



Robot Sensor and Multi-sensor Information
Fusion Technology

机器人传感器 及其信息融合技术

郭彤颖 张辉 主编



化学工业出版社



**Robot Sensor and Multi-sensor Information
Fusion Technology**

机器人传感器 及其信息融合技术

郭彤颖 张辉 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细介绍了机器人传感器的基础知识和工作原理，以及多传感器信息融合技术的应用实例。全书共分 10 章，主要内容有传感器的定义与分类、基本组成，机器人的系统组成，机器人常用的传感器，智能传感器技术及应用，多传感器信息融合技术的定义、分类，多传感器信息定量和定性融合的方法，最后介绍了多传感器信息融合技术在装配机器人、焊接机器人、移动机器人导航、测距和避障中的应用实例。

本书既可作为从事机器人学研究、开发和应用，以及正在学习机器人传感器相关技术的工程师和技术人员的参考书或培训教材，也可以作为高等院校自动控制、电子工程、机械工程、机电一体化、计算机应用等相关专业的高年级本科生或研究生的教材。



图书在版编目 (CIP) 数据
机器人传感器及其信息融合技术/郭彤颖，张辉主编.
北京：化学工业出版社，2016.12
ISBN 978-7-122-28365-8
I. ①机… II. ①郭… ②张… III. ①机器人-传感器-
信息融合 IV. ①TP242
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 252796 号

责任编辑：韩亚南 曾 越	文字编辑：陈 喆
责任校对：宋 夏	装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司
装 订：三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 10³/₄ 字数 251 千字 2017 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：49.00 元	版权所有 违者必究
-------------	-----------



传感器技术是现代科技的前沿技术，发展迅猛，它同计算机技术、通信技术一起被称为信息技术的三大支柱。机器人使用的传感器作为机器人信息获取的源头，技术也日趋成熟完善，这在一定程度上推动着机器人技术的发展。我们不得不承认，即使是目前世界上智能程度最高的机器人，它对外部环境变化的适应能力也非常有限，还远远没有达到人们预想的目标。为了解决这一问题，机器人研究领域的学者们一方面研发机器人的各种外部传感器，研究多信息处理系统，使其具有更高的性能指标和更广的应用范围；另一方面，研究多传感器信息融合技术，为机器人的决策提供更准确、更全面的环境信息。

机器人传感器及其信息融合技术的研究涉及人工智能、电子、机械、控制、计算机、信号处理等诸多理论和技术，是一个国家高科技水平和工业自动化程度的重要体现。本书旨在为机械、电子、计算机、控制工程师和工程技术专家们，以及研究生或高年级本科生提供必备的知识。在内容编排方面，注重理论与工程实际的结合、基础知识与现代技术的结合，内容丰富，反映了机器人传感器的基础知识以及与其相关的先进理论和技术。

本书共分10章，第1章主要讲解传感器的基础知识，包括传感器的定义与特点、组成与分类、机器人与传感器、传感器及其技术的发展趋势、多传感器信息融合的应用领域；第2章介绍机器人系统组成，以及各组成部分的功能和特点；第3章从机器人内部传感器和外部传感器两个方面介绍了机器人常用传感器的种类和工作原理；第4章介绍智能传感器的定义、构成、关键技术、功能与特点，以及无线传感网络和模糊传感器技术及其应用实例；第5章介绍多传感器信息融合的定义、分类和系统结构；第6章介绍多传感器定量信息融合的常用方法，包括传感数据的一致性检验和基于参数估计的信息融合方法；第7章介绍多传感器定性信息融合的常用方法，包括Bayes方法、Dempster-Shafer证据推理、模糊理论、神经网络法、粗糙集理论的原理及其应用；第8章列举了多传感器在装配机器人中的应用实例，介绍了装配机器人多传感器系统的组成及其功能；第9章列举了多传感器在焊接机器人中的应用实例，介绍了焊接机器人利用超声传感器和视觉传感器进行焊缝跟踪的原理；第10章列举了多传感器在移动机器人导航、测距和避障中的应用实例。

本书由郭彤颖进行整体策划与统稿，由郭彤颖和张辉主编，其中第1章由郭彤颖、何嘉宁编写，第2、3章由郭彤颖、王海忱编写，第4章由张辉、任丹编写，第5章由郭彤颖、刘剑编写，第6章由许崇、陈露编写，第7章由王长涛、宫巍、陈露编写，第8章由郭彤颖、刘冬莉编写，第9章由郭彤颖、刘淑娟、赵岚光编写，第10章由郭彤颖、冯群、

刘伟编写。

本书的编写参考了国内外学者的相关论著和资料，在此一并表示衷心的感谢。

由于机器人技术的发展日新月异，再加上时间仓促、水平有限，本书难以全面、详细地对机器人传感器技术的研究前沿和热点问题一一进行探讨。书中存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者



第1章 传感器的基础知识

1.1 传感器的定义和特点	1
1.2 传感器的组成和分类	1
1.3 传感器的标定	7
1.4 机器人与传感器	9
1.5 传感器及其技术的发展趋势	10
1.6 多传感器信息融合的应用领域	12

第2章 机器人系统组成

2.1 机器人系统组成概述	14
2.2 机械结构系统	14
2.2.1 机械构件	14
2.2.2 传动机构	20
2.3 驱动系统	27
2.3.1 液压驱动	27
2.3.2 气压驱动	29
2.3.3 电气驱动	30
2.4 感知系统	32
2.4.1 机器人对传感器的要求	32
2.4.2 常用传感器的特性	34
2.5 控制系统	35
2.6 人机交互系统	37
2.7 机器人-环境交互系统	37

第3章 机器人常用的传感器

3.1 机器人传感器的分类	38
3.2 常用的内部传感器	39
3.2.1 位置传感器	39
3.2.2 速度传感器	42

3.2.3	加速度传感器	43
3.2.4	倾斜角传感器	45
3.2.5	力觉传感器	46
3.3	常用外部传感器	48
3.3.1	视觉传感器	48
3.3.2	触觉传感器	51
3.3.3	接近度传感器	54
3.3.4	激光传感器	58

第4章 智能传感器

4.1	智能传感器概述	60
4.1.1	智能传感器的定义	60
4.1.2	智能传感器的构成	61
4.1.3	智能传感器的关键技术	61
4.2	智能传感器的功能与特点	65
4.2.1	智能传感器的功能	65
4.2.2	智能传感器的特点	66
4.3	智能传感器的实现技术	67
4.3.1	非集成化智能传感器	68
4.3.2	集成化智能传感器	68
4.3.3	混合式智能传感器	69
4.4	无线传感网络技术及其应用	70
4.4.1	无线传感网络技术	70
4.4.2	无线传感器网络在移动机器人通信中的应用	74
4.5	智能模糊传感器技术及其应用	76
4.5.1	智能模糊传感器技术	76
4.5.2	模糊传感器在测量血压中的应用	79

第5章 多传感器信息融合技术概述

5.1	多传感器信息融合的定义	81
5.2	多传感器信息融合的分类	81
5.3	多传感器信息融合的系统结构	86
5.4	多传感器信息融合的方法	87

第6章 多传感器的定量信息融合

6.1	传感器的建模	91
6.1.1	观测模型	92

6.1.2	相关模型	93
6.1.3	状态模型	94
6.2	传感数据的一致性检验	94
6.2.1	假设检验法	95
6.2.2	距离检验法	96
6.2.3	人工神经网络方法	98
6.3	基于参数估计的信息融合方法	99

第7章 多传感器的定性信息融合

7.1	Bayes 方法	103
7.1.1	Bayes 条件概率	103
7.1.2	Bayes 方法在信息融合中的应用	103
7.1.3	基于目标分类的 Bayes 决策方法	104
7.2	Dempster-Shafer 证据推理	106
7.2.1	D-S 理论的基础概念	106
7.2.2	Dempster 合成法则	107
7.2.3	D-S 证据理论在融合中的应用	108
7.3	模糊理论	110
7.3.1	模糊理论	110
7.3.2	模糊理论在融合中的应用	111
7.4	神经网络法	111
7.4.1	神经网络融合信息的一般方法	112
7.4.2	神经网络在融合中的应用	113
7.5	粗糙集理论	114
7.5.1	粗糙集理论	114
7.5.2	基于粗糙集理论的多传感器信息融合	118

第8章 多传感器在装配机器人中的应用

8.1	多传感器信息融合系统组成	123
8.2	位姿传感器	124
8.3	柔性腕力传感器	127
8.4	工件识别传感器	128
8.5	视觉传感系统	129

第9章 多传感器在焊接机器人中的应用

9.1	焊接机器人常用的传感器	131
9.2	电弧传感系统	131

9.3 超声传感跟踪系统 133

9.4 视觉传感跟踪系统 135

第 10 章 多传感器信息融合在移动机器人中的应用

10.1 概述 137

10.2 多传感器信息融合在移动机器人导航中的应用 139

10.3 多传感器信息融合在移动机器人测距中的应用 143

10.4 多传感器信息融合在移动机器人避障中的应用 157

参考文献

第1章

传感器的基础知识

1.1 传感器的定义和特点

传感器是能感知外界信息并能按一定规律将这些信息转换成与之对应的有用输出信号的元器件或装置。简单地说，传感器是将外界信号转换成电信号的装置。具体地说，传感器是一种检测装置，能够感受诸如位移、速度、力、温度、湿度、流量、光、化学成分等非电量，并能把它们按照一定的规律转换为电压、电流等电量，或转换成电路的通断，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

传感器的特点表现在知识密集程度高，涉及多学科知识；技术复杂，工艺要求高；功能优，性能好；品种繁多，应用广泛。

1.2 传感器的组成和分类

(1) 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、测量电路、辅助电路等组成，如图 1-1 所示。其中敏感元件和转换元件可能合二为一，而有的传感器不需要辅助电源。

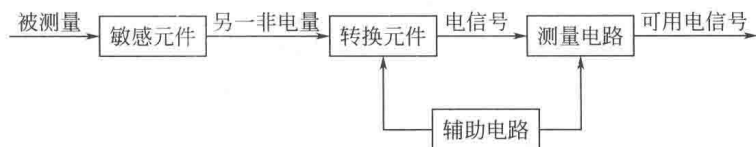


图 1-1 传感器组成框图

① 敏感元件 能直接感受与检测被测对象的非电量并按一定规律转换成与被测量有确定关系的其他量的元件。

② 转换元件 又称变换器，能将敏感元件感受到的与被测量成确定关系的非电量转换成电量的器件。

③ 测量电路 把转换元件输出的电信号变换成为便于记录、显示、处理和控制的有用电信号的电路，又称“信号调理电路”。常用的电路有电桥、放大器、振荡器、阻抗变

换器、脉冲调宽电路等。

④ 辅助电路 通常包括电源等。

(2) 传感器的分类

传感器的种类很多，原理各异，检测对象门类繁多，因此其分类方法也有许多种。人们通常根据需要，从不同的角度，为突出某一方面进行分类。下面介绍几种常用的分类，如表 1-1 所示。

表 1-1 传感器的分类及其说明

分类法	类型	说 明
按构成原理分类	结构型	以转换元件结构参数变化实现信号转换的传感器,如应变式压力传感器、电容式压力传感器
	物性型	以转换元件物理特性变化实现信号转换的传感器,如压电式压力传感器、光电式传感器
按能量关系分类	能量转换型	传感器输出量直接由被测量能量转换而来;在信号变换过程中,它不需要外电源,如基于压电效应、热电效应等的传感器
	能量控制型	传感器输出量能量由外部能源提供,但受输入量控制;在信号变换过程中,其能量需要外电源供给。如电阻式、电感式、电容式等电路参量式传感器,以及基于应变电阻效应、磁阻效应、热阻效应、霍尔效应等的传感器
按基本效应分类	物理型	采用物理效应进行转换;如力、热、光、电、磁、声、气、速度、流量等效应
	化学型	采用化学效应进行转换;如化学吸附、电化学反应等效应
	生物型	采用生物效应进行转换;基于酶、抗体和激素等分子识别功能
按工作原理分类	电阻式	利用电阻参数变化实现信号转换
	电容式	利用电容参数变化实现信号转换
	电感式	利用电感参数变化实现信号转换
	压电式	利用压电效应实现信号转换
	磁电式	利用电磁感应原理实现信号转换
	热电式	利用热电效应实现信号转换
	光电式	利用光电效应实现信号转换
	光纤式	利用光纤特性参数变化实现信号转换
按输出量分类	模拟式	输出量为模拟信号(电压、电流、…)
	数字式	输出量为数字信号(脉冲、编码、…)
按被测量类别分类	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;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、盐度、浓度、黏度;密度、相对密度
	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

此外，按传感器用途分，可以分为位置、力、液面、能耗、速度、温度、流量、加速度、角度、距离、气敏、味敏、色敏、真空度、生物等传感器。按新型传感器分类，可以分为激光传感器、红外传感器、智能传感器、微传感器、网络传感器、超声波传感器、生物传感器等。

下面举例说明几种传感器的工作原理及其应用。

(1) 物理传感器

物理传感器是检测物理量的传感器。它是利用某些物理效应,把被测量的物理量转化为便于处理的能量形式的信号的装置。其输出的信号和输入的信号有确定的关系。主要的物理传感器有光电式传感器、压电传感器、压阻式传感器、电磁式传感器、热电式传感器、光导纤维传感器等。

以光电式传感器为例,介绍一下它的工作原理。这种传感器把光信号转换成为电信号,它直接检测来自物体的辐射信息,也可以转换其他物理量成为光信号。其主要的原理是光电效应:当光照射到物质上的时候,物质上的电效应发生改变,这里的电效应包括电子发射、电导率和电位电流等。

显然,能够容易产生这样效应的器件成为光电式传感器的主要部件,例如光敏电阻。光电传感器的主要工作流程就是接受相应的光的照射,通过类似光敏电阻这样的器件把光能转化成为电能,然后通过放大和去噪声的处理,就得到了所需要的输出的电信号。这里的输出电信号和原始的光信号有一定的关系,通常是接近线性的关系,这样计算原始的光信号就不是很复杂了。其他的物理传感器的原理都可以类比于光电式传感器。

物理传感器的应用范围是非常广泛的。

例如,呼吸测量是临床诊断肺功能的重要依据,在外科手术和病人监护中都是必不可少的。例如在使用用于测量呼吸频率的热敏电阻式传感器时,把传感器的电阻安装在一个夹子前端的外侧,把夹子夹在鼻翼上,当呼吸气流从热敏电阻表面流过时,就可以通过热敏电阻来测量呼吸的频率以及热气的状态。

再如最常见的体表温度测量过程,虽然看起来很容易,却有着复杂的测量机理。体表温度是由局部的血流量、下层组织的导热情况和表皮的散热情况等多种因素决定的,因此测量皮肤温度要考虑到多方面的影响。热电偶式传感器被较多地应用到温度的测量中,通常有杆状热电偶传感器和薄膜热电偶传感器。

因热电偶的尺寸非常小,精度比较高的可做到微米的级别,所以能够比较精确地测量出某一点处的温度,加上后期的分析统计,能够得出比较全面的分析结果。这是传统的水银温度计所不能比拟的,也展示了应用新的技术给科学发展带来的广阔前景。

从以上的介绍可以看出,仅仅在生物医学方面,物理传感器就有着多种多样的应用。传感器测量作为数据获得的重要手段,是工业生产乃至家庭生活所必不可少的器件,而物理传感器又是最普通的传感器,灵活运用物理传感器必然能够创造出更多的产品,更好的效益。

(2) 光纤传感器

近年来,传感器在朝着灵敏、精确、适应性强、小巧和智能化的方向发展。在这一过程中,光纤传感器这个传感器家族的新成员备受青睐。光纤具有很多优异的性能,例如:抗电磁干扰和原子辐射的性能,径细、质软、重量轻的力学性能,绝缘、无感应的电气性能,耐水、耐高温、耐腐蚀的化学性能等,它能够在人达不到的地方(如高温区),或者对人有害的地区(如核辐射区),起到人的耳目的作用,而且还能超越人的生理界限,接收人的感官所感受不到的外界信息。

光纤传感器是最近几年出现的新技术,可以用来测量多种物理量,例如声场、电场、压力、温度、角速度、加速度等,还可以完成现有测量技术难以完成的测量任务。在狭小的空间里,在强电磁干扰和高电压的环境里,光纤传感器都显示出了独特的能力。目前光

纤传感器已经有 70 多种,大致上分成光纤自身传感器和利用光纤的传感器。

所谓光纤自身的传感器,就是光纤自身直接接收外界的被测量。外接的被测量物理量能够引起测量臂的长度、折射率、直径的变化,从而使得光纤内传输的光在振幅、相位、频率、偏振等方面发生变化。测量臂传输的光与参考臂的参考光互相干涉(比较),使输出的光的相位发生变化,根据这个变化就可检测出被测量的变化。光纤中传输的相位受外界影响的灵敏度很高,利用干涉技术能够检测出 10^{-4} 弧度的微小相位变化所对应的物理量。利用光纤的绕性和低损耗,能够将很长的光纤盘成直径很小的光纤圈,以增加利用长度,获得更高的灵敏度。

光纤声传感器就是一种利用光纤自身的传感器。当光纤受到一点很微小的外力作用时,就会产生微弯曲,而其传光能力发生很大的变化。声音是一种机械波,它对光纤的作用就是使光纤受力并产生弯曲,通过弯曲就能够得到声音的强弱。光纤陀螺也是光纤自身传感器的一种,与激光陀螺相比,光纤陀螺灵敏度高、体积小、成本低,可以用于飞机、舰船、导弹等的高性能惯性导航系统。

另外一个大类的光纤传感器是利用光纤的传感器。其结构大致如下:传感器位于光纤端部,光纤只是光的传输线,将被测量的物理量变换成为光的振幅、相位或者振幅的变化。在这种传感器系统中,传统的传感器和光纤相结合。光纤的导入使得实现探针化的遥测提供了可能性。这种光纤传输的传感器适用范围广,使用简便,但是精度比第一类传感器稍低。

光纤在传感器家族中是后起之秀,它凭借着光纤的优异性能而得到广泛的应用,是在生产实践中值得注意的一种传感器。

(3) 仿生传感器

仿生传感器是一种采用新的检测原理的新型传感器,它采用固定化的细胞、酶或者其他生物活性物质与换能器相配合组成传感器。这种传感器是近年来生物医学和电子学、工程学相互渗透而发展起来的一种新型的信息技术。这种传感器的特点是机能高、寿命长。仿生传感器按照使用的介质可以分为:酶传感器、微生物传感器、细胞器传感器、组织传感器等。仿生传感器和生物学理论的方方面面都有密切的联系,是生物学理论发展的直接成果。

目前,虽然已经发展成功了许多仿生传感器,但仿生传感器的稳定性、再现性和可批量生产性明显不足,所以仿生传感技术尚处于“幼年期”,因此,以后除继续开发出新系列的仿生传感器和完善现有的系列之外,生物活性膜的固定化技术和仿生传感器的固态化值得进一步研究。

在不久的将来,模拟身体功能的嗅觉、味觉、听觉、触觉仿生传感器将出现,有可能超过人类五官的敏感能力,完善目前机器人的视觉、味觉、触觉和对目的物进行操作的能力。仿生传感器应用的广泛前景,会随着生物技术的进一步发展而逐步实现。

(4) 红外传感器

红外技术发展到现在,已经在现代科技、国防和工农业等领域获得了广泛的应用。红外传感系统是用红外线为介质的测量系统,按照功能可以分成五类:①辐射计,用于辐射和光谱测量;②搜索和跟踪系统,用于搜索和跟踪红外目标,确定其空间位置并对它的运动进行跟踪;③热成像系统,可产生整个目标红外辐射的分布图像;④红外测距和通信系统;⑤混合系统,是指以上各类系统中的两个或者多个的组合。

红外系统的核心是红外探测器,按照探测的机理的不同,可以分为热探测器和光子探测器两大类。下面以热探测器为例子来分析探测器的原理。

热探测器是利用辐射热效应,使探测元件接收到辐射能后引起温度升高,进而使探测器中依赖于温度的性能发生变化。检测其中某一性能的变化,便可探测出辐射。多数情况下是通过热电变化来探测辐射的。当元件接收辐射,引起非电量的物理变化时,可以通过适当的变换后测量相应的电量变化。

(5) 电磁传感器

磁传感器是最古老的传感器,指南针是磁传感器的最早的一种应用。但是作为现代的传感器,为了便于信号处理,需要磁传感器能将磁信号转化成为电信号输出。应用最早的是根据电磁感应原理制造的磁电式的传感器。这种磁电式传感器曾在工业控制领域做出了杰出的贡献,但是到今天已经被以高性能磁敏感材料为主的新型磁传感器所替代。

在今天所用的电磁效应的传感器中,磁旋转传感器是重要的一种。磁旋转传感器主要由半导体磁阻元件、永久磁铁、固定器、外壳等几个部分组成。典型结构是将一对磁阻元件安装在一个永磁体的磁极上,元件的输入输出端子接到固定器上,然后安装在金属盒中,再用工程塑料密封,形成密闭结构,这个结构就具有良好的可靠性。磁旋转传感器有许多半导体磁阻元件无法比拟的优点。除了具备很高的灵敏度和很大的输出信号外,而且有很强的转速检测范围,这是电子技术发展的结果。另外,这种传感器还能够应用在很大的温度范围中,有很长的工作寿命,抗灰尘、水和油污的能力强,因此耐受各种环境条件及外部噪声。所以,这种传感器在工业应用中受到广泛的重视。

磁旋转传感器在工厂自动化系统中有广泛的应用,因为这种传感器有着令人满意的特性,同时不需要维护。其主要应用在机床伺服电机的转动检测、工厂自动化的机器人臂的定位、液压冲程的检测、工厂自动化相关设备的位置检测、旋转编码器的检测单元和各种旋转的检测单元等。

现代的磁旋转传感器主要包括四相传感器和单相传感器。在工作过程中,四相差动旋转传感器用一对检测单元实现差动检测,另一对实现倒差动检测。这样,四相传感器的检测能力是单元件的四倍。而二元件的单相旋转传感器也有自己的优点,也就是小巧可靠的特点,并且输出信号大,能检测低速运动,抗环境影响和抗噪声能力强,成本低。因此单相传感器也将有很好的市场。

磁旋转传感器在家用电器中也有大的应用潜力。在盒式录音机的换向机构中,可用磁阻元件来检测磁带的终点。家用录像机中大多数有变速与高速重放功能,这也可用磁旋转传感器检测主轴速度并进行控制,获得高质量的画面。洗衣机中的电机的正反转和高低速旋转功能都可以通过伺服旋转传感器来实现检测和控制。

这种开关可以感应到进入自己检验区域的金属物体,控制自己内部电路的开或关。开关自己产生磁场,当有金属物体进入到磁场会引起磁场的变化。这种变化通过开关内部电路可以变成电信号。

更加突出的电磁传感器是一门应用很广的高新技术,国内、国外都投入了一定的科研力量在进行研究,这种传感器的应用正在渗透到国民经济、国防建设和人们日常生活的各个领域。

(6) 磁光效应传感器

现代电测技术日趋成熟,由于具有精度高、便于微机相连实现自动实时处理等优点,

已经广泛应用在电气量和非电气量的测量中。然而电测法容易受到干扰，在交流测量时，频响不够宽及对耐压、绝缘方面有一定要求，在激光技术迅速发展的今天，已经能够解决上述的问题。

磁光效应传感器就是利用激光技术发展而成的高性能传感器。激光是 20 世纪 60 年代初迅速发展起来的又一新技术，它的出现标志着人们掌握和利用光波的技术进入了一个新的阶段。由于以往普通光源单色度低，故很多重要的应用受到限制，而激光的出现，使无线电技术和光学技术突飞猛进、相互渗透、相互补充。现在，利用激光已经制成了许多传感器，解决了许多以前不能解决的技术难题，使它适用于煤矿、石油、天然气储存等危险、易燃的场所。

例如用激光制成的光导纤维传感器，能测量原油喷射、石油大罐龟裂的情况参数。在实测地点，不必电源供电，这对于安全防爆措施要求很严格的石油化工设备群尤为适用，也可用来在大型钢铁厂的某些环节实现光学方法的遥测化学技术。

磁光效应传感器的原理主要是利用光的偏振状态来实现传感器的功能。当一束偏振光通过介质时，若在光束传播方向存在着一个外磁场，那么光通过偏振面将旋转一个角度，这就是磁光效应。也就是可以通过旋转的角度来测量外加的磁场。在特定的试验装置下，偏转的角度和输出的光强成正比，通过输出光照射激光二极管，就可以获得数字化的光强，用来测量特定的物理量。

自 20 世纪 60 年代末开始，RCLecraw 提出有关磁光效应的研究报告后，磁光效应引起人们的重视。日本、前苏联等国家均开展了研究，国内也有学者进行探索。磁光效应的传感器具有优良的电绝缘性能和抗干扰、频响宽、响应快、安全防爆等特性，因此对一些特殊场合电磁参数的测量，有独特的功效，尤其在电力系统中高压大电流的测量方面更显示它潜在的优势。同时通过开发处理系统的软件和硬件，也可以实现电焊机和机器人控制系统的自动实时测量。在磁光效应传感器的使用中，最重要的是选择磁光介质和激光器，不同的器件在灵敏度、工作范围方面都有不同的能力。随着近几十年来的高性能激光器和新型的磁光介质的出现，磁光效应传感器的性能越来越强，应用也越来越广泛。

磁光效应传感器作为一种特定用途的传感器，能够在特定的环境中发挥自己的功能，也是一种非常重要的工业传感器。

(7) 压电传感器

压电传感器是工业实践中最为常用的一种传感器，而人们通常使用的压力传感器主要是利用压电效应制造而成的。

晶体是各向异性的，非晶体是各向同性的。某些晶体介质，当沿着一定方向受到机械力作用发生变形时，就产生了极化效应；当机械力撤掉之后，又会重新回到不带电的状态，也就是受到压力的时候，某些晶体可能产生出电的效应，这就是所谓的极化效应。科学家就是根据这个效应研制出了压电传感器。

压电传感器中主要使用的压电材料包括石英、酒石酸钾钠和磷酸二氢胺。其中石英（二氧化硅）是一种天然晶体，压电效应就是在这种晶体中发现的，在一定的温度范围之内，压电性质一直存在，但温度超过这个范围之后，压电性质完全消失（这个高温就是所谓的“居里点”）。由于随着应力的变化电场变化微小（也就说压电系数比较低），因此石英逐渐被其他的压电晶体所替代。而酒石酸钾钠具有很大的压电灵敏度和压电系数，但是它只能在室温和湿度比较低的环境下才能够应用。磷酸二氢胺属于人造晶体，能够承受高

温和相当高的湿度,所以已经得到了广泛的应用。

现在压电效应也应用在多晶体上,比如现在的压电陶瓷,包括钛酸钡压电陶瓷、铌酸盐系压电陶瓷、铌镁酸铅压电陶瓷等。

压电效应是压电传感器的主要工作原理,压电传感器不能用于静态测量,因为经过外力作用后的电荷,只有在回路具有无限大的输入阻抗时才得到保存。实际的情况不是这样的,所以这决定了压电传感器只能测量动态的应力。

压电传感器主要应用在加速度、压力和力等的测量中。压电式加速度传感器是一种常用的加速度计。它具有结构简单、体积小、重量轻、使用寿命长等优异的特点。压电式加速度传感器在飞机、汽车、船舶、桥梁和建筑的振动和冲击测量中已经得到了广泛的应用,特别是压电传感器的外形使航空和宇航领域中更有它的特殊地位。压电式传感器也可以用来测量发动机内部燃烧压力的测量与真空度的测量,也可以用于军事工业,例如用它来测量枪炮子弹在膛中击发的一瞬间的膛压的变化和炮口的冲击波压力。它既可以用来测量大的压力,也可以用来测量微小的压力。

压电式传感器也广泛应用在生物医学测量中,例如心室导管式微音器就是由压电传感器制成的,因为测量动态压力是如此普遍,所以压电传感器的应用就非常广泛。

除了压电传感器之外,还有利用压阻效应制造出来的压阻传感器,利用应变效应的应变式传感器等,这些不同的压力传感器利用不同的效应和不同的材料,在不同的场合能够发挥它们独特的用途。

1.3 传感器的标定

(1) 传感器标定的定义及意义

所谓传感器的标定,就是利用已知的输入量输入传感器,测量传感器相应的输出量,进而得到传感器输入输出特性的过程。一般来说,对传感器进行标定时,必须以国家和地方计量部门的有关检定规程为依据,选择正确的标定条件和适当的仪器设备,按照一定的程序进行。

传感器的标定是设计、制造和使用传感器的一个重要环节。为了保证量值的准确传递,任何传感器在制造、装配完毕后都必须对设计指标进行标定试验。对新研制的传感器,须进行标定试验,才能用标定数据进行量值传递,而标定数据又可作为改进传感器设计的重要依据。传感器在使用、存储一段时间后,也须对其主要技术指标进行复测,称为校准(校准和标定本质上是一样的),以确保其性能指标达到要求。对出现故障的传感器,若经修理还可以继续使用的,修理后也须再次进行标定试验,因为它的某些性能可能发生了变化。因此,传感器的标定对保证传感器的质量,进行正确的量值传递以及改善传感器的性能等都是不可或缺的技术手段。

(2) 传感器标定的基本方法

传感器标定的基本方法是,利用标准设备产生已知的非电量(如标准力、压力、位移等)作为输入量,输入待标定的传感器,同时在输出量测量环节将此传感器的输出信号测量并显示出来,然后将传感器的输出量与输入的标准量作比较,可以得到一系列表征两者对应关系的标定数据或曲线,进而得到传感器性能指标的实测结果。有时输入的标准量是利用一标准传感器检测而得,这时的标定实质上是待标定传感器与标准传感器之间的

比较。

根据标定时所用的设备,可分为绝对标定法和相对标定法。若被测量是由高精度的设备产生并测量其大小的,则称为绝对标定法。绝对标定法的特点是标定精度较高,但试验过程较复杂。如果被测量是用根据绝对标定法标定好的标准传感器来测量的,则称为相对标定法或对标标定法,其特点是简单易行,但标定精度相对较低。具体的标定工作与传感器原理、结构形式、相关标准、实际应用需求等多方面因素有关。在实际操作时,需要考虑的共性问题:①传感器系统每个模块的标准特性参数;②标定的可操作性;③标定系统的成本;④标定的人工成本;⑤传感器系统软硬件调整方案和标定数据的整理。

从标定的内容来看,可分为静态标定和动态标定。静态标定的目的是确定传感器的静态指标,主要有线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。动态标定的目的是确定传感器的动态指标,主要有时间常数、谐振频率和阻尼比等。有时根据需要也对非测量方向(因素)的灵敏度、温度响应和环境影响等进行标定。静态标定是决定传感器指标的基本方式,传感器的大部分技术参数都是由静态标定的方法取得的,动态标定一般用于对传感器的动态响应特性有要求的场合。

(3) 传感器的静态标定

① 静态标定的条件与仪器精度 传感器的静态标定是在静态标准条件下进行的。静态标准条件是指无加速度、振动与冲击(除非这些参数本身就是被测物理量),环境温度一般为 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$,相对湿度不大于85%,大气压力为 $(101.32\pm 7.999)\text{kPa}$ 。

在静态标定时,须选择与被标定传感器的精度要求相适应的一定等级的标准器具(一般所用的测量仪器和设备的精度至少要比被标定传感器的精度高一个量级),还应符合国家计量量值传递的有关规定,或经计量部门检定合格。这样,通过标定所确定的传感器精度才是可靠的。

② 静态标定的过程步骤 静态标定的过程步骤一般为:a.将传感器全量程(测量范围)分成若干等间距点;b.根据传感器量程分点情况,由小到大逐渐一点一点地输入标准量值,并记录与各输入值对应的输出值;c.将输入值由大到小一点一点地减下来,同时记录与各输入值对应的输出值;d.按b、c所述过程对传感器进行正、反行程往复循环多次测试(一般为3~10次),将得到的输出输入测试数据用表格列出或绘成曲线;e.对测试数据进行必要的处理,根据处理结果确定传感器的线性度、灵敏度、迟滞和重复性等静态特性指标。

(4) 传感器的动态标定

通过静态标定可以获取传感器的静态模型,并研究、分析其静态特性;若要研究、分析传感器的动态性能指标,就必须要对传感器进行动态标定,在此基础上研究、分析传感器的动态特性,或者首先通过建立传感器动态模型的方法,再针对动态模型研究、分析传感器的动态特性。

传感器的动态特性通常可以从时域和频域两方面来研究和分析。在时域,主要针对传感器在阶跃输入、回零过渡过程和脉冲输入下的瞬态响应分析;而在频域,则主要针对传感器在正弦输入下的稳态响应的幅值增益。

对传感器进行动态标定,除了获取传感器的动态性能指标、传感器的动态模型,还有一个重要的目的,就是当通过动态标定认为传感器的动态性能不满足动态测试需求时,确定一个动态补偿环节模型,以改善传感器的动态性能指标。