

21 世纪电子信息工程系列教材

传感技术与实验

——传感器件外形、标定与实验

张洪润 张亚凡 主编



- 紧跟技术发展
- 内容系统全面
- 精选应用实例
- 提升综合能力



清华大学出版社

► 新世纪电子信息工程系列教材

传感技术与实验

——传感器件外形、标定与实验

张洪润 张亚凡 主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是根据 21 世纪高等院校课程教学大纲的要求, 结合现代电子技术、计算机技术发展的最新趋势, 从实用角度出发, 编写的一本独具特色的实验教材。

全书分为上、下两篇, 上篇包括传感器的精确度评定、标定方法、信号分类及特征、选用原则、国内外常用传感器实物外形及参数; 下篇包括实验规则、常用仪器的使用方法及 51 个基础实验。

本书内容全面, 通俗易懂, 注重实践和培养学生的动手能力, 可用作高等院校“传感技术与应用”课程的配套实验教材, 也可作为科研人员、工程技术人员及维修人员的参考用书。

版权所有, 翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术, 用户可通过在图案表面涂抹清水, 图案消失, 水干后图案复现; 或将表面膜揭下, 放在白纸上用彩笔涂抹, 图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

传感技术与实验/张洪润, 张亚凡主编.—北京: 清华大学出版社, 2005

ISBN 7-302-11220-7

I. 传… II. ①张… ②张… III. 传感器—高等学校—教材 IV.TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 064324 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 夏非彼

文稿编辑: 潘秀燕

封面设计: 林陶

版式设计: 科海

印 刷 者: 北京科普瑞印刷有限责任公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.25 字数: 517 千字

版 次: 2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11220-7/TN·259

印 数: 1~4000

定 价: 29.80 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、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) 82896445

丛书序

随着现代科学技术的不断发展,世界正面临一场大规模的新的工业革命(又称信息革命)。特别是我国加入WTO(世界贸易组织)后,各行各业都经历着深刻的变革,人们对于信息资源的需要也日益增长。对于信息技术来说,其关键在于信息采集和信息处理两个环节。因此,在现代的信息技术教程中,被人们誉为“电子技术的五官”的传感器技术和被称为“电子技术的脑”的计算机技术就显得尤为重要了。简单地说,电子技术、传感技术、计算机技术(包括单片计算机技术)已经成为21世纪最常用、最基础、最实用的技术。

除了对于理论知识的学习外,实践能力也成为一项考核信息技术从业人员的重要指标,能够实际动手解决科研难题才是最终目的,于是,作为信息技术培训基地的高等院校进行教改势在必行。但是目前能满足实践操作方面的教材相当缺乏,已有教材涉及到的内容大多比较陈旧。为此,我们组织了大量有教学、科研经验的专家、教授,参照国家教育部“高等院校基础课程教学大纲”的要求,从“能够解决实际问题”的角度出发,精心编写了这套“新世纪电子信息工程系列教材”,首批推出以下6本:

《电子线路与电子技术》

《电子线路及应用》

《单片机原理及应用》

《传感技术与应用教程》

《传感技术与实验——传感器件外形、标定与实验》

《十六位单片微处理器原理及应用(凌阳SPCE061A)》

《电子线路与电子技术》一书包含模拟电路与数字电路两部分。该书主要讲解电子线路与电子技术中的基本内容,包括半导体二极管、三极管,基本放大电路,模拟集成电路,晶闸管(可控硅)电路,脉冲数字电路及逻辑时序电路,半导体存储器及信号转换处理电路等。讲解由浅入深,并且配合了大量的实例,另外每章附有小结、习题,书末附有习题参考答案,非常适合在校大学生和技术人员使用。

《电子线路及应用》作为《电子线路与电子技术》的配套教材,着重介绍了电子线路中的各种元器件及电子技术综合实践知识,更加突出了电子技术实践性强的特点。它分上、下两篇,上篇介绍了电阻、电容、电感、晶体管、电声器件、数码管、转换器、继电器等各种常用电子元器件的外形特征、选用方法、使用注意事项。下篇主要介绍模拟电路与数字电路的25个实验,其中包括19个基本技能培训实验,6个综合技能培训实验。

《单片机原理及应用》介绍了单片机结构原理、单片机指令系统及程序设计、单片机中断、单片机串行接口、定时器/计数器、A/D和D/A转换接口、单片机系统的工程设计实

例，计算机系统的扩展技术及单片机C语言程序设计等内容，非常注重实用性。

《传感技术与应用教程》主要介绍了传感技术的作用、原理、结构特征及使用方法，其内容包括光电式传感器、数字式传感器、热电式传感器、电阻电感电容式传感器、霍尔传感器、生物传感器、超导传感器、智能传感器等。

《传感技术与实验——传感器件外形、标定与实验》作为《传感技术与应用教程》的配套教材，分为上、下两篇。上篇主要介绍传感器的精确度评定、标定方法、信号分类和各种传感器的外形特征等。下篇本着重视实践操作的思路，着重介绍了传感器实验仪器的使用方法及51个传感器实验，是每一位立志在传感器研究领域发展的人士不可或缺的宝贵资料。

《十六位单片微处理器原理及应用（凌阳SPCE061A）》一书结合台湾凌阳公司2001年推出的新一代单片机SPCE061A，全面系统地介绍了16位微处理器的原理和应用。主要包括：SPCE061A 16位嵌入式微控制器的工作原理、内部结构、指令系统、开发工具，列举了大量应用实例，并且介绍了嵌入式操作系统。

正是由于采用了新的教育理念，本套教材严格遵循以下特点：

- 内容新颖、结构严谨、系统全面、语言精炼。
- 图文并茂、讲述深入浅出、通俗易懂、注重理论与实践的紧密结合。
- 详尽介绍了其他书籍中涉及不到的技术细节、技术关键，实用性强。

所以，本套教材具有非常广泛的应用范围。它不仅适合作为高等院校电子技术专业、电子信息专业、仪器仪表专业、应用物理专业、机械制造专业、测控计量专业、工业自动化专业、自动控制专业、生物医学专业、微电子专业、机电一体化专业、计算机应用专业等的教学参考书，同时也是科学研究人员、工程技术人员、维护修理人员自学参考的重要书籍。

本套教材在编写过程中，得到了四川大学、中国科技大学、南京大学、清华大学、重庆大学、北京大学、四川师范大学、复旦大学、浙江大学、南开大学、西南交通大学、电子科技大学、成都理工大学、北京科技大学、贵州教育学院等众多老师的支持，他们客观地提出了许多宝贵意见；北京科海电子出版社的夏非彼、陈跃琴老师也给予了大力支持和帮助；特别要感谢的是高洁院士，他在百忙之中审定了本套教材并做出特别推荐，他认为“这套教材内容实用、叙述清晰、深入浅出、体系完整，特别注重对学生动手能力的培养”。在此谨向参与本书编写的所有人员表示衷心感谢。

新世纪，新教材，新尝试。由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在不足和错误之处，敬请广大读者批评、指正。

编委会

2005年4月

前 言

当今时代，是“信息时代”。计算机被称为“大脑”，传感器被称为“五官”。信息的获取和处理都离不开“大脑”和“五官”。作为提供信息的传感技术及传感器倍受重视，进入到了一个飞速发展的新阶段。

由于传感技术的空前发展，其应用领域不断深入和广泛，人们渴求这方面的知识愈来愈迫切。虽然目前已有不少有关传感器方面的书籍，但仍不能满足当前人们的实际需求。为此，我们应高等院校师生及广大科研工程技术人员的要求，组织有教学、科研经验的专家、教授，编写了这本与《传感技术与应用教程》配套的《传感技术与实验——传感器器件外形、标定与实验》教材。

全书分为上、下两篇，上篇包括传感器的精确度评定、标定方法、信号分类及特征、选用原则、国内外常用传感器实物外形及参数；下篇包括实验规则、常用仪器的使用方法及 51 个基础实验。最后给出 3 个附录，附录 A 中是微机数据采集系统软件的使用说明，附录 B 讲述典型传感器的实验仪及实验模块实物外形与特性，附录 C 则给出传感器信号处理电路。

本书可作为电子信息、物理、仪器仪表、工业自动化、自动控制、机电一体化、计算机应用等专业的大学本科生及研究生的必修课教材。建议讲授 50~70 学时。

本书系统、全面、新颖、实用、图文并茂，注重实践和培养学生的动手能力，讲述深入浅出、通俗易懂。除可作高等院校教材外，也可作为科学研究人员、工程技术人员、维护修理人员自学参考书籍。

本书在编写过程中，得到复旦大学博士、浙江大学和南开大学博士后、四川师范大学信息科学学院院长汪明义教授以及北京科海电子出版社总编夏非彼的大力支持和帮助，在此，一并表示衷心的感谢。

本书由张洪润、张亚凡担任主编，并负责全书的统稿和审校。参加编写的人员有吴建平、罗好、冉鸣、王德超、张恒汝、肖兰、刘世平、秦枫、周棟松、杨洁、阳玺、杨春、邵发明、孙钢、吴佳惠等。

限于水平有限，书中难免存在不足和差错之处，恳请广大读者批评、指正。

四川大学 张洪润
四川师范大学

目 录

上篇 传感器实验基础知识 (标定方法、外形特征、选择使用注意事项)

第 1 章 传感器的精确度评定	3
1.1 传感器的误差分析	3
1.1.1 传感器误差的表示方法	3
1.1.2 传感器产生误差的基本因素	3
1.1.3 传感器的系统误差	4
1.1.4 传感器的随机误差	5
1.2 传感器精确度的评定方法	10
1.2.1 传感器误差合成的基本方法	10
1.2.2 传感器误差合成(精确度评定)的应用举例	12
第 2 章 传感器的标定方法	14
2.1 单独标定法	14
2.2 组合标定法	15
2.3 标定工作线的选择方法	15
2.3.1 平均斜率法	15
2.3.2 最小二乘法	16
2.4 典型实例	17
2.4.1 重力场法	17
2.4.2 转台式重力场标定法	18
2.4.3 比较法	18
第 3 章 传感器的信号分类及特征	22
3.1 传感器信号的分类	22
3.1.1 按变化规律分类	22
3.1.2 按时间变量取值分类	23
3.2 传感器信号的描述	24

3.3 传感器周期信号的特征	24
3.4 传感器非周期信号的特征	28
第4章 传感器的选用原则	31
4.1 灵敏度	31
4.2 线性范围	31
4.3 稳定性	32
4.4 快速性	32
4.5 精确度	32
4.6 测量方式	33
第5章 国内外常用传感器实物外形及参数	34
5.1 光电式传感器	34
5.1.1 光敏二极管与光敏三极管系列	36
5.1.2 光电池系列	49
5.1.3 光电倍增管系列	49
5.1.4 光电耦合器系列	49
5.1.5 光电开关系列	56
5.1.6 光电管系列	65
5.1.7 LED 数码显示管系列	67
5.1.8 其他类型光电传感器系列	70
5.2 光纤传感器	72
5.2.1 FM 型微型光纤传感器	74
5.2.2 FE7B-F/C-F 小型光纤式光电开关传感器	75
5.2.3 GGO102 光纤型 60kV 高压模拟传输光耦合器	75
5.2.4 E32 型光纤传感器件	76
5.3 CCD 图像传感器	83
5.3.1 TCD 102C-1 型 CCD 线性图像传感器	83
5.3.2 TCD 201C 型 CCD 面积图像传感器	84
5.3.3 CCD 型图像传感器	84
5.3.4 1/3"CCD WV-CP410/412/414 型彩色摄像机	86
5.3.5 1/2"WV-CL350/352/354 型数字处理彩色摄像机	86
5.3.6 1/3"CCD WV-CP210/212/214 型彩色摄像机	88
5.3.7 1/3"CCD WV-CP100E 型彩色摄像机	89
5.3.8 1/3"CCD WV-CF20 型彩色摄像机	90
5.3.9 1/2"CCD WV-CL700/702/704 型彩色摄像机	91

5.3.10	1/3"CCD WV-BP310/312/314 型黑白摄像机	93
5.3.11	1/3"CCD WV-BP500/504 型黑白摄像机	94
5.3.12	1/3"CCD WV-BP100/102/104 型黑白摄像机	95
5.3.13	1/3"CCD WV-BP100/114 型黑白摄像机	96
5.3.14	1/2"CCD WV-BL600/602/604 型黑白摄像机	97
5.3.15	集成监视系统 WV-CS500	98
5.3.16	集成监视系统 WV-CS300	99
5.3.17	集成监视系统 WV-BS200	101
5.3.18	低光 CCD 摄像机	102
5.3.19	工业彩色 CCD GP-US502 型微型摄像机	103
5.3.20	工业彩色 CCD WV-KS152 型和 GP-KS252/GP-KS252S 型微型摄像机	104
5.4	红外传感器	108
5.4.1	OWL-1 型主动式红外入侵探测器	108
5.4.2	IR-LPF650 红外滤光片	108
5.4.3	无源红外线探测器	108
5.4.4	IRA-EOOIS 型红外线传感器	109
5.4.5	HW 系列红外接收器	110
5.4.6	钽酸锂和铌酸锶钡红外探测器	110
5.4.7	红外线传感器	111
5.4.8	NJP 型非接触温度测量装置	111
5.4.9	红外线温度传感器	112
5.4.10	RD 型红外线辐射温度检测器	113
5.4.11	EFP 型热释电式红外线传感器	114
5.4.12	TTS 型热释电非接触式温度传感器	115
5.4.13	NJF 红外线热电温度传感器	116
5.4.14	HRD-1 型钽酸锂热电探测器	116
5.4.15	NJL9102F 型热电堆	117
5.5	颜色传感器	118
5.5.1	色调传感器	118
5.5.2	E3S-GS/VS 型颜色传感器	118
5.6	码盘式传感器	121
5.6.1	型号规格标注含义及分类特点	122
5.6.2	增量式编码器系列	123
5.6.3	编码器的连接线路	134
5.6.4	其他类型的编码器	135
5.7	压阻式传感器	139

5.7.1 压阻式压力传感器系列·····	140
5.7.2 压阻式加速度传感器系列·····	143
5.8 热敏传感器·····	144
5.9 电容式传感器·····	159
5.10 磁电感应式传感器·····	166
5.11 霍尔传感器·····	172
5.12 电阻应变式传感器·····	178
5.12.1 国内电阻应变式传感器展示·····	179
5.12.2 国外电阻应变式传感器展示·····	193
5.13 半导体式传感器·····	197
5.14 气敏传感器·····	199
5.15 生物传感器·····	205

下篇 传感器基础实验

第6章 实验必读(实验规则)·····	213
6.1 传感器实验须知·····	213
6.1.1 实验预习·····	213
6.1.2 电源·····	213
6.1.3 实验线路·····	213
6.1.4 仪器仪表·····	213
6.1.5 对实验中异常现象的处理·····	214
6.1.6 实验结束整理·····	214
6.2 传感器实验报告书写要点·····	214
第7章 常用仪器的正确使用·····	216
7.1 万用表·····	216
7.1.1 万用表的性能·····	216
7.1.2 万用表的类型·····	216
7.1.3 万用表的正确使用方法·····	217
7.2 示波器·····	218
7.2.1 示波器的说明·····	218
7.2.2 示波器的使用·····	219
7.2.3 使用注意事项·····	221
7.3 函数信号发生器·····	223
7.3.1 函数信号发生器的性能指标·····	224

7.3.2 面板主要机构说明·····	224
7.3.3 使用方法·····	224
7.4 传感器系统实验仪 ·····	225
7.4.1 传感器系统实验仪的结构原理·····	225
7.4.2 传感器系统实验仪的面板说明·····	226
7.4.3 传感器系统实验仪携带的传感器件和电路的主要特性参数·····	226
7.4.4 传感器系统实验仪的使用方法及注意事项·····	232
第 8 章 传感器实验 ·····	234
实验 1 光敏电阻的特性测试 ·····	234
实验 2 光敏二极管的特性测试 ·····	236
实验 3 光敏三极管的特性测试 ·····	238
实验 4 硅光电池的特性测试 ·····	241
实验 5 光电开关的转速测量实验 ·····	244
实验 6 红外光热释电传感器特性 ·····	245
实验 7 光纤位移传感器静态实验 ·····	247
实验 8 光纤位移传感器的动态实验(一) ·····	248
实验 9 光纤位移传感器的动态实验(二) ·····	250
实验 10 PN 结温度传感器测温实验 ·····	251
实验 11 热敏电阻演示实验 ·····	252
实验 12 热电偶原理及分度表的应用 ·····	253
实验 13 半导体扩散硅压阻式压力传感器实验 ·····	255
实验 14 金属箔式应变片性能 —— 单臂电桥(一) ·····	257
实验 15 金属箔式应变片性能 —— 单臂电桥(二) ·····	259
实验 16 金属箔式应变片单臂、半桥、全桥比较(一) ·····	260
实验 17 金属箔式应变片单臂、半桥、全桥比较(二) ·····	262
实验 18 金属箔式应变片的温度效应及补偿 ·····	263
实验 19 金属箔式应变片的温度影响 ·····	264
实验 20 移相器实验 ·····	265
实验 21 相敏检波器实验 ·····	266
实验 22 金属箔式应变片 —— 交流全桥(一) ·····	269
实验 23 金属箔式应变片 —— 交流全桥(二) ·····	270
实验 24 激励频率对交流全桥的影响 ·····	271
实验 25 交流全桥的应用 —— 振幅测量(一) ·····	272
实验 26 交流全桥的应用 —— 电子秤(一) ·····	273
实验 27 交流全桥的应用 —— 电子秤(二) ·····	274

实验 28	差动变压器(互感式)的性能	275
实验 29	差动变压器(互感式)零点残余电压的补偿	277
实验 30	差动变压器(互感式)的标定	278
实验 31	差动变压器(互感式)的应用 —— 振幅测量(二)	279
实验 32	差动变压器(互感式)的应用 —— 电子秤(三)	280
实验 33	差动螺管式(自感式)传感器的静态位移性能	281
实验 34	差动螺管式(自感式)传感器的振幅测量	282
实验 35	激励频率对差动螺管式传感器的影响	283
实验 36	电涡流式传感器的静态标定	285
实验 37	被测体材料对电涡流传感器特性的影响	286
实验 38	电涡流式传感器的应用 —— 振幅测量(三)	287
实验 39	电涡流式传感器的应用 —— 电子秤(四)	288
实验 40	霍尔式传感器的直流激励特性	289
实验 41	霍尔式传感器的应用 —— 电子秤(五)	290
实验 42	霍尔式传感器的交流激励特性	291
实验 43	霍尔式传感器的应用 —— 振幅测量(四)	292
实验 44	磁电式传感器的性能	293
实验 45	压电传感器的动态响应实验	294
实验 46	压电传感器的引线电容对电压放大器和电荷放大器的影响	295
实验 47	差动变面积式电容传感器的静态及动态特性	297
实验 48	气敏传感器(MQ3)实验	298
实验 49	湿敏传感器(RH)实验	300
实验 50	双平行梁的动态特性 —— 正弦稳态响应	301
实验 51	力平衡式传感器 —— 综合实验	302
附录 A	微机数据采集系统软件使用说明	304
附录 B	典型传感器实验仪及实验模块实物外形与特性	310
附录 C	传感器信号处理电路	323

上篇

传感器实验基础知识

(标定方法、外形特征、选择使用注意事项)

学习目的与要求

上篇为选学内容。通过对本篇的学习，了解获取信息的“五官”——传感器的精确度评定、标定方法，以及光电、光纤、CCD图像、红外、颜色、码盘、压阻、热敏、电容、磁电感应、霍尔、电阻应变、半导体、气敏、生物等常用传感器的外形特征，掌握这些常用传感器的选用方法及使用注意事项。

第 1 章 传感器的精确度评定

本章将较为详细地讲述如何对传感器进行精确度评定。

传感器的精确度可划分为若干等级,其等级(IT)数列可由下式代表:

$$IT = K \times 10^n \quad (1.1)$$

式中, K ——值为 1、(1.5)、2、(2.5)、3、5、(7),其中括号内数字建议不采用;

n ——正整数、负整数或零。

当知道传感器的精确度等级以后,就基本上确定了在测量时被测量可能出现误差的置信区域,这个置信区域的大小,有时也可看作传感器反映被测量的约定真值的程度。

1.1 传感器的误差分析

产生传感器工作特性的各项误差原因是多方面的,一般有设计、制造和工作条件影响等多种因素。因此要提高精确度就必须采取相应的措施和方法,以消除或减小各项误差值。同时,各项误差按特性可把它们归成两类:其一是系统误差,这是一种固定的,或服从某种规律的误差,它可以通过补偿调整或附加装置后加以消除。另一种叫随机误差,单次测量时,误差可大可小,符号可正可负,但多次测量平均值为“零”。

1.1.1 传感器误差的表示方法

给定传感器分项指标的误差极限数列也可按精确度等级划分方法式(1.1)准则进行,然后再用绝对误差、相对误差、引用误差等形式表示。

1.1.2 传感器产生误差的基本因素

传感器工作特性误差主要由基本特性误差和影响误差两种形式反映出来,从误差的特性来看,前者综合了传感器结构组合性能,后者则体现传感器的适应性能。

1. 传感器的基本特性误差

传感器的基本特性误差是由传感器的设计和生产原因造成的,它反映了设计方面的方法误差和结构工作原理有关的误差。在生产方面有零部件加工误差、装配误差和测量方法误差等。例如电阻应变式力传感器的弹性体,其材料总是存在着一定的非线性、滞后特性,在弹性体结构形状设计时,很难使感受应变的工作区域内形变一致,组成测量电路后必然存在一定的非线性,这就是在设计上的误差。在加工过程中产生的尺寸和形位误差,热处理后形成残余内应力,粘贴应变片未能满足连接性能、电气绝缘要求等,所以当组装测量时就产生了基本特性误差(应当指出,这仅是传感器产生该项误差的一部分,实际还需由具体结构

分析综合)。由上可知,基本特性误差是由于传感器本身质量不高的因素而产生的,只有排除或减小各项误差因素,才能提高其精确程度。

2. 传感器的影响误差

通常把来源于传感器的外部,可能改变传感器的基本工作特性的误差叫做影响误差,也可称为附加误差,例如一个传感器,其额定工作温度范围为 $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$,因其基本特性误差是在参比条件下确定的,当传感器工作在 $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 时,由于温度的改变导致一定的温度附加误差,这就是影响误差。

1.1.3 传感器的系统误差

1. 传感器系统误差的呈现类型

传感器系统误差的出现影响了传感器的精确度,出厂前应尽可能消除它。系统误差往往可以通过对传感器进行测量或用实验方法找到其存在的原因和基本规律,所以可采取相应的措施,减小或消除之。

传感器常见的和较为简单的系统误差有固定的、线性的和周期的几种类型,如图 1.1 所示。

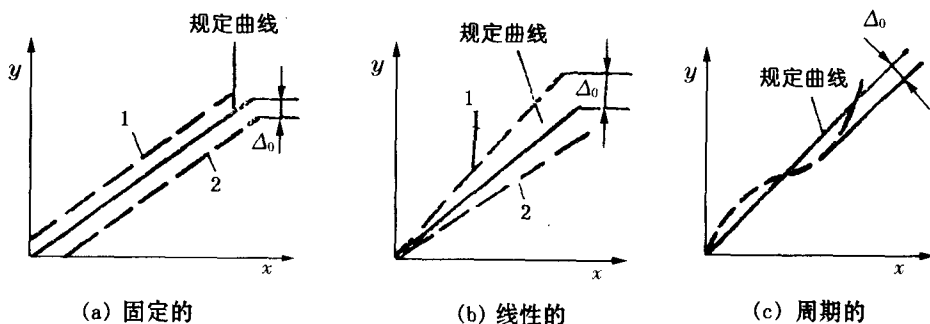


图 1.1 系统误差

(1)固定的。若传感器的实际特性曲线 1 或 2 与规定曲线比较相差一固定值 Δ_0 ,如图 1.1(a)所示, Δ_0 值可以是正值(在规定曲线上方)或负值(在规定曲线下方)。但在判断是否属于系统误差时,应注意出现的 Δ_0 要求保持同符号的条件,就是说对某一个传感器进行系统误差判断时,多次测量结果的 Δ_0 ,应基本上全是正值或全是负值,即呈现单向性,如果有微小变动,则说明还有随机误差的影响。这种基本上以恒值出现的系统误差有时也可称为零点误差。

(2)线性的。若传感器的实际特性曲线 1 或 2 与规定曲线比较相差如图 1.1(b)所示的关系,这时可称为线性的系统误差。如一个力传感器,随着载荷的增加,其输出信号值按线性规律下降或上升,这种呈现形式就属于线性的系统误差。 Δ_0 的判断规则可参照固定的系统误差方法进行。

(3)周期的。若传感器的实际特性曲线与规定的曲线比较, Δ_0 的符号有规律地交替变化,如图 1.1(c)所示,这时可认为传感器含有周期性的系统误差。例如,一个齿数为 n 的变磁通式测速传感器,假定其开齿每个分度为理想的,如果装配时将转动齿形磁轭的实际轴线

与规定的理想轴线产生偏心,则每回转一周(360°)就出现了周期性的系统误差,这可由其输出信号变化规律得知:工作在上半部时由于转动齿形磁轭与固定齿形磁轭之间相对磁隙减小,作用半径减小,使输出信号略有增大,而周期略短;工作在下半部时则使输出信号减小和周期增长。另外通过工作过程分析,还可知道这种周期的系统误差是按正弦规律变化的,于是就为补偿调整提供了依据。

以上介绍的仅为较单纯的类型,实际上传感器呈现的系统误差,一般多为曲线形式,所以在补偿调整前,先将测量或实验数据用列表表示法、图形表示法或方程表示法等方式,找出规律来,然后采取相应措施加以消除。

2. 传感器系统误差的消除方法

不论是产生于传感器结构内部的,还是来自外部影响引入的系统误差,均可用以下的途径使实际呈现的系统误差值得到改善和消除。

(1)工艺途径。利用经过时效处理(人工老化)的材料,选择相应的加工工艺,制作传感器的主要零部件或元器件,有时为了需要,在制成后可再经适当的稳定处理,使组成的传感器具有较稳定的工作性能。例如对传感器的工作线圈和弹性元件进行几个高温和低温的周期处理就属于该途径中的一种形式。

(2)防护隔离。采用静电屏蔽以提高抗外界电磁场干扰的能力;采用密封结构以隔离大气温度、湿度或有害介质的影响;加置减震缓冲装置减小机械干扰量的影响以及对局部附加恒温装置等。

(3)补偿修正。在传感器的结构系统或在测量电路中设置能自动消除或补偿调节系统误差的装置。例如,铜导体的电阻(常制作绕组、线圈、连接线使用)每当温度变化 10°C 时,电阻值也将变化4%,大多可用热敏电阻去自动补偿。永久磁铁的磁通密度每当温度增加 10°C 时,要减小0.2%的值,可采用具有随温度变化的磁阻的磁分流器,当温度波动时,使磁通基本恒定。经常采用差动电桥使电桥电路的两相邻臂上参数变化率相等来消除误差等。

1.1.4 传感器的随机误差

传感器的随机误差分析是以概率论为基础的,其基本概念在随机事件中,在大量重复试验或测量时,就其个别来说具有偶然性,但就其总体来说,则具有必然性即符合统计规律,这个事件出现的频率(百分比)总是在某个确定的常数附近摆动。例如,在相同的条件下重复射击时,枪弹命中点与靶心距离不超过2cm;在相同的条件下重复测量某零件直径的误差不大于0.02mm等。因而也可把传感器工作特性误差分为系统误差和随机误差两部分,如果系统误差在试验或测量过程中加以确定的话,则其余的测量值及其误差就是一个随机变量。

由于随机变量的分布规律是多种多样的,如有正态分布、均匀分布、二项分布、辛普森分布等等,但通常应用较广泛的是正态分布形式,在传感器误差综合上经常使用它,所以以下仅介绍该分布的主要特性,以建立模型化的数学概念和应用方法。

1. 正态分布特性

正态分布几何图形具有四个重要的基本特性。

(1)对称性。绝对值相等的正偏差与负偏差出现的概率相等,对称分布于几何中心的两侧。