。

由于作者水平有限,缺点和错误在所难免,恳请各位专家和读者批评指正。

编著者

2005年12月

目 录

第1章 绪论	1	计值	29
1.1 检测技术及仪表的地位与作用	1	3.2.3 测量结果的置信度与表示方法 ...	31
1.1.1 检测仪表的地位与作用	1	3.3 系统误差的处理	35
1.1.2 检测技术是仪器仪表的技术基础	2	3.3.1 系统误差的分类	35
1.2 传感器概述	3	3.3.2 判断系统误差的方法	36
1.2.1 传感器的基本概念	3	3.3.3 系统误差的消除方法	37
1.2.2 传感器的分类和命名法	4	3.4 粗大误差的处理	42
1.3 检测仪表与系统概述	5	3.4.1 粗大误差的判别	42
1.3.1 检测仪表与系统的基本组成	5	3.4.2 拉依达准则	42
1.3.2 常规检测仪表与系统的基本类型	6	3.4.3 格鲁布斯准则	43
1.3.3 新型仪器仪表的发展趋势	8	思考题与习题	44
思考题与习题	9	第4章 阻抗型传感器	45
第2章 检测系统的基本特性	10	4.1 电阻式传感器	45
2.1 静态特性及性能指标	10	4.1.1 电位器式传感器	45
2.1.1 静态特性	10	4.1.2 应变式传感器和压阻式传感器 ...	47
2.1.2 静态性能指标	10	4.1.3 热电阻和热敏电阻	52
2.2 动态特性及性能指标	12	4.1.4 气敏电阻	56
2.2.1 传递函数	13	4.1.5 湿敏电阻	57
2.2.2 阶跃响应和时域动态性能指标	16	4.1.6 电阻传感器接口电路	59
2.2.3 正弦响应和频域动态性能指标	19	4.2 电容式传感器	65
2.2.4 无失真检测条件	21	4.2.1 基本原理与结构类型	65
思考题与习题	22	4.2.2 输入-输出特性	66
第3章 误差分析与数据处理基础	23	4.2.3 等效电路分析	68
3.1 误差的概念与分类	23	4.2.4 接口电路	69
3.1.1 测量误差的概念及表达方式	23	4.3 电感式传感器	73
3.1.2 测量误差的分类	25	4.3.1 自感式传感器	73
3.2 随机误差的处理	27	4.3.2 互感式传感器(差动变压器)	79
3.2.1 随机误差的概率分布	27	4.3.3 电涡流式传感器	83
3.2.2 被测量真值和测量方差的估		思考题与习题	89
		第5章 电压型传感器	91
		5.1 磁电式传感器	91
		5.1.1 基本原理和组成	91
		5.1.2 结构类型	91

5.1.3 接口电路	93	类型	152
5.2 压电式传感器	93	7.2 CCD 图像传感器	154
5.2.1 压电效应及其表达式	93	7.2.1 CCD 的工作原理	155
5.2.2 压电材料	96	7.2.2 CCD 图像传感器的结构	157
5.2.3 压电元件	99	7.3 红外传感器	158
5.2.4 接口电路	101	7.3.1 红外线及其特性	158
5.3 热电偶传感器	103	7.3.2 红外探测器的类型	159
5.3.1 热电效应	103	7.3.3 热释电红外探测器	160
5.3.2 热电偶的材料、型号及结构	107	7.4 超声波与核辐射传感器	162
5.3.3 热电偶测温电路	108	7.4.1 超声波传感器	162
5.4 光电式传感器	111	7.4.2 核辐射传感器	164
5.4.1 光电器件	111	7.5 半导体集成传感器	167
5.4.2 光电器件的基本特性	115	7.5.1 集成霍尔传感器	167
5.4.3 光电式传感器的基本组成和 类型	120	7.5.2 集成湿度、压力、加速度传感器	168
5.5 霍尔传感器	122	7.5.3 集成温度传感器	170
5.5.1 霍尔效应	122	7.6 传感器的发展趋势	172
5.5.2 霍尔传感器的组成与基本特性	123	思考题与习题	173
5.5.3 霍尔传感器的应用	125	第 8 章 几何量的电测法	175
5.5.4 测量误差及其补偿办法	127	8.1 位移的电测法	175
思考题与习题	131	8.1.1 位移电测法的分类	175
第 6 章 数字式传感器	132	8.1.2 位移的间接电测法	175
6.1 编码器	132	8.2 倾角的电测法	178
6.1.1 直接编码器	132	8.2.1 摆锤式	178
6.1.2 增量编码器	135	8.2.2 液体摆式	180
6.2 光栅	137	8.2.3 气体摆式	181
6.2.1 光栅的结构和基本原理	137	8.3 厚度的电测法	181
6.2.2 光栅辨向原理与细分技术	139	8.3.1 电感式和电涡流式	181
6.3 频率式传感器	142	8.3.2 电容式	182
6.3.1 振弦式传感器	142	8.3.3 核辐射式和超声波式	184
6.3.2 振筒式传感器	145	8.4 物(液)位的电测法	185
6.3.3 振膜式和振梁式传感器	147	8.4.1 超声波法	185
6.3.4 石英晶体谐振式传感器	148	8.4.2 浮力法	187
思考题与习题	149	8.4.3 差压法	187
第 7 章 新型传感器	150	8.4.4 电容法	189
7.1 光纤传感器	150	思考题与习题	189
7.1.1 光导纤维的结构和传光原理	150	第 9 章 机械量的电测法	191
7.1.2 光纤传感器的基本原理和		9.1 转速的电测法	191
		9.1.1 模拟式电测法	191

9.1.2 计数式电测法	193	11.2 密度和浓度的电测法	251
9.2 振动的电测法	197	11.2.1 密度的电测法	251
9.2.1 相对振动传感器与绝对振动敏 感器	198	11.2.2 浓度的电测法	253
9.2.2 绝对振动电测法	201	11.3 气体分析与检测	254
9.3 力与荷重的电测法	208	11.3.1 气体分析	254
9.3.1 力敏传感器	208	11.3.2 实用气体检测器	257
9.3.2 力的间接电测法	210	思考题与习题	259
9.3.3 荷重传感器与电子秤	212	第 12 章 模拟式检测仪表的设计及 实例	261
9.4 力矩的电测法	214	12.1 “表头”的原理与刻度	261
9.4.1 扭轴(扭矩传感器)	214	12.1.1 “表头”的原理	261
9.4.2 力矩的扭轴式电测法	215	12.1.2 “表头”的刻度	263
思考题与习题	216	12.2 调零、调满度与量程切换	265
第 10 章 热工量的电测法	218	12.2.1 常见的调零电路	265
10.1 压力与差压的电测法	218	12.2.2 常见的调满度电路	267
10.1.1 压力的概念、单位和测量方法 ..	218	12.2.3 常见的量程切换电路	268
10.1.2 压力敏传感器	219	12.3 模拟非线性校正	269
10.1.3 压力的电测法	221	12.3.1 非线性校正的数学原理	269
10.1.4 差压的电测法	226	12.3.2 非线性校正的实现方法	271
10.2 温度的电测法	227	12.4 环境及温度误差校正	272
10.2.1 温度的概念、单位和测量方法 ..	227	12.4.1 环境及温度因素对测量的影响 ..	272
10.2.2 接触式测温法	228	12.4.2 环境及温度误差的硬件校正法 ..	273
10.2.3 温度和温度差的电测法	229	12.5 模拟式仪表实例	276
10.2.4 非接触式测温法	235	12.5.1 DDZ-III 型仪表简介	276
10.3 流量的电测法	237	12.5.2 MF107 型万用表剖析	279
10.3.1 流量的概念	237	思考题与习题	285
10.3.2 流量-转速转换法	238	第 13 章 数字式检测仪表的设计及 实例	286
10.3.3 流量-差压、力、位移转换法	240	13.1 数字“表头”电路	286
10.3.4 流量-频率转换法	242	13.1.1 数字显示器	286
10.3.5 流量-温度转换法	243	13.1.2 A/D 转换式仪表的“表头” 电路	288
10.3.6 非接触式流量测量法	244	13.1.3 脉冲计数式仪表的“表头” 电路	290
思考题与习题	246	13.2 数字式仪表的标度变换	292
第 11 章 成分与含量的电测法	248	13.2.1 A/D 转换式仪表的标度变换 ..	292
11.1 水分和湿度的电测法	248	13.2.2 脉冲计数式仪表的标度变换 ..	293
11.1.1 水分和湿度的定义及表示 方法	248	13.3 数字式仪表零位调整与量程切换 ..	297
11.1.2 固体水分的电测法	248		
11.1.3 气体湿度的电测法	249		

13.3.1 数字式仪表的零位调整	297	14.5.2 插值法	326
13.3.2 数字式仪表的量程切换	298	14.5.3 拟合法	327
13.4 数字式仪表的非线性校正	300	14.6 温度误差的软件校正法	328
13.5 数字式检测仪表设计实例	301	14.7 软件结构及实例	330
13.5.1 数字式检测仪表的组成方案 ...	301	14.7.1 软件结构	330
13.5.2 数字式转速测量仪的设计	301	14.7.2 实例——智能定量称量电子秤 ...	331
13.5.3 数字式扭矩测量仪的设计	302	思考题与习题	334
思考题与习题	305	第 15 章 现代检测新技术	335
第 14 章 微机化检测仪表的设计及		15.1 虚拟仪器	335
实例	306	15.1.1 虚拟仪器的概念	335
14.1 主机和人-机接口	306	15.1.2 虚拟仪器的组成特点	336
14.1.1 基于单片机的主机电路	306	15.1.3 虚拟仪器的体系结构	337
14.1.2 显示器接口	307	15.2 网络化仪器和网络化传感器	339
14.1.3 键盘原理与接口	308	15.2.1 网络化仪器的概念	339
14.2 测量通道的总体设计	310	15.2.2 基于现场总线技术的网络化 测控系统	340
14.2.1 测量通道的基本组成与类型 ...	310	15.2.3 面向 Internet 的网络测控 系统	341
14.2.2 传感器的选用	310	15.2.4 网络化传感器	342
14.2.3 信号调理电路的参数设计和 选择	312	15.3 软测量技术	342
14.2.4 采集电路组成模块和方案的 选择	315	15.3.1 软测量技术的概念	342
14.2.5 测量通道与微机的接口	319	15.3.2 软测量技术的实现方法	343
14.3 量程自动切换与超限自动报警	321	15.3.3 软测量技术应用举例	344
14.3.1 量程自动切换	321	15.4 多传感器数据融合	345
14.3.2 超限自动报警	321	15.4.1 多传感器数据融合的概念	345
14.4 标度变换	323	15.4.2 基本原理、过程及关键技术	345
14.4.1 线性测量通道的标度变换	323	15.4.3 结构及功能模型	347
14.4.2 非线性测量通道的标度变换 ...	324	思考题与习题	348
14.5 非线性校正软件算法	325	参考文献	349
14.5.1 查表法	325		

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

测试是人们借助专门工具,对研究对象进行测量和试验,取得定量信息和定性信息的过程。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。

测试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的试验和测量,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、突破是以测试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。这些事实都说明了测试仪器在科学研究中的重要作用。

检测仪器或系统在工作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。

目前,检测仪表或系统广泛应用于炼油、化工、冶金、电力、电子、轻工、纺织等行业。据悉,现代化宝钢的技术装备投资, $\frac{1}{3}$ 经费用于购置仪器和自控系统。即使原来认为可以土法生产的制酒工业,今天也需通过精密的仪器仪表严格控制温度流程才能创出名牌。

据美国国家标准技术研究院(NIST)的统计,美国为了质量认证和控制、自动化及流程分析,每天完成 2.5 亿个检测,占国民生产总值的 3.5%。要完成这些检测,需要大量的、种类繁多的分析和检测仪器。仪器与测试技术已是当代促进生产的一个主流环节。美国商业部国家标准局(NBS)于 20 世纪 90 年代初评估仪器仪表工业对美国国民经济总产值的影响作用所提出的调查报告中称:仪器仪表工业总产值只占工业总产值的 4%,但它对国民经济的影响达到 66%。

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。

仪器在产品质量评估及计算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。

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息,作为智能行动的依据。

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。

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。从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。

1.1.2 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,因为每当科学技术要进一步,就要求能提供新的测试手段,这样就促进了仪器仪表的发展;而科学技术的成果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,电测法具有无可比拟的优越性:

(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——非电量的电测量。

现代的检测工作包括电量检测和非电量检测两方面,而非电量的电测量涉及两个基本问题:一是怎样用传感器将非电量转换为电量,二是怎样对电量进行测量。因此非电量的电测量同传感器技术、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:电量测量技术、传感器技术及非电量电测技术三个组成部分。

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,它们共同的理论基础和技术基础实质就是“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“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,那么敏感器则可称做预变换器。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。

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利用的。例如,电阻式应变传感器把应变转换为电阻变化,电阻虽然属电量,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、传输或处理的可用电信号。接在传感器后面具有这种功能的电路,称之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)。

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\[型\], $1\sim 3\,500\text{ kPa}$;

例 2:传感器,加速度,压电式, $\pm 20g$ 。

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: $1\sim 3\,500\text{ kPa}$ 放大\[型\]应变\[计\]式绝压传感器;

例 2: $\pm 20g$ 压电式加速度传感器。

1.3 检测仪表与系统概述

1.3.1 检测仪表与系统的基本组成

依据检测对象是电量还是非电量,检测系统可分为电量检测系统和非电量检测系统两大类。由于非电量的种类比电量多得多,因此非电量检测系统比电量检测系统更为常见,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,电量检测系统的前端加上传感器即构成非电量检测系统,所以电量检测系统大多已被包含在非电量检测系统中。因此,为了避免重复,本书只研究非电量检测仪表和系统。

在现代的自动测量系统中,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系统,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。



图 1-3-1 非电量电测系统的组成

传感器(transducer)是一个把被测的非电量转换成电量的装置,因此是一种获得信息的手段,它在非电量电测系统中占有重要的位置。它获得信息的正确与否,关系到整个测量系统的精度,如果传感器的误差很大,后面的测量电路、显示装置等的精度再高也将难以提高测量系统的精度。

测量电路的作用是把传感器的输出变量变成电压或电流信号,使信号能在显示仪表上指示或在记录仪中记录。测量电路的种类常由传感器的类型而定,如电阻式传感器需采用一个电桥电路把电阻值变换成电流或电压输出,所以它属于信号的转换部分。由于测量电路的输出信号一般比较小,为了能驱动显示仪表工作或记录机构运动,常常要将信号加以放大,所以在测量电路中一般还带有放大器。

测量的目的是使人们了解要测的数值,所以必须有显示装置,这就是信息的显示。显示的方式,目前常用的有三类:模拟显示、数字显示和图像显示。模拟显示就是利用指针对标尺的相对位置来表示读数,数字显示实际上是一只专用的数字电压表、数字电流表或数字频率计。图像显示是用屏幕显示读数或者被测参数变化的曲线。在测量过程中,有时不仅要读出被测参数的数值,而且还要了解它的变化过程,特别是动态过程的变化,根本无法用显示仪表指示,那么就要把信号送至记录仪自动记录下来,现在常用的自动记录仪有笔式记录仪(如电平记录仪, $x-y$ 函数记录仪、电子电位差计、光线示波器等)、磁带记录仪、电传打字机等。记录仪起记录信号的作用,在信息流过程中,它仍然属于信息的显示。

检测仪表和系统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,不仅要学习传感器的原理,也要学习非电量检测仪表的共性技术和设计方法。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即使用的传感器和测量方法不同,传感器以后的仪器部分却是基本上相同的。本教材第4~7章介绍传感器的基本原理,第8~11章介绍常见非电量的电测方法,第12~14章介绍传感器以后的仪器部分,主要是常规(常用)检测仪表的共性技术和总体设计。在此基础上第15章简要介绍现代检测新技术。学习和掌握这些知识,必将为今后从事非电量测量工作打下完整和扎实的基础。

1.3.2 常规检测仪表与系统的基本类型

目前,国内常规(常用)的检测仪表与系统按照终端部分的不同,可分为以下三种类型。

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,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