

传感器与单片机 接口及实例

来清民 主编



北京航空航天大学出版社

TP212/161

2008

传感器与单片机 接口及实例

来清民 主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书介绍传感器与单片机接口电路的硬件设计以及软件设计,以新颖、实用、完整和典型的原则,详细讲述了传感器的分类、工作原理以及传感器与单片机的接口电路设计。在阐述中不仅突出了传感器的基本概念、传感器与单片机接口的基本方法,还特别给出了具体的应用实例。这些应用实例选用常用传感器为对象,详细给出了传感器接口的具体硬件电路和软件程序设计方法。可作为电子信息、仪器仪表、工业自动化、自动控制及机电类专业的大学本科生或研究生的教材,也可供相应科技、工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与单片机接口及实例/来清民主编. — 北京:北京航空航天大学出版社, 2008. 1
ISBN 978-7-81124-237-9

I. 传… II. 来… III. ①传感器—接口—高等学校—教材②单片微型计算机—接口—高等学校—教材 IV. TP212
TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 171011 号

未经本书出版者书面许可,不得以任何方式抄袭本书部分或全部内容,版权所有,侵权必究。

传感器与单片机接口及实例

来清民 主编

责任编辑 许振伍 胡伟卷

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpresse@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:18 字数:403 千字
2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-237-9 定价:28.00 元

本书编委会

主 编 来清民

副主编 张玉英 张习民

编 委 (按姓氏笔划为序)

张习民 张玉英

张艳红 来清民

琚新刚 魏红彬

前言

随着计算机控制技术的普及和发展,智能控制设备和智能仪器仪表在工农业生产和日常生活中的使用越来越普遍。这些应用都具有一个共同的过程和一个共同的特点。共同的过程就是信号的采集、传输和处理过程;共同的特点就是使用传感器完成信号的采集,使用微处理器或单片机(微控制器)完成信号的处理。很显然,传感器与单片机的接口技术就是智能设备中的一个关键性问题。

传感技术是现代电子信息技术的关键技术之一。传感器能将各种物理量、化学量和生物量等信号转变为电信号,使得人们可以利用计算机实现自动测量、信息处理和自动控制。但是传感器采集的电信号分为两种:一种是模拟信号,它不能直接输送到单片机,要先进行 A/D 转换,然后才能送到单片机进行直接处理;一种是数字信号,它可以直接输送给单片机,无论是模拟传感器,还是数字传感器都存在与单片机的硬件或软件的衔接问题。

总之,传感器必须经过适当的接口电路或接口软件的“衔接”,才能满足信号的处理、显示和控制的要求。传感器种类繁多,而且新的传感器不断产生,这就使传感器与单片机的接口方式千变万化,接口的软硬件设计方法各异,这也给读者使用传感器带来很大不便。尽管有关传感器与单片机的接口的书籍面世很多,但是能给出传感器与单片机接口具体实例的书籍还比

前言

较少,因此,我们本着新颖、实用、完整和典型的原则编写了本书。

本书首先系统地介绍了传感器的基础知识和工作原理,然后根据传感器与单片机接口的不同方式,分别阐述传感器采集信号的转换,以及传感器与单片机接口的硬件电路设计,最后根据典型性原则给出了常用传感器与单片机接口的软硬件设计实例和源程序,各个源程序代码都经过了调试。

第1章介绍了传感器的定义、分类、特性、发展方向和传感器信号的转换;第2章首先介绍了力传感器的分类和工作原理,然后着重分析了典型的应变式传感器与单片机接口的软硬件设计,给出了智能压力测试系统结构、软件流程图和源程序;第3章介绍了最常用的温度传感器,不仅给出了各种温度传感器与单片机的硬件接口电路,还给出了典型的应用实例以及这些应用实例的软件程序;第4章介绍脉冲式传感器的测量原理,主要讨论典型的霍尔传感器和光电传感器的工作原理和应用实例;第5章介绍辐射式传感器的工作原理,着重讨论超声波传感器和红外传感器的工作原理和应用实例;第6章介绍谐振式传感器的测量原理,着重讨论湿度传感器的工作原理和应用实例。

本书内容丰富、实用性强,适合作为电子信息、仪器仪表、工业自动化、自动控制及机电类专业的大学本科高年级学生或研究生的教材,也可供从事传感器技术和单片机应用的研究、开发与生产的科技工作者和工程技术人员参考。

本书由来清民任主编,张玉英、张习民任副主编。参加编写的有魏红彬、琚新刚和张艳红。其中,第1章由张艳红编写,第2章由琚新刚编,第3章的3.1、3.3、3.4节和第4章由来清民编写,第3章3.2节由张习民编写,第3章3.5节和第6章由魏红彬编写,第5章由张玉英编写。来清民做了全书的统稿工作。

由于时间仓促,作者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。读者可通过 lqm1111@tom.com 与作者联系,我们会认真听取您的批评意见。

作者

2007年8月



第1章 概述

1.1 传感器的定义与组成	1
1.2 传感器技术的地位和作用	2
1.3 传感器的命名表示方法	3
1.3.1 传感器的命名	3
1.3.2 传感器的图形符号表示	5
1.4 传感器的分类	6
1.5 传感器的基本特性	9
1.5.1 传感器的静态特性	9
1.5.2 传感器的动态特性	12
1.6 传感器的发展方向	19
1.7 传感器信号的标准化处理	20
1.7.1 电压/电流转换器	21
1.7.2 电流/电压转换电路	26
习 题	31

第2章 力传感器与单片机的接口技术

2.1 力传感器的基本原理与分类	32
2.1.1 力传感器的基本原理	32
2.1.2 力传感器的分类	33
2.2 电容式压力及力传感器	34
2.2.1 电容式传感器的工作原理	34
2.2.2 电容式传感器的测量电路	

2.2.3 电容式力、压力传感器的应用	37
2.2.4 电容式力学传感器的硬件接口电路	38
2.3 电阻应变式传感器	42
2.3.1 电阻应变式传感器的结构与分类	42
2.3.2 应变式传感器的工作原理	43
2.3.3 应变片的主要参数和工作特性	46
2.3.4 应变式传感器的电桥原理与桥路连接	51
2.3.5 应变式传感器的温度误差及其补偿	58
2.3.6 电阻应变式传感器的应用	61
2.3.7 力传感器与单片机接口实例	64
习 题	76

第3章 温度传感器与单片机的接口及实例

3.1 温度传感器的基本原理和分类	77
-------------------	----

目 录

3.1.1 温度传感器测温原理和 常见种类	77	3.5.1 DS1624 的基本特性	149
3.1.2 温度传感器的分类	79	3.5.2 DS1624 的工作原理	150
3.2 分立式温度传感器与单片机的 接口	80	3.5.3 DS1624 的工作方式	152
3.2.1 PN 结温度传感器的测温原理	80	3.5.4 DS1624 的指令集	152
3.2.2 PN 结温度传感器与单片机 的硬件接口	82	3.5.5 注意事项	154
3.2.3 热敏电阻传感器的测温原理 和分类	85	3.5.6 DS1624 与单片机的接口实例	154
3.2.4 热敏电阻传感器与单片机 的接口实例	90	习 题	162
3.2.5 热电偶传感器的测温原理 和分类	110	第 4 章 脉冲式传感器与单片机的接口技术	
3.2.6 热电偶传感器与单片机的 接口实例	116	4.1 脉冲式传感器的测量原理与分类	164
3.3 模拟集成温度传感器与单片机 的接口技术	131	4.2 霍尔传感器结构与工作原理 ...	164
3.3.1 集成温度传感器 AD590 的工作原理	132	4.2.1 霍尔效应	164
3.3.2 AD590 与单片机的接口实例	133	4.2.2 基本工作原理	165
3.4 数字温度传感器 DS18B20 的 工作原理	139	4.2.3 霍尔元件的结构与特性 ...	167
3.4.1 DS18B20 的特性	139	4.2.4 霍尔元件的测量误差及补偿	168
3.4.2 DS18B20 的内部结构	140	4.2.5 霍尔开关集成电路	171
3.4.3 DS18B20 的存储器及测得 温度值	141	4.2.6 霍尔传感器与单片机接口实例	174
3.4.4 DS18B20 的工作时序	142	4.3 光电式传感器结构与工作原理	180
3.4.5 DS18B20 与单片机的接口实例	144	4.3.1 光电器件及光电效应	180
3.5 DS1624 数字式温度传感器的 工作原理	149	4.3.2 内光电效应及其器件	180
		4.3.3 光生伏特效应及其器件 ...	183
		4.3.4 光电传感器与单片机接口实例	189
		习 题	197
		第 5 章 辐射式传感器与单片机的接口 及实例	
		5.1 辐射式传感器的原理与分类 ...	198
		5.1.1 辐射式传感器的工作原理	198
		5.1.2 辐射式传感器的分类	199

5.2 超声波传感器的基本原理和分类	199	5.5.1 核辐射传感器基本原理	244
5.2.1 超声波传感器的基本原理	199	5.5.2 核辐射传感器的应用	248
5.2.2 超声波传感器测距工作原理	204	习 题	248
5.2.3 超声波传感器与单片机接口实例	205	第 6 章 谐振式传感器与单片机的接口技术	
5.3 红外传感器基本原理和分类	213	6.1 谐振式传感器的测量原理与分类	249
5.3.1 红外传感器基本原理	213	6.2 频率式电容湿度传感器的原理及应用	250
5.3.2 红外传感器的分类	218	6.2.1 湿度的概念	250
5.3.3 主动式红外传感器与单片机接口实例	219	6.2.2 湿度传感器的主要参数	251
5.4 被动式红外传感器与单片机的接口	223	6.2.3 高分子电容式湿度传感器	252
5.4.1 被动式红外传感器基本原理	223	6.2.4 湿度传感器与单片机接口实例	255
5.4.2 单元热释电红外传感器工作原理及其常见器件	224	6.3 压电传感器的工作原理及应用	266
5.4.3 二元热释电红外传感器工作原理及其常见器件	226	6.3.1 压电效应	266
5.4.4 菲涅尔透镜	229	6.3.2 压电材料	267
5.4.5 热释电红外传感器的应用	234	6.3.3 压电元件等效电路	269
5.4.6 热释电红外传感器与单片机接口实例	237	6.3.4 压电传感器在谐振测温中的应用	270
5.5 核辐射传感器基本原理和分类		6.3.5 压电测力传感器与单片机接口实例	273
		习 题	277
		参考文献	278

第 1 章

概 述

本章主要介绍传感器的定义、组成、命名方法、分类和作用,详细叙述了传感器的基本特性和发展方向,还从传感器与单片机的接口需要出发,介绍了对传感器输出信号进行标准化处理的方法、电路和相关器件。通过本章的学习,读者应重点掌握传感器的概念、分类、特性和作用,为在测控系统中进行传感器的设计和应用做好准备。

1.1 传感器的定义与组成

传感器是人类探知自然界信息的触角。在人类文明的发展历史中,感受、处理外部信息的传感技术就一直在探索和发展着。在古代,传感技术由人的感官来实现,“人观天象而仕农耕,察火色而冶铜铁”。从 18 世纪产业革命以来,特别是在 20 世纪信息革命中,传感技术越来越多地由人造感官,即传感器来实现。目前,传感器的应用如此广泛,可以说任何机械电气系统都离不开它。首先,来看传感器的定义。

最广义地说,传感器是一种能把特定的信息(物理、化学、生物)按一定规律转换成某种可用信号输出的器件或装置。狭义地讲,它是能把外界非电信息转换成电信号输出的器件。国际电工委员会(IEC, International Electrotechnical Commission)的定义为:“传感器是测量系统中的一种前置部件,它将输入变量转换成可供测量的信号。”对传感器精练的概括也可用一感二传来描述,即感受被测信息,并将感测到的信息传送出去。国家标准 GB7665—87 对传感器下的定义是:“能够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,通常由敏感元件和转换元件组成。”具体框图如图 1-1 所示,它主要由 3 部分组成:敏感元件、转换元件和转换电路。其中,敏感元件是直接感受被测量,并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件;转换元件是将敏感元件感受或响应的被探测

第1章 概述

量转换成电路参数量的元件;转换电路是将上述电路参数接入,并转换为电量输出。

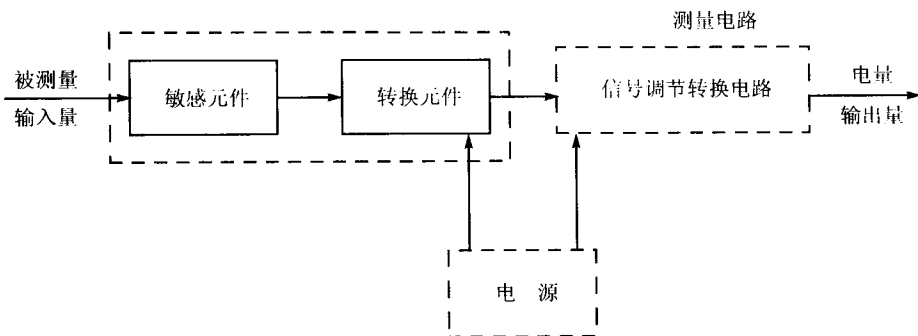


图 1-1 传感器组成框图

实际上,有的传感器简单,有的传感器复杂,有些是带反馈的闭环系统。传感器的组成也不尽相同:最简单的传感器由一个敏感元件组成,如热电偶,在感受被测量时直接输出电量;有些传感器由敏感元件和转换元件组成,没有转换电路,如压电加速度传感器,其中质量块是敏感元件,压电片是转换元件;有的传感器转换元件不止一个,要经过多次转换。

虽然在传感器的定义中没有明确表明其包含转换电路,但因为不少传感器要通过转换电路之后才能输出电量信号,从而决定了转换电路是传感器的组成部分之一。

1.2 传感器技术的地位和作用

构成现代信息技术的三大支柱是:传感器技术(信息采集);通信技术(信息传输);计算机技术(信息处理)。它们在信息系统中分别起到“感官”、“神经”和“大脑”的作用。因而,在信息的准确获取方面,作为信息采集系统的前端单元,传感器技术起着关键的作用。作为信息处理的后续单元,计算机技术的发展为信息的进一步处理提供了强大的技术保障。而作为传感器与微处理器(计算机)连接的关键部件——接口部分,也在不断地得到规范和完善。

目前传感器技术已经在越来越多的领域得到应用,传感器对观测和自动化技术所起的作用远比对家用电器所起到的作用大得多,这几乎是无可争议的事实。

传感器广泛用于工业、农业、商业、交通、环境监测、医疗诊断、军事科研、航空航天、现代办公设备、智能楼宇和家用电器等领域,是构建现代信息系统的重要组成部分。

在基础学科研究中,传感器更有突出的地位,包括宏观上的茫茫宇宙、微观上的粒子世界、长时间的天体演化、短暂的瞬间反应、超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、弱磁场等极端技术研究。传感器的发展,往往是一些边缘学科开发的先驱。

现代工业生产,尤其是在自动化生产过程中,需要用各种传感器监视和控制生产过程的各个参数。传感器是自动控制系统的关键基础器件,直接影响到自动化技术的水平。

传感器具有的作用和功能可列举如下:

- 测量与数据采集
- 检测与控制
- 诊断与监测
- 辅助观测仪器
- 资源探测
- 环境保护
- 医疗卫生
- 家用电器

未来世界是个充满传感器的世界,将会出现:智能房屋(自动识别主人、太阳能提供能源);智能衣服(自动调节温度);智能公路(自动记录公路的压力、温度、车流量);智能汽车(无人驾驶、卫星定位)。

传感器已渗透到宇宙开发、海洋探测、军事国防、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、商检质检,甚至文物保护等极其广泛的领域。可以毫不夸张地说,几乎每个现代化项目,各种复杂工程系统,都离不开各种各样的传感器。

由此可见,传感器技术在发展经济、推动社会进步方面的重要作用是十分明显的。世界各国十分重视这一领域的发展。

1.3 传感器的命名表示方法

1.3.1 传感器的命名

随着传感器技术的发展,形形色色的传感器产品应运而生。由于传感器的原理、结构、材料及制造工艺的不同,传感器的品种千差万别。对这些名目繁多、性能各异的传感器产品,需进行科学的命名和分类。

根据国标 GB/T7666—2005 规定,一种传感器的全称应由“主题词+四级修饰语”组成,即:

- 主题词——传感器。
- 一级修饰语——被测量,包括修饰被测量的定语。
- 二级修饰语——转换原理,一般可后续以“式”字。

第1章 概述

- 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、敏感元件以及其他必要的性能特征,一般可后续以“型”字。
- 四级修饰语——主要技术指标,如量程、精确度、灵敏度范围等。

在运用这种命名法时,应注意以下几个问题:

第一,使用场合不同,修饰语的排序也不同。在有关传感器的统计报表、图书检索及计算机文字处理等场合,传感器名称应采用正序排列:

传感器←一级修饰语←二级修饰语←三级修饰语←四级修饰语

示例 1:“传感器,位移,应变计式,100 mm”

示例 2:“传感器,加速度,压电式,±20 g”

第二,在技术文件、产品说明书、学术论文、教材、书刊等的陈述句中,传感器名称应采用反序排列:

四级修饰语→三级修饰语→二级修饰语→一级修饰语→传感器

示例 1:“100 mm 应变计式位移传感器”

示例 2:“±20 g 压电式加速度传感器”

第三,传感器(主称)+四级修饰语组成全称。在实际运用中,可根据产品的具体情况省略任何一级修饰语。但国标规定,传感器作为商品出售时,第 1 级修饰语不得省略。

示例:“购进了 150 支各种测量范围的电位器式线位移传感器”(此例省略了第 3、第 4 级修饰语)。

“压电式传感器是一种很有发展前途的物性型传感器”(省略了第 1、第 3、第 4 级修饰语)。

传感器的完整代号用大写汉语拼音和阿拉伯数字构成,根据 GB/T7666—2005 规定,一种传感器的代号应包括以下 4 部分:

a——主称(传感器)。用汉语拼音 C 标记。

b——被测量。用其一个或两个汉语拼音的大写字母来表示(如“电流”表示为 DL),当这组代号与该组另一个代号重复时,则取汉语拼音的第 2 个字母作代号(如被测量为“声压”,代号为 SY;被测量为“生物化学需氧量时”,代号为 HY)。

c——转换原理。用其一个或两个汉语拼音的大写字母来表示(如“磁电”表示为 CD)。

d——序号。用阿拉伯数字标记,可表征产品设计特征、性能参数、产品系列等。

4 部分代号表述格式如图 1-2 所示。在被测量、转换原理、序号 3 部分代号之间需有连字符“-”连接。

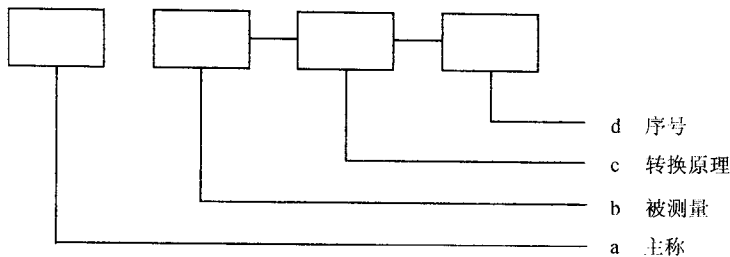
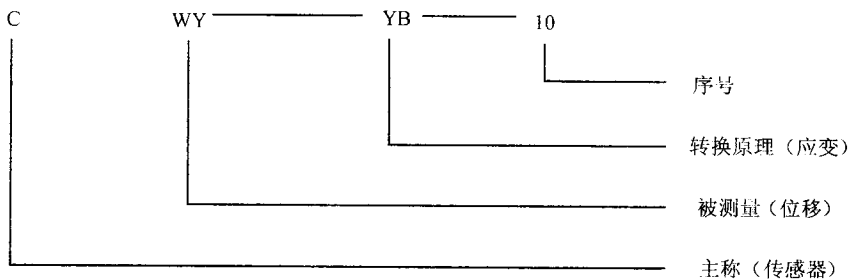


图 1-2 传感器产品代号的编写格式

传感器代号标记实例如下：



1.3.2 传感器的图形符号表示

国标 GB/T14479—93 规定传感器图用图形符号表示方法如图 1-3 所示。其中，正方形表示转换元件；三角形表示敏感元件；x 表示被测量符号；□表示转换原理。

几个典型传感器的图形符号：如图 1-4 所示，为电容式压力传感器；图 1-5 所示为压电式加速度传感器；图 1-6 所示为电位器式压力传感器。

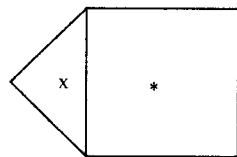


图 1-3 传感器用图形符号

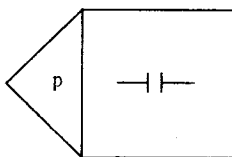


图 1-4 电容式压力传感器

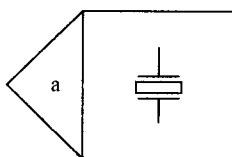


图 1-5 压电式加速度传感器

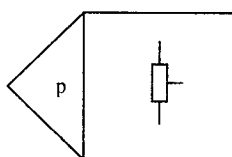


图 1-6 电位器式压力传感器

第1章 概述

1.4 传感器的分类

传感器的分类目前尚无统一规定,传感器本身又种类繁多,原理各异,检测对象五花八门,因而给分类工作带来了一定困难。通常传感器按下列原则进行分类:

1. 按被检测量分类

可分为物理量传感器、化学量传感器、生物量传感器。在各类传感器中可分为若干族,每一族中又可分为若干组。此类分法如表1-1所列。

2. 按物理原理分类

这种分类方法以传感器的物理原理作为分类依据,可分为压阻式、压电式、电感式、电容式、应变式、霍尔式等。这种分类方法有利于传感器专业工作者从原理和设计上做归纳性的分析和研究。

3. 按能量的传递方式分类

传感器可分为有源传感器和无源传感器两大类。有源传感器将非电量转换为电量。无源传感器本身并不是一个换能器,被测非电量仅对传感器中的能量起控制或调节作用,所以它必须具有辅助能源——电源。

4. 按传感器的工作机理分类

可分为结构型、物性型和复合型三大类。

结构型传感器是利用物理学中场的定律和运动定律等构成的。物理学中的定律一般是以方程式给出的,对于传感器来说,这些方程式也就是许多传感器在工作时的数学模型。这类传感器的特点是传感器的性能与它的结构材料没有多大关系。以差动变压器为例,无论使用铍镍合金或铁氧体做铁芯,还是使用铜线或其他导线做绕组,都是作为差动变压器而工作的。

物性型传感器是利用物质法则构成的。物质法则是表示物质某种客观性质的法则。这种法则大多数以物质本身的常数形式给出。这些常数的大小,决定了传感器的主要性能。因此,物性型传感器的性能随材料的不同而异。如所有的半导体传感器,以及所有利用各种环境变化而引起的金属、半导体、陶瓷、合金等性能变化的传感器都是物性型传感器。

复合型传感器是指将中间转换环节与物性型敏感元件复合而成。采用中间环节的目的在于,在大量的被测非电量中(如光、磁等)可直接利用敏感材料的物质特性转换为电信号。因此,为了能够增加非电量的测量种类,就必须将不能直接转换成电信号的非电量变换成上述少量中的一种,然后再用某种物性型敏感元件将其转化为电信号。可见,复合型传感器实

实际上既具有将待测非电量变成中间变量的功能,又具有将中间信号转换成电信号的功能。

5. 按传感器的转换原理分类

有机-电传感器、光-电传感器、热-电传感器、磁-电传感器、电化学传感器等。

6. 按传感器的功能分类

有单功能传感器、多功能传感器、智能传感器。

7. 按输出信号分类

根据传感器输出是模拟信号还是数字信号,可分为模拟传感器和数字传感器。

此外,根据转换过程可逆与否,可分为双向传感器和单向传感器,等等。

表 1-1 按检测原理分类

类	族	组	具体名称
物理量传感器	机械量传感器	物理机械量传感器	硬度传感器 粘度传感器 密度传感器 浊度传感器
		几何量传感器	厚度传感器 形状传感器 面积传感器 角度传感器
		位置传感器	物(液)位传感器 线位移传感器
		流量传感器	体积流量传感器 质量流量传感器
		速度传感器	线速度传感器 角速度传感器
		加速度传感器	冲击传感器 振动传感器 加加速度传感器 角加速度传感器
		压力传感器	动态压力传感器 静态压力传感器 表压传感器 真空传感器 差压传感器 绝压传感器
		力传感器	重量称重传感器 测力传感器 张力传感器 力矩传感器

第1章 概 述

续表 1-1

类	族	组	具体名称
物理量传感器	热学量传感器	热流传感器 热导率传感器 温度传感器	
	光学量传感器	激光传感器 图像传感器 色度传感器 红外线传感器	
	电学量传感器	电场强度传感器 电压(电流)传感器	
	磁学量传感器	磁通传感器 磁场强度传感器	
	声学量传感器	超声波传感器 声表面波传感器	
	核辐射传感器	X射线传感器 β 射线传感器 γ 射线传感器 辐射剂量传感器	
化学量传感器	气体传感器	气体分压传感器 气体浓度传感器	
	湿度传感器	露点传感器 水分传感器	
	离子传感器	离子活度传感器 离子浓度传感器 成分传感器 PH传感器	
生物量传感器	生理量传感器	生理化学量传感器	血液成分传感器 激素传感器
		生理机械量传感器	心音传感器 血压传感器 肌肉张力传感器
	微生物传感器	葡萄糖传感器 甲烷传感器	
	酶传感器		
	组织传感器		
	免疫传感器		