



湖北高职“十一五”规划教材
湖北省高教学会高职专委会研制

总策划 李友玉 策划 屠莲芳



传感器与检测技术

Chuanganganqi yu Jiance Jishu

主编 何新洲 何 琼



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



湖北高职“十一五”规划教材
湖北省高教学会高职专委会研制

总策划 李友玉 策划 屠莲芳

传感器与检测技术

Chuanganganqi yu Jiance Jishu

主 编

何新洲 武汉电力职业技术学院

何 琼 武汉软件工程职业学院

副主编

蔡明富 荆州职业技术学院

文群英 武汉电力职业技术学院

黄 莉 三峡电力职业技术学院

郭小进 武汉电力职业技术学院

教材参研人员（以姓氏笔画为序）

汤晓华 武汉电力职业技术学院

付晓军 仙桃职业学院

陈 铁 武汉软件工程职业学院



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/何新洲,何琼主编. —武汉:武汉大学出版社,2009.1
湖北高职“十一五”规划教材
ISBN 978-7-307-06842-1

I. 传… II. ①何… ②何… III. 传感器—检测—高等学校:技术学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 010314 号

责任编辑:王金龙 责任校对:黄添生 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:通山金地印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:449千字 插页:2

版次:2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷

ISBN 978-7-307-06842-1/TP·324 定价:29.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。



湖北高职“十一五”规划教材

HUBEI GAOZHI “SHIYIWU” GUIHUA JIAOCAI

机电类

编委会

主任 李望云 武汉职业技术学院
陈少艾 武汉船舶职业技术学院

副主任 (按姓氏笔画排序)
胡成龙 武汉软件工程职业学院
郭和伟 湖北职业技术学院
涂家海 襄樊职业技术学院
游英杰 黄冈职业技术学院

委员 (按姓氏笔画排序)
刘合群 咸宁职业技术学院
苏明 湖北国土资源职业技术学院
李望云 武汉职业技术学院
李鹏辉 湖北科技职业学院
邱文萍 武汉铁路职业技术学院
余小燕 荆州职业技术学院
张键 十堰职业技术学院
陈少艾 武汉船舶职业技术学院
胡成龙 武汉软件工程职业学院
洪霞 武汉电力职业技术学院
贺剑 随州职业技术学院
郭和伟 湖北职业技术学院
郭家旺 仙桃职业技术学院
涂家海 襄樊职业技术学院
黄堂芳 鄂东职业技术学院
覃鸿 湖北三峡职业技术学院
游英杰 黄冈职业技术学院

编委会秘书 应文豹 武汉职业技术学院

凝聚集体智慧 研制优质教材

教材是教师教学的脚本，是学生学习的课本，是学校实现人才培养目标的载体。优秀教师研制优质教材，优质教材造就优秀教师，培育优秀学生。教材建设是学校教学最基本的建设，是提高教育教学质量最基础性的工作。

高职教育是中国特色的创举。我国创办高职教育时间不长，高职教材存在严重的“先天不足”，目前使用的教材多为中专延伸版、专科移植版、本科压缩版等，这在很大程度上制约着高职教育教学质量的提高。因此，根据高职教育培养“高素质技能型专门人才”的目标和教育教学实际需求，研制优质教材，势在必行。

2005年以来，湖北省高教学会高职高专教育管理专业委员会（简称“高职专委会”）高瞻远瞩，审时度势，深刻领会国家关于“大力发展职业教育”和“提高高等教育质量”之精神，准确把握高职教育发展之趋势，积极呼应全省高职院校发展之共同追求；大倡研究之风，大鼓合作之气；组织全省高职院校开展“教师队伍建设、专业建设、课程建设、教材建设”（简称“四个建设”）的合作研究与交流，旨在推进全省高职院校进一步全面贯彻党的教育方针，创新教育思想，以服务为宗旨，以就业为导向，工学结合、校企合作，走产学研结合发展道路；推进高职院校培育特色专业、打造精品课程、研制优质教材、培养高素质的教师队伍，提升学校整体办学实力与核心竞争力；促进全省高职院校走内涵发展的道路，全面提高教育教学质量。

湖北省教育厅将高职专委会“四个建设”系列课题列为“湖北省教育科学‘十一五’规划专项资助重点课题”。全省高职院校纷起响应，几千名骨干教师和一批生产、建设、服务、管理一线的专家，一起参加课题协同攻关。在科学研究过程中，坚持平等合作，相互交流；坚持研训结合，相互促进；坚持课题合作研究与教材合作研制有机结合，用新思想、新理念指导教材研制，塑造教材“新、特、活、实、精”的优良品质；坚持以学生为本，精心酿造学生成长的精神食粮。全省高职院校重学习研究、重合作创新蔚然成风。

这种以学会为平台，以学术研究为基础开展的“四个建设”，符合教育部关于提高教育教学质量的精神，符合高职院校发展的需求，符合高职教师发展的需求。

在湖北省教育厅和湖北省高教学会领导的大力支持下，在湖北省高教学

会秘书处的指导下,经过两年多艰苦不懈的努力和深入细致的工作,“四个建设”合作研究初见成效。高职专委会与长江出版传媒集团、武汉大学出版社、复旦大学出版社等知名出版单位携手,正陆续推出课题研究成果:“湖北高职‘十一五’规划教材”,这是全省高职集体智慧的结晶。

交流出水平,研究出智慧,合作出成果,锤炼出精品。凝聚集体智慧,共创湖北高职教育品牌——这是全省高职教育工作者的共同心声!

湖北省高教学会高职专委会主任

黄木生

2009年1月

前 言

传感器与检测技术是湖北高职“十一五”规划教材,是在湖北省教育厅立项的湖北省教育科学“十一五”规划专项资助重点课题“高职机电一体化重构研究”(湖北高职“四个建设”系列规划选题)的成果基础上合作研制而成的。传感器与检测技术是一门适用广泛的专业课程,在高职层面也是一本不太好教、不太好学的课程,但传感器是各种工业控制系统的“感官”,就像人的眼睛、耳朵、鼻子等,非常重要。本教材在讲清基本概念、基本理论的基础上,强调工程应用,强调系统的概念。借鉴新的教学思想,按照项目、任务来组织教材内容。

本教材采用任务引领模式,即以工作任务引领知识,让学生在实现工作任务的过程中学习相关知识,发展学生的综合职业能力。教材内容适用,即紧紧围绕工作任务完成的需要来选择课程内容,重构知识的系统性,注重内容的实用性和针对性,在将最新的技术成果纳入教材的同时,选择典型的传感器与检测技术应用案例,以工作任务为线索,实现理论与实践一体化教学。每一个单元都按照“任务描述与分析”、“相关知识”、“相关技能”、“请你做一做”几个部分递进完成。

湖北省高等教育学会副秘书长、湖北省教育科学研究所高教研究中心主任李友玉研究员,湖北省高等教育学会高职高专教育管理专业委员会教学组组长李家瑞教授及秘书长屠莲芳,负责本教材研制队伍的组建、管理和本教材研制标准、研制计划的制定与实施。

本教材的研制分工为:武汉电力职业技术学院何新洲副教授编写了单元一、二、六的内容,文群英副教授编写了单元五和单元十中的任务三的内容,郭小进工程师编写了单元九的内容,汤晓华副教授编写了单元十中的任务二及附件的内容;武汉软件工程职业技术学院何琼副教授编写了单元七的内容,陈铁老师编写了单元三中的任务三和单元十中的任务一的内容;荆州职业技术学院蔡明富副教授编写了单元八的内容;三峡电力职业技术学院黄莉副教授编写了单元三中的任务一、二的内容;仙桃职业学院付晓军老师编写了单元四的内容。

本教材在研制过程中,参阅了大量文献资料,得到了各合作院校的大力支持,在此表示感谢。

本教材的研制是学习新的教育教学理念的一种尝试,由于编著者的水平有限,时间仓促,书中不妥与错误之处,恳请读者批评指正。

湖北高职“十一五”规划教材
《传感器与检测技术》研制组

2009年1月

目 录

单元一 传感器与检测技术基础	1
任务一 传感器的认知	1
一、传感器的重要性	1
二、传感器的作用	2
三、传感器的定义	2
四、传感器的组成	2
五、传感器的分类	2
六、传感器的一般要求	3
七、传感器技术的发展趋势	4
八、传感器命名及代号	5
任务二 误差的认知	5
一、绝对误差	5
二、相对误差	6
三、精度	6
四、系统误差	7
五、随机误差	7
任务三 传感器的特性了解	7
一、静态特性	7
二、动态特性	10
三、传感器的技术指标	10
任务四 传感器的标定	11
一、传感器的静态标定	11
二、传感器的动态标定	12
单元二 电阻式传感器的应用	13
任务一 电阻应变式传感器在称重测量上的应用	13
一、任务描述与分析	13
二、相关知识	13
三、相关技能	18
四、请你做一做	23
任务二 半导体压阻式传感器在液位测量上的应用	24
一、任务描述与分析	24

二、相关知识	24
三、相关技能	26
四、请你做一做	32
任务三 铂电阻在温度测量中的应用	33
一、任务描述与分析	33
二、相关知识	34
三、相关技能	35
四、请你做一做	40
单元三 电感式传感器的应用	42
任务一 螺管型电感传感器在圆度仪上的应用	42
一、任务描述与分析	42
二、相关知识	42
三、相关技能	44
四、请你做一做	48
任务二 差动变压器电感传感器在位移测量上的应用	48
一、任务描述与分析	48
二、相关知识	49
三、相关技能	51
四、请你做一做	54
任务三 电涡流传感器在振动测量上的应用	54
一、任务描述与分析	54
二、相关知识	55
三、相关技能	57
四、拓展应用	62
五、请你做一做	63
单元四 电容式传感器的应用	64
任务一 电容式传感器在力和压力测量中的应用	64
一、任务描述与分析	64
二、相关知识	65
三、相关技能	67
四、请你做一做	71
任务二 电容式接近开关的使用	74
一、任务描述与分析	74
二、相关知识	74
三、相关技能	76
四、请你做一做	78

单元五 热电式和压电式传感器的应用	80
任务一 热电偶在温度测量中的应用	80
一、任务描述与分析	80
二、相关知识	81
三、相关技能	91
四、请你做一做	100
任务二 压电式传感器在压力测量中的应用	101
一、任务描述与分析	101
二、相关知识	101
三、相关技能	108
四、请你做一做	114
单元六 霍尔及磁电式传感器的应用	116
任务一 霍尔传感器在转速测量中的应用	116
一、任务描述与分析	116
二、相关知识	117
三、相关技能	121
四、请你做一做	125
任务二 霍尔传感器在电流测量中的应用	125
一、任务描述与分析	125
二、相关知识	125
三、相关技能	126
四、请你做一做	129
任务三 霍尔传感器在定位系统中的应用	129
一、任务描述与分析	129
二、相关知识	130
三、相关技能	132
四、请你做一做	136
单元七 光电式传感器的应用	137
任务一 模拟式光电式传感器在位置测量中的应用	137
一、任务描述与分析	137
二、相关知识	137
三、相关技能	148
四、请你做一做	153
任务二 光电开关的应用	154
一、任务描述与分析	154
二、相关知识	154
三、相关技能	159

08	四、请你做一做	159
08	任务三 红外传感器的应用	161
08	一、任务描述与分析	161
18	二、相关知识	162
19	三、相关技能	166
001	四、请你做一做	169
10	任务四 CCD 图像传感器在尺寸测量中的应用	169
101	一、任务描述与分析	169
101	二、相关知识	170
201	三、相关技能	173
411	四、请你做一做	175
	任务五 光栅传感器在位移测量中的应用	176
011	一、任务描述与分析	176
111	二、相关知识	177
011	三、相关技能	182
111	四、请你做一做	185
121	任务六 光电编码器在角位移测量中的应用	186
221	一、任务描述与分析	186
221	二、相关知识	187
221	三、相关技能	190
221	四、请你做一做	193
221		
	单元八 其他传感器及应用	195
001	任务一 光纤传感器及应用	195
021	一、任务描述与分析	195
021	二、相关知识	196
121	三、请你做一做	200
021	任务二 气体传感器及应用	201
	一、任务描述与分析	201
121	二、相关知识	201
121	三、学着做一做	206
121	四、反思与探讨	208
121	任务三 湿度传感器及应用	208
241	一、任务描述与分析	208
121	二、相关知识	208
121	三、相关技能	212
121	四、请你做一做	214
121	任务四 生物传感器及应用	214
021	一、任务描述与分析	214

二、相关知识	214
三、请你做一做	218
任务五 智能传感器及应用	218
一、任务描述与分析	218
二、相关知识	219
三、请你做一做	225
单元九 抗干扰技术	226
任务一 干扰的基本概念	226
一、干扰和噪声	226
二、产生干扰的三要素和抑制干扰的方法	226
三、干扰对系统的影响	227
任务二 接地技术	227
任务三 屏蔽技术	231
任务四 滤波技术	232
单元十 传感器的综合应用	238
任务一 传感器在汽车上的典型应用	238
一、任务描述与分析	238
二、相关知识	239
三、相关技能	240
四、请你做一做	245
任务二 接近传感器在自动线中的应用	246
一、磁性开关及应用	246
二、光电开关及应用	249
三、光纤式光电接近开关及应用	252
四、其他接近开关及应用	254
五、知识技能归纳	256
任务三 传感器在火电厂生产过程中的典型应用	256
一、任务描述与分析	256
二、相关知识	257
三、相关技能	264
四、请你做一做	267
单元十一 综合训练	270
任务一 大直径钢管直线度在线测量	270
任务二 油气管道的破坏监测	270
任务三 同轴度测量	271
任务四 轨高差检测	271

任务五 粮库粮温监测	271
任务六 钢轨高速探伤	271
任务七 旋转轴扭矩测量	272
任务八 电动助力车轮速高精度检测	272
附录	273
附录一 学生案例	273
附录二 热电偶分度表	279
参考文献	286
参考文献1	参考文献1
参考文献2	参考文献2
参考文献3	参考文献3
参考文献4	参考文献4
参考文献5	参考文献5
参考文献6	参考文献6
参考文献7	参考文献7
参考文献8	参考文献8
参考文献9	参考文献9
参考文献10	参考文献10
参考文献11	参考文献11
参考文献12	参考文献12
参考文献13	参考文献13
参考文献14	参考文献14
参考文献15	参考文献15
参考文献16	参考文献16
参考文献17	参考文献17
参考文献18	参考文献18
参考文献19	参考文献19
参考文献20	参考文献20
参考文献21	参考文献21
参考文献22	参考文献22
参考文献23	参考文献23
参考文献24	参考文献24
参考文献25	参考文献25
参考文献26	参考文献26
参考文献27	参考文献27
参考文献28	参考文献28
参考文献29	参考文献29
参考文献30	参考文献30
参考文献31	参考文献31
参考文献32	参考文献32
参考文献33	参考文献33
参考文献34	参考文献34
参考文献35	参考文献35
参考文献36	参考文献36
参考文献37	参考文献37
参考文献38	参考文献38
参考文献39	参考文献39
参考文献40	参考文献40
参考文献41	参考文献41
参考文献42	参考文献42
参考文献43	参考文献43
参考文献44	参考文献44
参考文献45	参考文献45
参考文献46	参考文献46
参考文献47	参考文献47
参考文献48	参考文献48
参考文献49	参考文献49
参考文献50	参考文献50
参考文献51	参考文献51
参考文献52	参考文献52
参考文献53	参考文献53
参考文献54	参考文献54
参考文献55	参考文献55
参考文献56	参考文献56
参考文献57	参考文献57
参考文献58	参考文献58
参考文献59	参考文献59
参考文献60	参考文献60
参考文献61	参考文献61
参考文献62	参考文献62
参考文献63	参考文献63
参考文献64	参考文献64
参考文献65	参考文献65
参考文献66	参考文献66
参考文献67	参考文献67
参考文献68	参考文献68
参考文献69	参考文献69
参考文献70	参考文献70
参考文献71	参考文献71
参考文献72	参考文献72
参考文献73	参考文献73
参考文献74	参考文献74
参考文献75	参考文献75
参考文献76	参考文献76
参考文献77	参考文献77
参考文献78	参考文献78
参考文献79	参考文献79
参考文献80	参考文献80
参考文献81	参考文献81
参考文献82	参考文献82
参考文献83	参考文献83
参考文献84	参考文献84
参考文献85	参考文献85
参考文献86	参考文献86
参考文献87	参考文献87
参考文献88	参考文献88
参考文献89	参考文献89
参考文献90	参考文献90
参考文献91	参考文献91
参考文献92	参考文献92
参考文献93	参考文献93
参考文献94	参考文献94
参考文献95	参考文献95
参考文献96	参考文献96
参考文献97	参考文献97
参考文献98	参考文献98
参考文献99	参考文献99
参考文献100	参考文献100

单元一 传感器与检测技术基础

任务一 传感器的认知

一、传感器的重要性

人通过五官（视、听、嗅、味、触）接收外界的信息，经过大脑的思维（信息处理），做出相应的动作。同样，如果用计算机控制的自动化装置来代替人的劳动，则可以说电子计算机相当于人的大脑（一般俗称电脑），而传感器则相当于人的五官部分（“电五官”）。人体与机器人的对应关系可用图 1-1 表示。

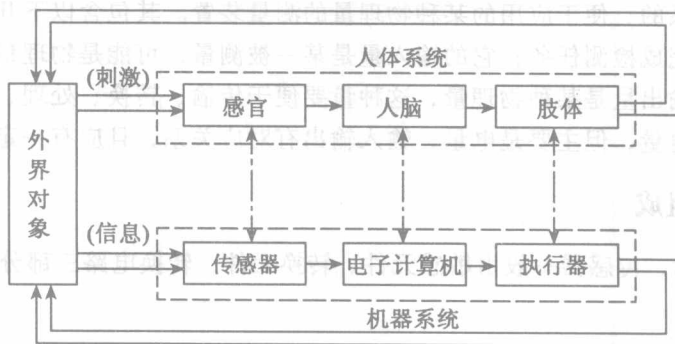


图 1-1 人体与机器人的对应关系

传感器是获取自然领域中信息的主要途径与手段。作为人脑的一种模拟的电子计算机的发展极为迅速，可是起五种感觉模拟作用的传感器却发展很慢，因而引起了人们的普遍关注，如果不进行传感器的开发，现在的电子计算机将处于一种不能适应实际需要的状态。如图 1-1 所示，为了很好地将体力劳动和脑力劳动进行协调一样，要求传感器、电子计算机和执行器三者都能相互协调才行。这样，传感器就成了现代科学的中枢神经系统，它日益受到人们的重视，这已成为现代传感器技术的必然趋势。传感器技术在工业自动化、军事国防和以宇宙开发、海洋开发为代表的尖端科学与工程等重要领域广泛应用的同时，正以自己的巨大潜力，向着与人们生活密切相关的方面渗透；生物工程、交通运输、环境保护、安全防范、家用电器、网络家居等方面的传感器已层出不穷，并在日新月异地发展。

二、传感器的作用

传感器实际上是一种功能块，其作用是将来自外界的各种信号转换成电信号。传感器所检测的信号近来显著地增加，因而其品种也极其繁多。为了对各种各样的信号进行检测、控制，就必须获得尽量简单且易于处理的信号，这样的要求只有电信号能够满足。电信号能较容易地进行放大、反馈、滤波、微分、存储、远距离操作等。因此作为一种功能块的传感器可狭义地定义为：“将外界输入信号变换为电信号的一类元件。”如图 1-2 所示。



图 1-2 传感器的作用

三、传感器的定义

根据中华人民共和国国家标准，传感器的定义是：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。传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种物理量的测量装置。其包含以下几层含义：传感器是测量装置，能完成检测任务；它的输入量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量、生物量等；输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示等，这种量可以是气、光、电量，但主要是电量；输入输出有对应关系，且应有一定的精确度。

四、传感器的组成

如图 1-3 所示，传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成。



图 1-3 传感器的组成框图

- (1) 敏感元件：直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。
- (2) 转换元件：以敏感元件的输出为输入，把输入转换成电路参数。
- (3) 转换电路：上述电路参数接入转换电路，便可转换成电量输出。

实际上，有些传感器很简单，仅由一个敏感元件（兼作转换元件）组成，它感受被测量时直接输出电量，如热电偶。有些传感器由敏感元件和转换元件组成，没有转换电路。有些传感器，转换元件不止一个，要经过若干次转换。

五、传感器的分类

传感器种类繁多，目前常用的分类有两种：一种是以被测量来分，另一种是以传感器

的原理来分,见表1-1、表1-2。

表 1-1 按被测量来分类

被测量类别	被测量
热工量	温度、热量、比热; 压力、压差、真空度; 流量、流速、风速
机械量	位移(线位移、角位移), 尺寸、形状; 力、力矩、应力; 重量、质量; 转速、线速度; 振动幅度、频率、加速度、噪声
物性和成分量	气体化学成分、液体化学成分; 酸碱度(pH值)、盐度、浓度、粘度; 密度、比重
状态量	颜色、透明度、磨损量、材料内部裂缝或缺陷、气体泄漏、表面质量

表 1-2 按传感器的原理来分类

序号	工作原理	序号	工作原理
1	电阻式	8	光电式(红外式、光导纤维式)
2	电感式	9	谐振式
3	电容式	10	霍尔式(磁式)
4	阻抗式(电涡流式)	11	超声式
5	磁电式	12	同位素式
6	热电式	13	电化学式
7	压电式	14	微波式

以被测量来分类时,使用的对象比较明确;以工作原理来分类时,传感器采用的原理比较清楚。

六、传感器的一般要求

由于各种传感器的原理、结构不同,使用环境、条件、目的不同,其技术指标也不可能相同,但是一般要求却基本上是共同的:

- (1) 足够的容量——传感器的工作范围或量程足够大,具有一定的过载能力。
- (2) 灵敏度高,精度适当——即要求其输出信号与被测信号成确定的关系(通常为线性),且比值要大;传感器的静态响应与动态响应的准确度能满足要求。
- (3) 响应速度快,工作稳定,可靠性好。
- (4) 使用性和适应性强——体积小,重量轻,动作能量小,对被测对象的状态影响小;内部噪声小而又不受外界干扰的影响;其输出力求采用通用或标准形式,以便与系统对接。
- (5) 使用经济——成本低,寿命长,且便于使用、维修和校准。

当然,能完全满足上述性能要求的传感器是很少的。我们应根据应用的目的、使用环

境、被测对象状况、精度要求和原理等具体条件作全面综合考虑。

七、传感器技术的发展趋势

当前,传感器技术的主要发展动向,一是开展基础研究,发现新现象,开发传感器的新材料和新工艺;二是实现传感器的集成化与智能化。

(1) 发现新现象,开发新材料——新现象、新原理、新材料是发展传感器技术,研究新型传感器的重要基础,每一种新原理、新材料的发现都会伴随着新的传感器种类诞生。

(2) 集成化,多功能化——向敏感功能装置发展。传感器的集成化积极地应用了半导体集成电路技术,其开发思想用于传感器制造。如采用厚膜和薄膜技术制作传感器,采用微细加工技术制作微型传感器等。

(3) 向未开发的领域挑战——生物传感器。到目前为止,正大力研究、开发的传感器大多为物理传感器,今后应积极开发研究化学传感器和生物传感器。特别是智能机器人技术的发展,需要研制各种模拟人的感觉器官的传感器,如已有的机器人力觉传感器、触觉传感器、味觉传感器等。

(4) 智能传感器——具有判断能力、学习能力的传感器。事实上是一种带微处理器的传感器,它具有检测、判断和信息处理功能。如美国霍尼韦尔公司制作的 ST-3000 型智能传感器,采用半导体工艺,在同一芯片上制作 CPU、EPROM 和静态压力、压差、温度三种敏感元件。

从构成上看,智能化传感器是一个典型的以微处理器为核心的计算机检测系统。它一般由图 1-4 所示的几个部分构成。

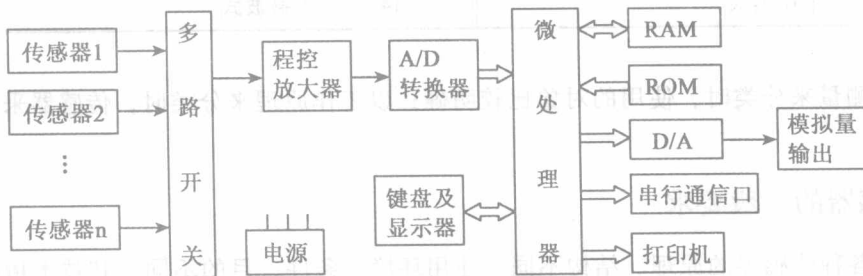


图 1-4 智能化传感器的构成

同一般传感器相比,智能化传感器有以下几个显著特点:

(1) 精度高。由于智能化传感器具有信息处理的功能,因此通过软件不仅可以修正各种确定性系统误差(如传感器输入输出的非线性误差、温度误差、零点误差、正反行程误差等),而且还可以适当地补偿随机误差,降低噪声,从而使传感器的精度大大提高。

(2) 稳定、可靠性好。它具有自诊断、自校准和数据存储功能,对于智能结构系统还有自适应功能。

(3) 检测与处理方便。它不仅具有一定的可编程自动化能力,根据检测对象或条件