



普通高等教育“十二五”规划教材



汽车类高端技能人才实用教材

传感器与物联网技术

◎ 魏虹 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十二五”规划教材
汽车类高端技能人才实用教材

传感器与物联网技术

魏虹 主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书内容包括传感器的基础知识、传感器的原理和应用、传感器信号的处理和物联网技术四个部分,此外还引入了在汽车中使用的传感器知识,加入了汽车传感器的技能实训内容。第一部分介绍传感器的基本概念、静态特性和动态特性、标定和校准。第二部分介绍热电偶式、电阻式、电感式、电容式、压电式、霍尔式、光电式、新型传感器的原理及应用,其中包括汽车传感器的原理及技能实训。第三部分介绍传感器信号的调制与解调、放大、转换、非线性修正和干扰抑制。第四部分介绍物联网的定义、背景及发展现状、结构组成、支撑技术以及应用。本书为任课教师提供电子课件。

本书内容通俗易懂,贴近实际应用,可以作为电子信息类本科、高职高专相关专业教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与物联网技术 / 魏虹主编. —北京: 电子工业出版社, 2012.8

汽车类高端技能人才实用教材

ISBN 978-7-121-17554-1

I. ①传… II. ①魏… III. ①传感器—高等学校—教材 ②互联网络—应用—高等学校—教材 ③ 智能技术—应用—高等学校—教材 IV. ①TP212 ②TP393.4 ③TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 150357 号

责任编辑: 竺南直

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 13.25 字数: 340 千字

印 次: 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

出版说明

自 2002 年起,中国汽车行业开始进入爆发式增长阶段。2009 年,中国取代美国成为世界上最大的汽车销售市场,当年中国的汽车产量超过了日本和美国的总和,成为名副其实的汽车产销量双重世界第一。2011 年,平均每月产销量突破 150 万辆,全年汽车销售超过 1850 万辆,再次刷新全球历史纪录。未来十年自主品牌将完成从“中国制造”到“中国创造”的发展过程。预计未来十年,我国汽车市场年均增长率将达到 7.1%,到 2020 年中国汽车市场的销量有望占据全球汽车总销量的一半以上,中国汽车市场前景非常广阔。汽车行业突飞猛进的发展对汽车专业人才特别是高端技能型人才的培养提出了前所未有的高要求。一个是行业的发展和扩张在人才数量上的要求,全国每年汽车专业高端技能型人才的缺口在数十万人;另一个是技术的进步和发展对于人才培养质量的要求,大量新技术、新工艺的应用对于从业技术人员在学科基础理论和职业技能方面提出了更高的要求。

作为全国最大的汽车类高等职业学校,西安汽车科技职业学院近年来根据汽车行业发展的需要,紧贴职业岗位,引进吸收德国奥迪、瑞典沃尔沃、英国捷豹路虎等世界顶尖企业汽车职业教育的先进理念和思想,深入开展教学改革,形成了一套独特的课程体系和教学模式。《汽车类高端技能人才实用教材》就是我们近年来教学改革成果的总结,是课程改革的新的教学模式的具体体现。

这套系列教材具有以下几个特点:

一是实用性。在编写过程中,从企业岗位需求和学生发展空间两个方面考虑编排内容,既注重专业基础和专业理论的系统性,又重点考虑了职业技能训练的需求,对于学习汽车类专业的学生而言,是一套学习效率很高的教材。

二是通俗性。在编写过程中,充分考虑到高职学生文化基础的现实状况,降低对学生文化基础知识的要求,让大多数学生能够学得懂。

三是系统性。从机械和电子技术基础课程,到汽车的基本理论,汽车的各种技术,再到汽车的最新技术的介绍;从基本的电工、机械实验,到专业实习,再到职业技能实训,形成了一整套较为完备的汽车理论教学和实训教学的体系。

四是适度超前性。除了涉及目前已经应用的各种汽车技术和技能知识之外,还在新能源汽车、先进车载网络技术等方面进行了介绍,为学生开拓了视野,为其将来向行业的深度和广度发展具有一定的引导作用。

五是实践性。力图采用项目教学和任务驱动教学等方法进行编排,强调理论验证实验、基本专业技能实习和职业技能实训的重要性,将实践教学环节贯穿于课程教学的始终。

本套教材紧紧把握高职教育的方向和培养目标，严格按照新的国家职业标准对人才的要求编排内容，贯彻以技能训练为主，着重提高学生操作技能的原则。在技能训练的内容安排上富有弹性，在保证教学的前提下积极培养学生的创新能力。

本套教材内容丰富、图文并茂、体例饱满，选材来源于最新的技术手册；难易适中、应用性强，有利于知识的吸收和技能的迅速提高。可作为高等职业院校或应用型本科汽车类各专业的必修课教材，也可作为成人高校汽车类各专业的教材，同时可作为相关从业人员的参考用书。

教材编写过程中，由于各种原因，疏漏和不尽如人意之处在所难免，敬请广大师生提出宝贵意见，以便再版时修订完善。

《汽车类高端技能人才实用教材》编委会

前 言

随着电子技术和信息技术的发展，日常生活中各式各样的非电量需要转换为电量，因此用于完成转换的传感器技术日趋重要，传感器广泛应用于各个领域，发挥着不可或缺的作用。在汽车行业中，传感器的应用推动着汽车电子技术的高速发展，使得汽车更加安全、舒适和节能。

目前，传感器技术已渗透到生活的方方面面，如果要解决在检测过程中遇到的问题，就必须熟悉传感器技术，同时要掌握如何选择合适的传感器，并清楚其应用的场合。

本书主要介绍典型传感器的工作原理及其应用，同时加入了最新的信息技术——物联网技术。在编写过程中，始终注意以下两点：一是通俗易懂，二是贴近实际。全书共分为 11 章，第 1 章介绍传感器的基础知识；第 2~9 章分别介绍热电偶式、电阻式、电感式、电容式、压电式、霍尔式、光电式、新型传感器的原理及应用，在基本知识的基础上加入了汽车传感器的相关内容，并且引入汽车传感器的 4 个技能实训，以提高学生对汽车传感器的兴趣及实践能力；第 10 章介绍传感器信号的处理；第 11 章介绍最新的信息技术——物联网技术。为了便于教学，本书每章均配有习题，同时免费提供电子课件，任课教师可登录华信教育资源网（<http://www.hxedu.com.cn>）免费注册下载。

本书可作为电子信息类专业本科、高职高专的教材，也可作为相关从业人员、中等职业学校老师的参考资料。本书作为高等学校电子信息类专业教材，要求学生具有电工、电子的基本知识。本书作为教材使用时，应该将教学重点放在传感器原理及应用部分，在理论的基础上，加强实训教学，提高学生的实践能力。

本书在编写过程中参阅了大量相关资料，并引用了部分参考文献中的内容，由于时间仓促，未能与著作者一一联系，在此表示衷心的感谢。

鉴于传感器技术的快速发展，加之编者水平有限，书中难免有疏漏和不足，恳请各位读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 传感器概述	1	3.1.2 电阻应变片的类型和结构	18
1.1 自动控制系统与传感器	1	3.1.3 电阻应变式传感器的 测量转换电路	19
1.2 传感器的概念	2	3.1.4 电阻应变式传感器的应用	21
1.2.1 传感器的定义和组成	2	3.2 热电阻式传感器	23
1.2.2 传感器的分类	2	3.2.1 金属热电阻式传感器	23
1.2.3 传感器的代号	3	3.2.2 半导体热敏电阻式传感器	25
1.3 传感器的基本特性	3	3.2.3 热电阻式传感器的应用	26
1.3.1 静态特性	3	3.3 气敏电阻式传感器	28
1.3.2 动态特性	6	3.3.1 气敏电阻式传感器的 工作原理	28
1.4 传感器的标定和校准	7	3.3.2 气敏电阻式传感器的 结构和分类	29
1.4.1 传感器的标定	7	3.3.3 气敏电阻式传感器的 应用与检测	30
1.4.2 传感器的校准	8	3.4 湿敏电阻式传感器	31
本章小结	8	3.4.1 大气湿度与露点	31
习题 1	8	3.4.2 湿敏电阻式传感器的 工作原理及类型	32
第 2 章 热电偶传感器	9	3.4.3 湿敏电阻式传感器的应用	34
2.1 热电偶传感器的工作原理	9	3.5 技能实训一	35
2.1.1 热电效应	9	3.5.1 进气温度传感器的结构 及工作原理	35
2.1.2 热电偶的基本定律	10	3.5.2 进气温度传感器的 电路连接图	35
2.2 热电偶的结构形式及材料	12	3.5.3 进气温度传感器的检测方法	36
2.2.1 常用热电偶的基本结构形式	12	3.6 技能实训二	37
2.2.2 热电偶材料	13	3.6.1 氧传感器的结构及工作原理	37
2.3 热电偶的冷端补偿	14	3.6.2 氧传感器的电路连接图	37
2.3.1 补偿导线法	14	3.6.3 氧传感器的检测方法	38
2.3.2 冷端恒温法	15	本章小结	39
2.3.3 计算修正法	15	习题 3	39
2.3.4 电桥补偿法	16	第 4 章 电感式传感器	40
本章小结	17	4.1 自感式传感器	40
习题 2	17	4.1.1 自感式传感器的工作原理	40
第 3 章 电阻式传感器	18		
3.1 电阻应变式传感器	18		
3.1.1 电阻应变式传感器的 工作原理	18		

4.1.2 自感式传感器的测量 转换电路	43	6.1.2 压电材料	66
4.1.3 自感式传感器的应用	44	6.2 压电式传感器的测量转换电路	70
4.2 差动变压器式传感器	46	6.2.1 压电式传感器的等效电路	70
4.2.1 差动变压器式传感器的 工作原理	46	6.2.2 压电式传感器的测量电路	71
4.2.2 差动变压器式传感器的 测量转换电路	47	6.3 压电式传感器的应用	72
4.2.3 差动变压器式传感器的应用	48	6.3.1 压电式力传感器	72
4.3 电涡流式传感器	49	6.3.2 压电式加速度传感器	73
4.3.1 电涡流效应	49	6.3.3 弯曲式压电加速度传感器	73
4.3.2 电涡流式传感器的工作原理	49	6.3.4 火炮堂内压力测试	74
4.3.3 电涡流式传感器的测量转换 电路	50	6.3.5 压电式血压传感器	74
4.3.4 电涡流式传感器的应用	52	6.3.6 监测结冰状况的冰传感器	75
本章小结	55	6.4 技能实训三	75
习题 4	55	6.4.1 爆震传感器的结构及工作 原理	75
第 5 章 电容式传感器	56	6.4.2 共振型压电式爆震传感器的 电路图	76
5.1 电容式传感器的工作原理	56	6.4.3 共振型压电式爆震传感器的 检测	76
5.1.1 变面积式电容传感器	57	本章小结	77
5.1.2 变极距式电容传感器	58	习题 6	77
5.1.3 变介电常数式电容传感器	59	第 7 章 霍尔传感器	78
5.2 电容式传感器的测量转换电路	60	7.1 霍尔效应及霍尔元件	78
5.2.1 电桥电路	60	7.1.1 霍尔效应	78
5.2.2 调频电路	60	7.1.2 霍尔元件	79
5.2.3 运算放大器电路	61	7.2 霍尔传感器的测量转换电路	81
5.2.4 二极管双 T 型电桥电路	61	7.2.1 霍尔传感器的基本电路	81
5.3 电容式传感器的应用	62	7.2.2 霍尔传感器的集成电路	81
5.3.1 电容测厚仪	62	7.2.3 基本误差及补偿	83
5.3.2 电容式压差传感器	62	7.3 其他磁传感器	85
5.3.3 电容式油量表	63	7.3.1 磁阻元件	85
5.3.4 电容式接近开关	64	7.3.2 磁敏二极管	86
本章小结	64	7.3.3 磁敏三极管	87
习题 5	65	7.4 霍尔传感器的应用	87
第 6 章 压电式传感器	66	7.4.1 霍尔压力传感器	87
6.1 压电效应和压电材料	66	7.4.2 霍尔加速度传感器	88
6.1.1 压电效应	66	7.4.3 霍尔转速传感器	88
		7.4.4 霍尔计数器	89
		7.4.5 霍尔无触点开关	90

7.5 技能实训四	91	9.2.2 超声波传感器的应用	124
7.5.1 霍尔式曲轴位置传感器的 结构及工作原理	91	9.3 微波传感器及其应用	126
7.5.2 霍尔式曲轴位置传感器的 信号特性	91	9.3.1 微波的物理性质	127
7.5.3 霍尔式曲轴位置传感器的 检测方法	92	9.3.2 微波传感器的工作原理	127
本章小结	93	9.3.3 微波传感器的分类	127
习题 7	93	9.3.4 微波传感器的应用	127
第 8 章 光电式传感器	94	本章小结	129
8.1 光电效应与光电元件	94	习题 9	130
8.1.1 光电效应	94	第 10 章 传感器的信号处理	131
8.1.2 光电元件	95	10.1 调制与解调	131
8.2 光电元件的基本应用电路	101	10.1.1 调制与解调的概念	131
8.2.1 光敏电阻的基本应用电路	101	10.1.2 幅值调制与幅值解调	132
8.2.2 光敏二极管的基本应用电路	101	10.1.3 频率调制与频率解调	135
8.2.3 光敏三极管的基本应用电路	101	10.2 信号的放大	136
8.3 新型光电传感器	102	10.2.1 比例放大器	136
8.3.1 色彩传感器	102	10.2.2 电桥放大器	138
8.3.2 红外传感器	103	10.2.3 线性放大器	138
8.3.3 图像传感器	105	10.2.4 交流电压同相放大器	139
8.4 光电传感器的应用	107	10.2.5 测量放大器	139
8.4.1 光电式浊度计	107	10.2.6 隔离放大器	140
8.4.2 反射式烟雾报警器	108	10.3 信号在传输过程中的转换技术	140
8.4.3 光电式带材跑偏检测器	108	10.3.1 A/D 转换	141
8.4.4 光电器件在车载网络上的 应用	110	10.3.2 D/A 转换	142
本章小结	113	10.4 信号的非线性校正	143
习题 8	113	10.4.1 校正曲线的求取	144
第 9 章 新型传感器	114	10.4.2 模拟量的非线性校正	144
9.1 光纤传感器及其应用	114	10.4.3 数字量的非线性校正	145
9.1.1 光纤的基本概念	114	10.5 干扰抑制技术	146
9.1.2 光纤传感器的工作原理	116	10.5.1 干扰的产生	146
9.1.3 光纤传感器的分类	117	10.5.2 干扰的来源	147
9.1.4 光纤传感器的应用	118	10.5.3 电磁干扰概述	150
9.2 超声波传感器及其应用	122	10.5.4 差模干扰和共模干扰	154
9.2.1 超声波的物理性质	122	10.5.5 抗干扰的措施	155
		本章小结	162
		习题 10	163
		第 11 章 物联网技术	164
		11.1 物联网的定义	164

11.1.1	什么是物联网.....	164	11.5.3	EPC 技术.....	176
11.1.2	物联网的相关术语.....	164	11.5.4	摄像头.....	177
11.1.3	物联网在中国的定义.....	165	11.5.5	ZigBee 技术.....	178
11.2	物联网出现的背景及发展现状.....	166	11.5.6	网络技术.....	181
11.2.1	IT 行业新的革命.....	166	11.5.7	终端设备.....	184
11.2.2	物联网出现的背景.....	166	11.5.8	MEMS 技术.....	185
11.2.3	物联网的发展现状.....	167	11.5.9	智能技术.....	186
11.3	物联网与其他网络.....	169	11.6	物联网的应用.....	187
11.3.1	传感器与 RFID.....	169	11.6.1	智能家庭.....	187
11.3.2	传感器与传感网.....	169	11.6.2	智能物流.....	191
11.3.3	传感网与物联网.....	169	11.6.3	智能医疗.....	193
11.3.4	泛在网与物联网.....	170	11.6.4	智能电网.....	195
11.3.5	互联网与物联网.....	170	11.6.5	物联网应用案例.....	197
11.4	物联网的结构组成.....	171	11.6.6	物联网到车联网.....	198
11.5	物联网的支撑技术.....	172	本章小结.....		198
11.5.1	传感器技术.....	173	习题 11.....		199
11.5.2	RFID 技术.....	173	参考文献.....		200

第 1 章 传感器概述

随着科学技术的发展，电子行业中传感器测量是普遍使用的测量技术。在自动控制的系统中传感器起着首要环节的作用。

传感器是人类五官的延伸，又被称为电五官。传感器现在已经渗透到诸如工业、农业、生物、环境、医学、勘测、交通、电子商务等极其广泛的领域。从天文气象的信息监测到海洋奥秘的结构勘察，甚至生产生活中的数据采集，都离不开各种各样的传感器。（目前，汽车行业高速发展，汽车电子技术推动着汽车向更加安全、舒适和节能的方向发展，在汽车的电子自动化控制过程中，汽车传感器起着至关重要的作用。）由此可见，传感器技术对经济的发展、社会的进步起着重要作用。没有传感器技术的发展，就没有现代的自动化检测技术，没有传感器，就没有现代科学技术的飞速发展。

在自然界中存在着各种各样的物理量。例如，电流、电阻、电压、电容、电感，这些物理量统称电量；而力、尺寸、质量、速度、加速度、温度、湿度等，这些物理量被称为非电量。电量可以利用电学仪器进行测量，非电量需要测量时，必须首先转化成电量，然后进行测量，那么实现这种转换技术的器件就称为传感器。

1.1 自动控制系统与传感器

所谓自动控制，是指在没有人的直接参与下，利用控制器使生产过程或被控对象的某一物理量准确地按照预期的规律运行。自动控制系统通常分为开环控制和闭环控制两类，如图 1-1 和图 1-2 所示。

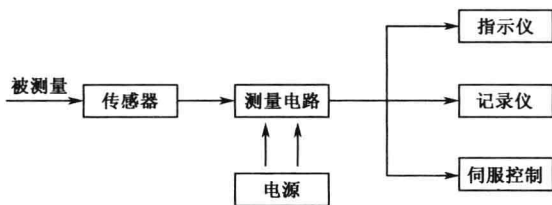


图 1-1 开环自动控制系统

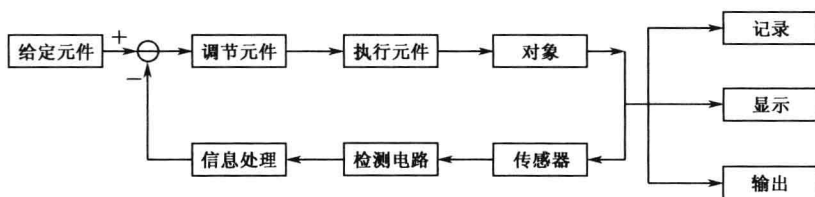


图 1-2 闭环自动控制系统

由图 1-1 和图 1-2 可知, 一个完整的自动控制系统通常由传感器、测量电路、显示记录设备和调节装置以及电源组成。

1.2 传感器的概念

1.2.1 传感器的定义和组成

传感器的定义: 能感受规定的被测量并按一定规律将其转换成可用输出信号的元件或装置, 一般由敏感元件和转换元件组成。如图 1-3 所示为传感器的组成结构图。

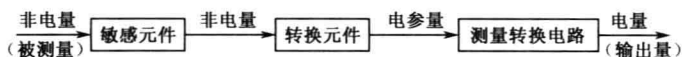


图 1-3 传感器的组成结构图

敏感元件在传感器中用于感受被测量, 转化后的非电量反映被测量的所有信息; 被测量通过敏感元件转换后, 再由转换元件转换成电量。而测量转换电路的作用是将转换元件输出的电量转换成易于处理的电压、电流或频率量。

需要注意的是, 并非所有的传感器都会有敏感元件和转换元件。如果敏感元件直接可以输出电量, 它就同时起到了敏感元件和转换元件的双重作用; 如果转换元件能直接感受被测量并且输出与之有一定规律的电量, 这时就不需要敏感元件了。敏感元件和转换元件合二为一的类型十分广泛, 例如, 热电偶、热敏电阻、压电元件、光电元件等。

1.2.2 传感器的分类

传感器的种类繁多, 分类方法各不相同。常用的分类方法有:

(1) 按被测量分类: 可分为力、压力、温度、振动、转速、位移、加速度、流量、流速等传感器。

(2) 按工作原理分类: 可分为电阻、电感、电容、热电偶、超声波、红外、光纤等传感器。

(3) 按能量的传递方式分类, 可分为有源传感器和无源传感器。

① 有源传感器

有源传感器可以被看作是一台小型发电机, 能将非电量转换为电量, 它必须有信号放大器用于信号放大。所以有源传感器是一种将非电能量转化成电能的变换器, 如压电传感器、热电偶传感器、电磁式传感器等。

② 无源传感器

无源传感器不进行能量的转换, 被测非电量在传感器中控制或调节能量, 因此它必须具备辅助电源, 如电阻式传感器、电容式传感器和电感式传感器等。

(4) 按输出信号的性质, 传感器可分为模拟传感器与数字传感器。模拟传感器输出的模



拟信号不能直接进入计算机,要先通过 A/D 转换器转换,然后才能用计算机进行信号分析和处理。而数字传感器就可以直接将输出信号送入计算机进行处理。

1.2.3 传感器的代号

传感器一般以这样的形式命名: 传感器—被测量—转换原理—序号。

(1) 主称——传感器的代号 C。

(2) 被测量——用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记。

(3) 转换原理——用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记。

(4) 序号——用一个阿拉伯数字标记, 厂家自定, 用来表征产品设计特性、性能参数、产品系列等。

例: C—WY—YB—20 传感器

解: C: 传感器主称; WY: 被测量是位移; YB: 转换原理是应变式; 20: 传感器序号。该传感器就是序号为 20 的应变式位移传感器。

1.3 传感器的基本特性

传感器的特性主要指输入、输出的关系特性, 其输入-输出特性反映的是与内部结构参数有关系的外部特征, 通常用静态特性和动态特性来描述。

1.3.1 静态特性

传感器的静态特性是指当被测量的数据值处于稳定状态时输入量与输出量的关系。只有传感器在一个稳定状态, 表示输入与输出的关系式中才不会出现随时间变化的变量。衡量静态特性的重要指标有线性度、灵敏度、迟滞、重复性、分辨力、稳定性、漂移和可靠性等。

1. 线性度

线性度是指传感器输入量与输出量之间的静态特性曲线偏离直线的程度, 又称为非线性误差, 表示传感器实际特性曲线与拟合直线(也称为理论直线)之间的最大偏差与传感器量程范围内的输出之百分比, 非线性误差越小越好。线性度的计算公式如下:

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-1)$$

$\Delta L_{\max}$ 为最大非线性绝对误差; Y_{FS} 为满量程输出值。

在实际使用中, 大部分传感器的静态特性曲线是非线性的。可用一条直线(切线或割线)近似地代表实际曲线的一段, 使输入、输出特性线性化, 这条直线通常被称为拟合直线。如图 1-4 所示为几种拟合直线。





2. 灵敏度

灵敏度是指传感器在稳定工作状态下输出变化量与输入变化量之比, 用 k 来表示:

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-2)$$

式中, Δy 为输出量的增量; Δx 为输入量的增量。

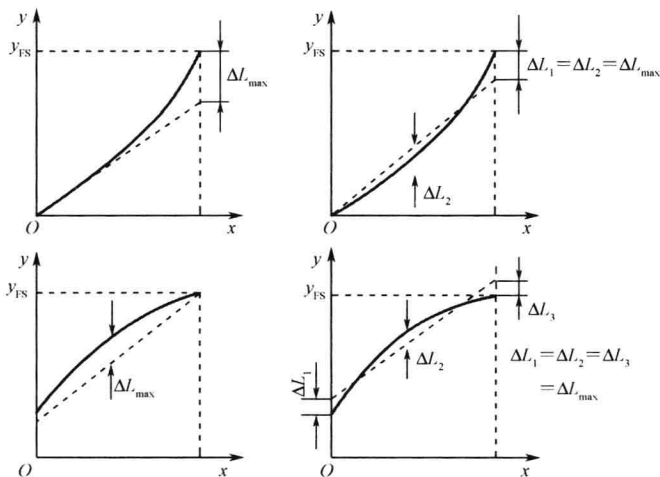


图 1-4 几种拟合直线

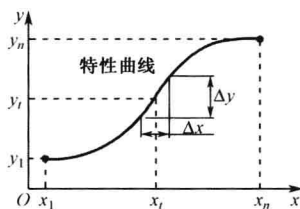


图 1-5 非线性传感器的输入-输出特性

灵敏度表征传感器对输入量变化的反应能力。对于线性传感器而言, 灵敏度是该传感器特性曲线的斜率; 而对于非线性传感器来说, 灵敏度是一个随着工作点变化的变化量, 实际是该点的导数, 如图 1-5 所示为非线性传感器的输入-输出特性关系曲线。

3. 迟滞现象

迟滞现象是指传感器在输入量由小到大(正行程)和输入量由大到小(反行程)变化时其输入-输出特性曲线不重合的程度, 如果是同一大小的输入量, 传感器正、反行程的输出量的大小是不相等的。如图 1-6 所示为传感器迟滞现象的曲线。

迟滞误差是指对应同一输入量的正、反行程输出值之间的最大差值与满量程值的百分比, 通常用 γ_H 表示, 即

$$\gamma_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中, $\Delta H_{\max}$ 为正、反行程输出值之间的最大差值。

传感器出现迟滞现象主要是由传感器中敏感元件材料的机械磨损、部件内部摩擦、积尘、电路老化、松动等原因引起的。



4. 重复性

如图 1-7 所示, 重复性是指传感器在输入量按照同一方向作全量程多次测试时, 所得到的输入-输出特性曲线不一致的现象。多次测量时按照相同输入条件测试出的特性曲线越重合, 传感器的重复性越好, 误差就会越小。

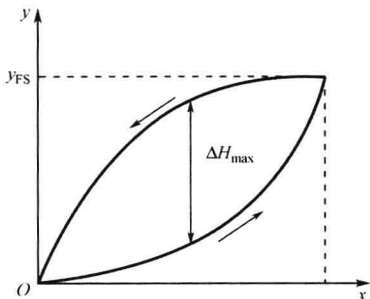


图 1-6 传感器的迟滞特性

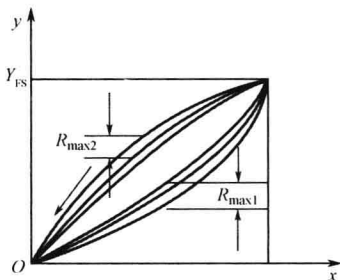


图 1-7 传感器的重复性

重复性误差是指各测量值正、反行程标准偏差的两倍或三倍与满量程值的百分比, 通常用 γ_R 表示, 即

$$\gamma_R = \pm \frac{(2 \sim 3)\sigma}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, σ 为正、反行程标准偏差。

重复性误差也可以用正、反行程中的最大偏差 $\Delta R_{\max}$ 表示, 即

$$\gamma_R = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, $\Delta R_{\max}$ 为正、反行程中的最大偏差。

5. 分辨力

分辨力是指传感器能够检测出的被测量的最小变化量。当被测量的变化量小于分辨力时, 传感器对输入量的变化不会出现任何反应。对数字式仪表而言, 如果没有其他说明, 可以认为该表的最后一位所表示的数值就是它的分辨力。

分辨力如果以满量程输出的百分数表示时, 则称为分辨率。

6. 稳定性

稳定性是指传感器在一个较长的时间内保持其性能参数的能力。

稳定性一般是在室温条件下经过一个定时间的间隔后 (比如一天、一个月或者一年), 传感器此时的输出与起始标定时输出之间的差异来表示, 这种差异称为稳定性误差。稳定性误差通常可由相对误差和绝对误差表示。



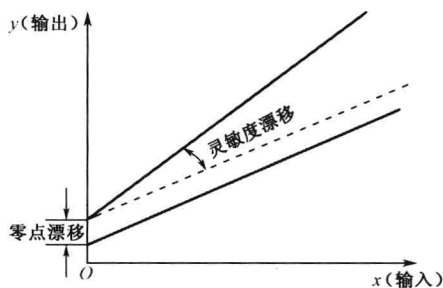


图 1-8 传感器的漂移

7. 漂移

漂移是指在外界的干扰下，在一定时间内，传感器输出量发生与输入量无关、不需要的变化。通常包括零点漂移和灵敏度漂移，如图 1-8 所示。产生漂移的主要原因有两个：一是仪器自身参数的变化；另一个是周围环境导致输出的变化。

零点漂移或灵敏度漂移又可分为时间漂移和温度漂移。时间漂移是指在规定的条件下，零点漂移或灵敏度漂移随时间的缓慢变化。温度漂移是指当环境温度变化时引起的零点漂移或灵敏度漂移。

8. 可靠性

可靠性是指传感器在规定的条件下和时间内，完成规定功能的一种能力。衡量传感器可靠性的指标如下。

(1) 平均无故障时间。平均无故障时间是指传感器或检测系统在正常的工作条件下，连续不间断地工作，直到发生故障，而丧失正常工作能力所用的时间。

(2) 平均修复时间。平均修复时间是指排除故障所花费的时间。

(3) 故障率。故障率也称为失效率，它是平均无故障时间的倒数。

1.3.2 动态特性

传感器的动态特性就是当输入信号随时间变化时输入与输出的响应特性，通常要求传感器能够迅速准确地响应和再现被测信号的变化，这也是传感器的重要特性之一。

在评价传感器的动态特性时，最常用的输入信号为阶跃信号和正弦信号，与其对应的方法为阶跃响应法和频率响应法。

1. 阶跃响应法

研究传感器的动态特性时，在时域状态中分析传感器的响应和过渡过程被称为时域分析法，这时传感器对输入信号的响应就称为阶跃响应。如图 1-9 所示为阶跃响应特性曲线。

衡量传感器阶跃响应特性的几项指标如下：

(1) 最大超调量 σ_p 就是阶跃响应特性曲线偏离稳态值的最大值。常用百分数表示。

(2) 延滞时间 t_d 是指阶跃响应特性曲线达到稳态值的 50% 所需的时间。

(3) 上升时间 t_r 是指阶跃响应特性曲线从稳态值的 10% 上升到 90% 所需的时间。

(4) 峰值时间 t_p 是指阶跃响应特性曲线从稳态值的零上升到第一个峰值所需的时间。

(5) 响应时间 t_s 是指阶跃响应特性曲线到达与稳态值之差不超过 $\pm (5\% \sim 2\%)$ 所需要的时间。

(6) 稳态误差 e_{ss} 是指期望的稳态输出量与实际的稳态输出量之差，控制系统的稳态误差越小说明控制精度越高。

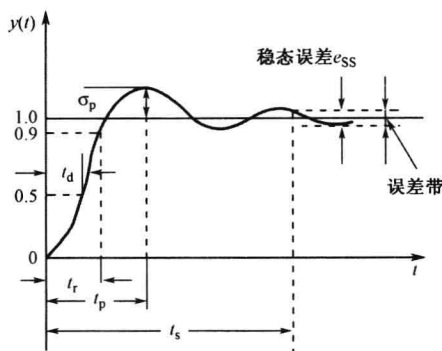


图 1-9 阶跃响应特性曲线

2. 频率响应法

频率响应法是指从传感器的频率特性出发来研究传感器的动态特性。此时传感器的输入信号为正弦信号，这时的响应特性为频率响应特性。

大部分传感器可简化为单自由度一阶系统或单自由度二阶系统，即

$$H(j\omega) = \frac{1}{\tau(j\omega) + 1} \quad (1-6)$$

式中， τ 为时间函数。

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2j\xi\frac{\omega}{\omega_n}} \quad (1-7)$$

式中， ω_n 为传感器的固有频率。

衡量传感器频率响应特性的几项指标如下：

(1) 频带：传感器的增益保持在一定频率范围内，这一频率范围称为传感器的频带或通频带，对应应有上截止频率和下截止频率。

(2) 时间常数：可用时间常数 τ 来表征传感器单自由度一阶系统的动态特性。时间常数 τ 越小，频带越宽。

(3) 固有频率：传感器单自由度二阶系统的固有频率可用 ω_n 来表征其动态特性。

1.4 传感器的标定和校准

任何新研制和生产的传感器在生产完成后都需要进行一系列的测试，确定其时间性能。经过一段时间的存储或使用后，传感器的特性会有所变化，因此还需要进行性能的复测。这个过程就是传感器的标定和校准。

1.4.1 传感器的标定

利用某种标准器具对新研制、新生产的传感器进行全面的检定和标度，称为标定。