



“2110工程”三期重点建设教材

# 军用传感与 测试技术

盖强 蔡畅 主编

JUNYONG CHUANGAN  
YU CESHI JISHU



国防工业出版社

National Defense Industry Press

“2110 工程”三期重点建设教材

# 军用传感与测试技术

盖 强 蔡 畅 主编  
蒋永馨 孙 涛 马 野 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

全书分为九章,在传感器和测试技术基本原理方面主要介绍了测量误差与数据处理、信号分析与处理、测试系统特性标定与性能改善、常用传感器的基本原理,包括应变片式、电容式、电磁式、压电式、热电式五个大类传感器原理、特性、电路和应用,并讨论了光电式传感器应用及传感与测试中的干扰及抑制技术;在传感器和测试技术在军事装备测试中的应用方面介绍了火控系统、火炮压力、弹丸飞行速度等测试中传感器的应用及军用测试技术的最新发展。

本书可作为测量与控制技术、仪器仪表、自动化等专业的本科生、研究生教材,也可供装备设计测试人员、其他相关专业的师生及工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

军用传感与测试技术/盖强,蔡畅主编. —北京:国防工业出版社,2014.9

ISBN 978 - 7 - 118 - 09631 - 6

I. ①军... II. ①盖...②蔡... III. ①军用器材 - 传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 210430 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 字数 365 千字

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 52.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

高技术武器发展的主要特征是电子化,其核心技术则是传感技术和计算机技术。在战场上一方面靠外部传感器和测试系统快速发现与精确测定敌方目标,并通过计算机控制武器系统,快速精确地打击敌方目标;另一方面,靠各种内部传感器测定火控系统、发动机系统等各部位各类参数,通过计算机为中枢的控制系统,保证武器本身处于最佳状态,发挥最大效能。传感器是战场上的千里眼、顺风耳,测试技术是武器装备试验检验和使用维护保障的主要支撑。随着战场信息化的进一步提高,传感器与测试技术在军事装备的研制和发展中起着越来越重要的作用。

传感器与测试技术涉及的知识面宽泛,知识更新速度快,新技术不断涌现。随着军用电子设备、武器装备、作战指挥系统的飞跃发展,作战过程中需要获取的各种信息量越来越多,对信息测试准确度的要求越来越高,测试的难度越来越大,从而对传感与测试技术不断提出新的要求。对军事人才来讲,必须具备信息获取、信息利用和武器装备正确检验、操作使用及维护等方面的技能。尽管目前传感器与测试技术相关的书籍比较多,但涉及军用装备的测试,特别是涉及装备试验测试技术内容的书籍还不多见。本书紧跟装备试验测试技术领域最前沿的发展,内容紧密结合部队装备发展的实际需要,把前沿装备测试技术引入到书籍中,首次把一些科研、学术最新成果,如舰艇装备测试科研项目成果,以及军用总线测试、火炮发射信息监控、多传感器信息融合等学术成果融入到本书中,体现出很强的时代气息。

全书主要内容包括误差、信号分析与处理、测试系统特性、常用传感器及光电式传感器基本原理及应用、干扰及抑制、传感器与测试技术在军事中的应用、军用测试技术的最新发展等。在基础内容的安排上注重讲解传感器与测试系统原理和应用方法,减少了在传感器结构和电路分析上的篇幅;在技术应用上突出军事背景,着重介绍军事装备信息获取过程中传感器的使用和测试技术的应用方法。

本书可作为军队院校自动化、测控技术与仪表、电气工程及其自动化、电子信息工程、

电子科学与技术等专业的教材,也可作为机电类等其他相关专业本科生、研究生的教材或参考书,还可供从事武器装备测试与研制、传感器与检测技术开发与应用的科研和工程人员参考或作为自学用书。

本书在舰炮系兵器技术教研室“军用传感与测试技术”课程讲义的基础上编著,融入了部分科研、学术最新成果和装备测试相关实例,由大连舰艇学院舰炮系盖强教授、蔡畅讲师主编,大连舰艇学院蒋永馨、孙涛、马野参与编写。

传感器技术涉及的学科知识深广,而编者的学识、水平有限,疏误、不当处,诚请广大读者指正。

深切感谢所有为本书付出辛勤劳动和关心、支持本书的人们!

盖强

2014年6月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 传感器与测试系统的组成及传感器分类	1
1.1.1 测试系统的组成	1
1.1.2 传感器的组成	3
1.1.3 传感器的分类	4
1.2 传感器与测试技术在军事上的应用	6
1.3 传感与测试技术在军事工业的地位和发展状况	9
第 2 章 测量误差与数据处理	11
2.1 测量误差的基本概念	11
2.1.1 测量误差定义及研究的意义	11
2.1.2 测量误差的来源	11
2.1.3 主要名词术语	12
2.1.4 测量误差的表示方法	13
2.1.5 测量误差的分类	15
2.1.6 测量不确定度	15
2.1.7 误差公理及测量结果的报告	16
2.2 随机误差的处理	17
2.2.1 随机误差的特征和概率分布	17
2.2.2 算术平均值和剩余误差	18
2.2.3 随机误差的方差和标准差	19
2.2.4 测量的极限误差	20
2.2.5 不等精度直接测量的数据处理	21
2.3 系统误差的分析	22
2.3.1 系统误差的性质及分类	22
2.3.2 系统误差的判别	23
2.3.3 系统误差的消除与削弱消除	24
2.4 粗大误差的剔除	26
2.4.1 莱以特准则	26
2.4.2 格拉布斯准则	27

2.5	误差的合成	27
2.5.1	随机误差的合成	28
2.5.2	系统误差的综合	28
2.5.3	系统误差与随机误差的合成	29
2.6	数据处理的基本方法	29
2.6.1	有效数字和数据舍入规则	29
2.6.2	最小二乘法原理及应用	30
2.6.3	测量数据处理举例	32
2.7	舰艇试航试验数据实例分析	38
2.7.1	高精度相似装备获取试验真值	38
2.7.2	利用差分 GPS 获取试验真值	39
2.7.3	时间一致转化算法	43
2.7.4	坐标转换算法	44
<b>第3章</b>	<b>信号分析与处理</b>	<b>47</b>
3.1	信号的分类与描述	47
3.1.1	信号的分类	47
3.1.2	信号的描述	47
3.2	周期信号与离散频谱	48
3.2.1	傅里叶级数及其周期信号的频谱介绍	48
3.2.2	周期矩形脉冲信号的傅里叶级数举例	49
3.3	非周期信号与连续频谱	51
3.3.1	频谱密度函数 $X(\Omega)$	51
3.3.2	非周期信号的傅里叶积分表示	52
3.3.3	一些非周期信号的傅里叶变换	53
3.4	随机信号分析	56
3.4.1	随机信号的幅值描述	57
3.4.2	随机信号的时域描述	58
3.4.3	随机信号的频域描述	60
3.5	信号数字化	60
3.5.1	采样	61
3.5.2	截断	63
3.6	基于 FFT 的谱分析方法	64
3.6.1	确定性信号的傅里叶谱	64
3.6.2	随机信号的自功率谱密度分析	65
3.6.3	互谱密度分析和频率特性分析	65
3.6.4	相干函数分析	66

3.7	相关分析和谱分析的工程应用 .....	66
3.7.1	相关分析及其应用 .....	66
3.7.2	谱分析的工程应用 .....	69
<b>第4章</b>	<b>测试系统特性、标定与性能改善 .....</b>	<b>72</b>
4.1	测试系统的静态特性 .....	72
4.2	测试系统的动态特性 .....	75
4.2.1	动态参数测试的特殊问题 .....	75
4.2.2	研究测试系统动态特性的方法 .....	76
4.2.3	测试系统的动态特性分析 .....	77
4.3	测试系统动态特性的测定 .....	79
4.3.1	阶跃响应法 .....	79
4.3.2	二阶系统动态特性参数的测定 .....	80
4.3.3	频率响应法 .....	82
4.4	实现不失真测试的条件 .....	83
4.5	改善传感器性能的技术途径 .....	85
<b>第5章</b>	<b>常用传感器的基本原理 .....</b>	<b>89</b>
5.1	应变片式电阻传感器 .....	89
5.1.1	电阻应变片的工作原理 .....	89
5.1.2	金属电阻应变片主要特性 .....	91
5.1.3	温度误差及其补偿 .....	96
5.1.4	应变片式电阻传感器的测量电路 .....	99
5.2	电容式传感器 .....	103
5.2.1	电容式传感器的工作原理及结构形式 .....	104
5.2.2	电容式传感器的信号调理电路 .....	108
5.2.3	电容式传感器的应用 .....	114
5.3	电感式和磁电式传感器 .....	116
5.3.1	电感式传感器基本原理与结构 .....	116
5.3.2	半导体磁电式传感器原理 .....	118
5.3.3	电感式和磁电式传感器的应用 .....	119
5.4	压电式传感器 .....	120
5.4.1	压电式传感器基本原理 .....	120
5.4.2	压电常数和表面电荷的计算 .....	123
5.4.3	压电式传感器等效电路 .....	125
5.4.4	压电式传感器的应用 .....	127
5.5	热电式传感器 .....	131



5.5.1	温度和温标 .....	131
5.5.2	热电阻测温 .....	133
5.5.3	热电偶测温 .....	136
<b>第 6 章</b>	<b>光电传感器及其应用 .....</b>	<b>144</b>
6.1	光电探测技术概述 .....	144
6.2	常规光电器件 .....	145
6.2.1	外光电效应及器件 .....	145
6.2.2	内光电效应及器件 .....	146
6.2.3	光电器件的特性 .....	149
6.3	光栅测量原理 .....	151
6.3.1	计量光栅的结构及分类 .....	151
6.3.2	光栅传感器组成 .....	152
6.3.3	测位移原理 .....	153
6.3.4	辨向原理 .....	154
6.3.5	细分技术 .....	155
6.4	固态图像传感器 .....	157
6.4.1	CCD 的基本工作原理 .....	157
6.4.2	固态图像传感器主要特性参数 .....	161
6.4.3	固态图像传感器的应用 .....	163
<b>第 7 章</b>	<b>测试中的干扰及抑制技术 .....</b>	<b>166</b>
7.1	干扰的来源 .....	166
7.1.1	常见的干扰类型 .....	166
7.1.2	噪声与信噪比 .....	167
7.2	干扰的耦合方式及传输途径 .....	167
7.3	差模干扰和共模干扰 .....	171
7.4	干扰抑制技术 .....	174
7.4.1	屏蔽技术 .....	174
7.4.2	接地技术 .....	175
<b>第 8 章</b>	<b>传感器与测试技术在军事中的应用 .....</b>	<b>179</b>
8.1	传感器在火控系统中的应用 .....	179
8.1.1	火控系统传感器的类别及其重点产品 .....	179
8.1.2	火控系统对传感器的技术要求 .....	180
8.1.3	坦克火控系统 .....	182
8.2	火炮压力(力)的测试 .....	185

8.2.1	概述 .....	185
8.2.2	应变式测压法 .....	185
8.2.3	压电式测压法 .....	187
8.2.4	火炮冲击波测试 .....	188
8.3	弹丸飞行速度测试 .....	192
8.3.1	概述 .....	192
8.3.2	瞬时速度法简介 .....	194
8.3.3	外弹道区截测速法 .....	196
8.4	火炮动态参数综合测试 .....	207
8.4.1	火炮动态参数综合测试内容及其测试要求 .....	207
8.4.2	火炮动态参数综合测试系统的总体方案 .....	208
8.4.3	火炮动态参数测试系统实现 .....	212
<b>第9章</b>	<b>军用测试技术的最新发展 .....</b>	<b>221</b>
9.1	战场多传感器数据融合技术 .....	221
9.1.1	数据融合在军事上的应用 .....	221
9.1.2	数据融合在海军上的应用 .....	222
9.2	现场总线技术 .....	223
9.2.1	GPIB 总线 .....	223
9.2.2	VXI 总线 .....	224
9.2.3	PXI 总线 .....	224
9.2.4	LXI 总线 .....	224
9.2.5	总线比较 .....	225
9.3	作战系统网络 .....	226
9.3.1	计算机网络的拓扑结构 .....	226
9.3.2	计算机网络协议 .....	227
9.3.3	FDDI 网 .....	229
9.3.4	1553B 网 .....	231
9.4	基于总线的军用测试系统实例 .....	237
9.4.1	VXI 总线测试系统应用实例 .....	237
9.4.2	PXI 总线测试系统应用实例 .....	238
9.4.3	GPIB 和 VXI 混合总线测试系统应用实例 .....	239
9.5	军用自动测试系统 .....	240
9.5.1	现有 ATS 系统的结构特点和不足 .....	241
9.5.2	未来测试系统的开发方向和基本的体系结构 .....	241
9.5.3	未来测试系统中所应用的主要技术 .....	242
	<b>参考文献 .....</b>	<b>245</b>

# 第1章 绪 论

测试技术是一门随着现代科学技术发展而迅猛发展的综合性技术学科,广泛应用于社会生产和科学研究中,起着越来越重要的作用,成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要技术。测试的基本任务是获取有用的信息。测试过程中通过借助专门的仪器、设备,设计合理的测试方法以及进行必要的信号分析与数据处理,获得与被测对象有关的信息,最后将结果提供显示或输入其他处理装置。传感器是测试活动中对信息的感知、传输、转换和处理的器件或装置。传感器与检测技术紧密相连,代表着信息获取过程的不可分割的两个方面,一般很难在技术体系中把两者分开,它们同属于信息科学范畴,与通信技术、计算机技术一起分别构成现代信息系统的“感官”“神经”和“大脑”,是信息技术的三大支柱之一。传感与测试技术的发展促进了科学技术水平的不断提高,推动了生产的自动化进程;而科学技术水平的提高,又为传感与测试技术创新、完善和发展创造了有利的条件。一方面,现代科技的发展不断地向测试技术提出新的要求,推动了传感器与测试技术的发展;另一方面,传感器与测试技术迅速吸取各个科技领域如材料科学、微电子学、计算机科学等的新成果,促进自身的发展。

高技术武器发展的主要特征是电子化,其核心则是测试技术、计算机技术、控制和通信技术。在战场上,一方面靠外部传感器快速发现与精确测定敌方目标,并通过有效通信、精准控制、精确指挥,快速精确地打击敌方目标;另一方面,靠各种内部传感器,测定火控系统、发动机系统等各部位各类参数,保证武器本身处于最佳状态,发挥最大效能。因此有人说,在实战中,看得见、听得到要靠传感器,打得准要靠传感器,全天候作战靠传感器,故障诊断靠传感器是毫不夸大的。

## 1.1 传感器与测试系统的组成及传感器分类

### 1.1.1 测试系统的组成

简单的传感器或测试系统可以只有一个模块,如玻璃管温度计。它直接将温度变化转化成液面示值,没有电量转换和分析电路,很简单,但精度低,无法实现测量自动化。

为提高测量精度和自动化程度,以便于和其他环节一起构成自动化装置,通常先将被测物理量转换为电量,再对电信号进行处理和输出。如图 1.1.1 所示的声级计和电子测速装置就是典型的实现了测量处理显示一体化的测试装置。

下面通过一个实例来分析测试系统的一般组成。图 1.1.2 所示为车床车刀磨损量测试系统。机床在加工过程中,刀具和工件摩擦,产生大量的热量。刀具的温度升高,加上切削液的腐蚀等因素,刀具的磨损必然随着加工的进行不断加大,因此有必要对机床刀具的磨损量实施测试。测试的基本思路是选取刀头温度、夹刀部件底部的振动、后刀头位置

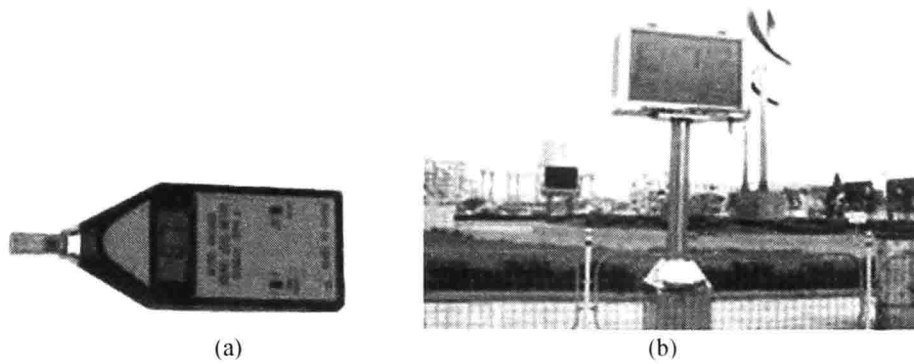


图 1.1.1 复杂传感器实例  
(a) 声级计; (b) 电子测速装置。

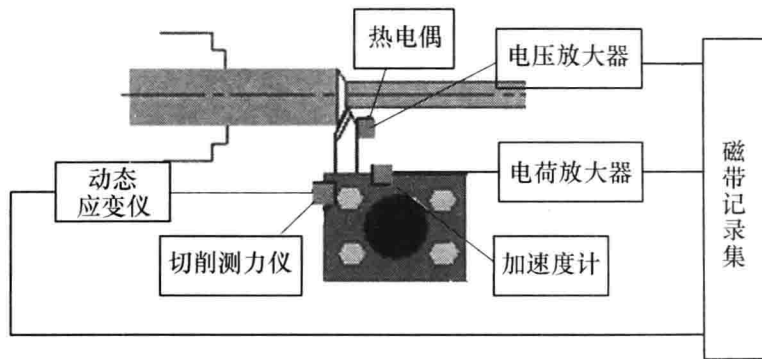


图 1.1.2 车床车刀磨损量测试系统

的切削力三个能反映刀具磨损程度的信号作为测试的信号:通过热电偶测量刀头位置的温度变化;通过切削测力仪测定后刀头位置的切削力;通过加速度计测量夹刀部件底部的振动。传感器热电偶测出来的信号是电压信号,信号很小,经过电压放大器之后将信号存储到磁带记录机;加速度计测出来的信号是电荷信号,经过电荷放大器放大,也可送入磁带记录机进行储存;切削测力仪测出来的信号经过动态应变仪进行变换传入磁带记录机。

由这个简单的测试系统可以看出,要对某个系统的性能进行测试,首先需要挑选能表现这一物理现象的信号,然后从这些信号中间挑选出最合适的几个信号,比如上面这个测量刀具磨损量的系统,挑选了切削力、刀头温度、夹刀部件底部的振动等三个信号。信号的选取需要考虑到很多因素,比如信号必须能表现所需测试的量的物理特性,必须容易测量,而又不影响系统本身的运行。再比如要测刀具的磨损,通过测量刀具切削部位的长度是最简单的方法,但这种测试方式不容易实现在线测量,测量过程复杂,影响车床加工的正常运行。之后对信号实施数据采集并将采集到的信号进行存储显示,确定该信号与某一物理现象的联系,比如前面所提到的测试系统,实施采集存储之后需要对测试信号进行分析,确定刀头温度等信号与刀具磨损量大小的关系。

由车床车刀磨损量测试系统可以抽象出测试系统的构成主要有以下几个要素:

(1) 激励源:测试系统需要有一个激励源,激励源向被测对象输入能量,激发出能充分表征有关信息又便于检测的信号。有些测试,被测对象在适当的工作状态下可产生所需的信号,而某些测试,则需用外部激励装置对被测对象进行激励。如机床振动模态试

验,需用专门的激振器对机床激振。

(2) 传感器:激励源作用于被测对象之后,通过传感器将信号进行采集变换,传感器就是能感受规定的被测量并按一定规律转换成同一种或另一种输出信号的器件或装置。传感器通常由敏感元件和转换元件组成,敏感元件直接感受被测量,转换元件将敏感元件的输出转换为适于传输和测量的信号,许多传感器中这两者是合为一体的。

(3) 信号中间变换:一般传感器输出的信号都不适合存储到计算机,必须经过中间变换才能将传感器输出的信号转换成便于传输和处理的规范信号。因为传感器输出信号一般是微弱且混有噪声的信号,不便于处理、传输或记录,所以一般要经过调制、放大、解调和滤波等处理,或作进一步的变换,如将阻抗的变化转换为电压或频率的变化,将模拟信号转换为数字信号等。

(4) 信号特征提取:信号经过中间变换之后,需要经过进一步处理、分析,提取被测对象的有用信息,最后将处理结果显示或记录下来,供测试者作进一步分析。

(5) 反馈控制:很多测试系统在完成信号的检测之后还要经过反馈控制模块以实现系统的闭环控制,如图 1.1.2 所示的测试系统,后端可以加上反馈控制,刀具磨损后可以补充适当的进刀量,以保证加工质量。

测试系统的组成和结构如图 1.1.3 所示。测试系统结构图和闭环控制系统框图类似但有差别,闭环控制系统侧重于控制,研究如何实现系统预定的性能指标,而测试系统关注的是如何测试,怎么样将信号通过传感器采集出来,采集出来的信号要经过怎样的变换和处理能看出相应的物理现象等,测试系统的组成与研究任务有关,并不一定都包含图 1.1.3 所示的所有环节。

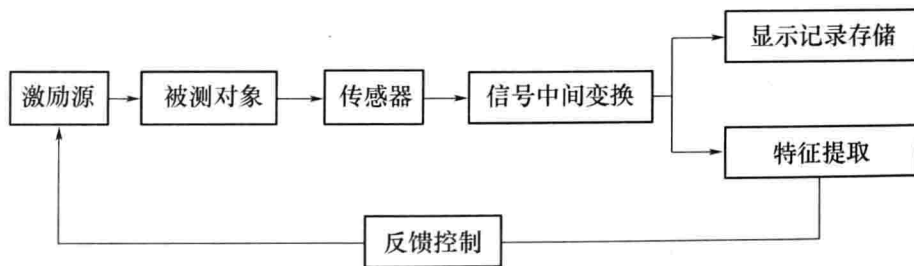


图 1.1.3 测试系统的组成和结构

### 1.1.2 传感器的组成

传感器可以是一个完整的测量装置(或系统),能把被测非电量转换为与之有确定对应关系的有用电量输出,以满足信息的传输、处理、记录、显示和控制等要求,也可以和其他部分一起组成一个测试系统。

传感器一般由敏感元件、传感元件和其他辅助元件组成,有时也将信号调节与转换电路、辅助电源作为传感器的组成部分,如图 1.1.4 所示。

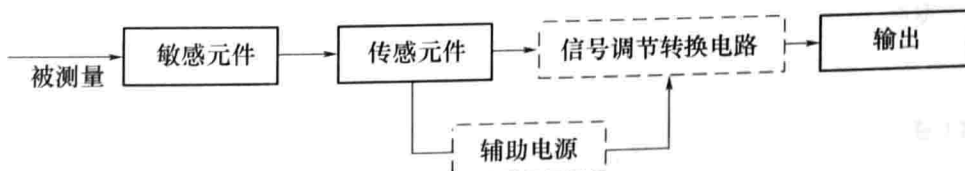


图 1.1.4 传感器组成框图

因此,传感器的组成将依不同情况而有所差异。

敏感元件——感受被测量,并输出与被测量有确定关系的其他量的元件,如膜片和波纹管,可以把被测压力变成位移量。若敏感元件能直接输出电量(如热电偶),就兼为传感元件了。还有一些新型传感器,如压阻式和谐振式压力传感器、差动变压器式位移传感器等,其敏感元件和传感器完全融为一体。

传感元件——又称转换元件,是传感器的重要组成元件。它可以直接感受被测量(一般为非电量)而输出与被测量有确定关系的电量,如热电偶和热敏电阻,这时敏感元件与传感元件一体。传感元件也可以不直接感受被测量,而只感受与被测量有确定关系的其他非电量。例如差动变压器式压力传感器,并不直接感受压力,而只是感受与被测压力有确定关系的衔铁位移量,然后输出电量。

信号调节转换电路——能把传感元件输出的电信号转换为便于显示、记录 and 控制的有用信号的电路。信号调节与转换电路根据传感元件类型的不同有很多种类,常用的电路有电桥、放大器、振荡器和阻抗变换器等。

图 1.1.5 所示的汽车加速度测量装置就是一个典型的传感器系统,具体原理不再叙述,可以通过这个装置体会传感器各个组成部分的作用。

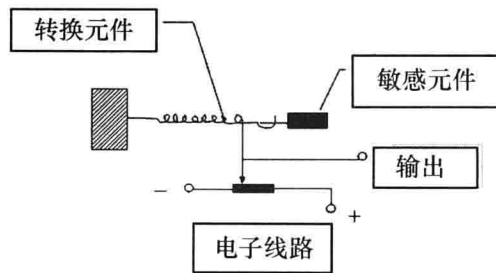


图 1.1.5 汽车加速度测量装置

### 1.1.3 传感器的分类

传感器的种类繁多,不胜枚举。有的传感器可以用于测量多种参数,而有时对于一种物理量又可用多种不同类型的传感器测量。因此,对传感器分类就有很多方法。

传感器的常用分类方法可按输入非电量和工作原理分类。

#### 1. 按输入非电量分类

传感器的输入非电量大致可分为热工量、机械量、物性和成分量以及状态量四大类。其具体分类详见表 1.1.1。上述划分并不是很严格,实际上上述非电量都是状态量,但习惯上不少量已归纳为热工量、机械量和成分量等。因此表 1.1.1 中所指的状态量是除此之外的状态量。

表 1.1.1 被测非电量的分类

输入非电量	测量参数
热工量	温度、热量、比热容、热流、热分布 压力、压差、真空度 流量、流速、风速 物位、液位、界面



(续)

输入非电量	测量参数
机械量	位移(角位移)、长度(尺寸、厚度、角度等) 力、应力、力矩、重量、质量 转速、线速度、角速度、振动、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、湿度、密度
状态量	颜色、透明度、颗粒度、硬度、磨损度 裂纹、缺陷、泄漏、表面质量

按照输入非电量分类可将传感器分为位移传感器、力传感器和速度传感器等。这种分类能够明确地指出传感器的用途,便于使用者选择。这是商业产品常用的分类法。但这种分类法的缺点是各自品种繁多,对建立传感器的基本概念、掌握基本原理和分析方法是不利的。

## 2. 按工作原理分类

该种分类法是以传感器的工作原理为依据,如电阻式、电感式和压电式等,其优点是避免了传感器种类过于繁多,有利于对传感器的内在联系作统一概括的分析和深入的研究。现多采用此种方法。

从表面上看,被测量五花八门,但从本质上看,不少量是从基本量派生出来的。若知道了基本量和派生量之间的关系,在选用或设计传感器时将十分方便。表 1.1.2 列出了传感器的若干基本量与派生量的关系。

表 1.1.2 传感器的若干基本量与派生量的关系

基本量	派生量
线位移	长度、厚度、位移、平面度、磨损、表面质量、应变等
角位移	角度、转角、入射角、角振动、角偏移等
线速度	速度、流速、动量、振动速度等
角速度	角速率、旋转速率、角动量、扭矩、角冲击等
线、角加速度	振动加速度、力、冲击、质量、角振动、扭矩、角冲击等
力	重量、推力、拉力、张力、密度、应力、压力、高度、加速度等
温度	热流量、物体流量、气压、气体速度、湍流等
光	长度、应变、力、力矩、频率、计数等
时间	频率、计数、统计分布等

有时还将传感器分为有源传感器和无源传感器两大类。有源传感器犹如一台微型发电机,能将非电功率转换为电功率,传感器起能量转换的作用,因此又称为发电型传感器。如磁电式、压电式和热电式等传感器,其所配的测量电路通常是信号放大器。无源传感器并不起换能作用,被测量仅对传感器中的能量起控制作用,必须有辅助能源(电源),如电阻式、电容式和电感式传感器等。无源传感器本身不是一个信号源,所以配合的测量电路

通常是电桥式谐振电路。

由于传感器门类繁多,涉及的学科面广,因此还有不少分类方法,如按输出信号把传感器分为模拟式传感器和数字式传感器;按工作特点把传感器分为结构型和物性型传感器等。这里就不再一一介绍了。

## 1.2 传感器与测试技术在军事上的应用

军用传感器与民用传感器(包括工业传感器)有相同之处,也有不同的地方,有通用性,也有其特殊性。军用传感器就是以其特殊性来区别于民用传感器的。

首先,从信息转换原理看,两者是相同的,都是把物理量、化学量转换为可以测量的电学量,这种信号量值转换规律均遵循相同的科学原理,没有军用与民用传感器之分;其次,从军用传感器所采用的原理看,多数与民用传感器一样,基本上是沿用现有的或新发现的原理;再次,军用传感器所应用的设计基础理论、信号处理方法、基本标准都符合有关科学定律、理论公式和相关的标准规定,与民用传感器没有两样。

但军用传感器除了具备通用性特征外,还具有特殊性和专用性。

(1) 军用传感器受到安装空间类型、尺寸与静载荷质量的分配指标的限制,其结构尺寸一般较小、质量较轻,而民用传感器一般无太严格的要求。在传感器原理已定的情况下缩小变轻并非易事,增加了设计难度是一方面,更难的是寻找合理可行的技术途径以及为其实施的技术和工艺条件。

(2) 军用装备上供电电源单一,耗电量要求很严,向传感器供电是定额分配的,一般单位限量在百毫瓦级。航天传感器还要求电源隔离、信号地浮起,还要防止互耦影响。在这些指标上是相当苛刻的。

(3) 军用传感器使用的工作环境恶劣。如航空航天传感器所承受的力学环境条件、热学环境条件不仅苛刻,还要适应空间辐射、真空失重的环境。被测对象的理化条件也是很特殊的,有的是聚热介质,如  $2000 \sim 2800^{\circ}\text{C}$ ;有的是暴冷介质,如  $-253 \sim -183^{\circ}\text{C}$ ;有的虽然温度不失常,但又有强腐蚀性(如硝酸)之类的工况,这就为军用传感器研制增加了技术难度。一方面要考虑选择合适的传感器原理来适应这种条件,另一方面要更多地考虑传感器的结构设计。如低温介质液位传感器,在设计时必须解决相容性、冷缩性、脆裂性和安全性等,如硝酸类推进剂液位传感器要有防止空湿交变腐蚀、微渗漏、相关污染、连接器泄露、安全等技术措施。

(4) 军用传感器要承担定量分配的可靠性指标,尤其是用于发控指令、安全保护类型的航天传感器可靠性至关重要。一般舰上传感器可靠度为 0.995,而承担控制任务的传感器可靠度要提高为 0.995 ~ 0.998。各类卫星对传感器使用失效的要求是:短期(在轨道运行一个月以内的卫星)失效率为  $1 \times 10^{-7}/(\text{元件} \cdot \text{小时})$ ;中期(在轨道运行半年至一年的卫星)失效率为  $(1 \sim 5) \times 10^{-8}/(\text{元件} \cdot \text{小时})$ ;长期(在轨道运行三年以上的卫星)失效率为  $1 \times 10^{-9}/(\text{元件} \cdot \text{小时})$ 。根据不同的测量特点,传感器在连续工作条件下,其平均无故障时间应为 10000 ~ 50000h。

(5) 用于无人操纵的飞行器上的传感器,通常是一次性使用,不考虑维修,并要求传感器按工作、故障、安全的可靠性模式工作。为了做到一次成功,研制与生产过程中保证



质量,要进行单件模拟实验、性能匹配试验、系统合练试验、1:1 实际起动试验以及可靠性增量试验等。

(6) 有些军用传感器,除了火箭导弹外别无他用。如弹头受到气动摩擦加热,温度高达 3000℃,还有高马赫的气流冲刷。为了防止弹头内仪器设备损坏,必须要测量防护层的烧蚀量与分层温度。这些传感器一定要与被测部位材料具有同步效应、相同的结构单元。这类传感器在民用领域没有用武之地。以上这些特殊性形成了军用传感器特有的领域。

图 1.2.1 展现了军用传感器的利用和需求关系。

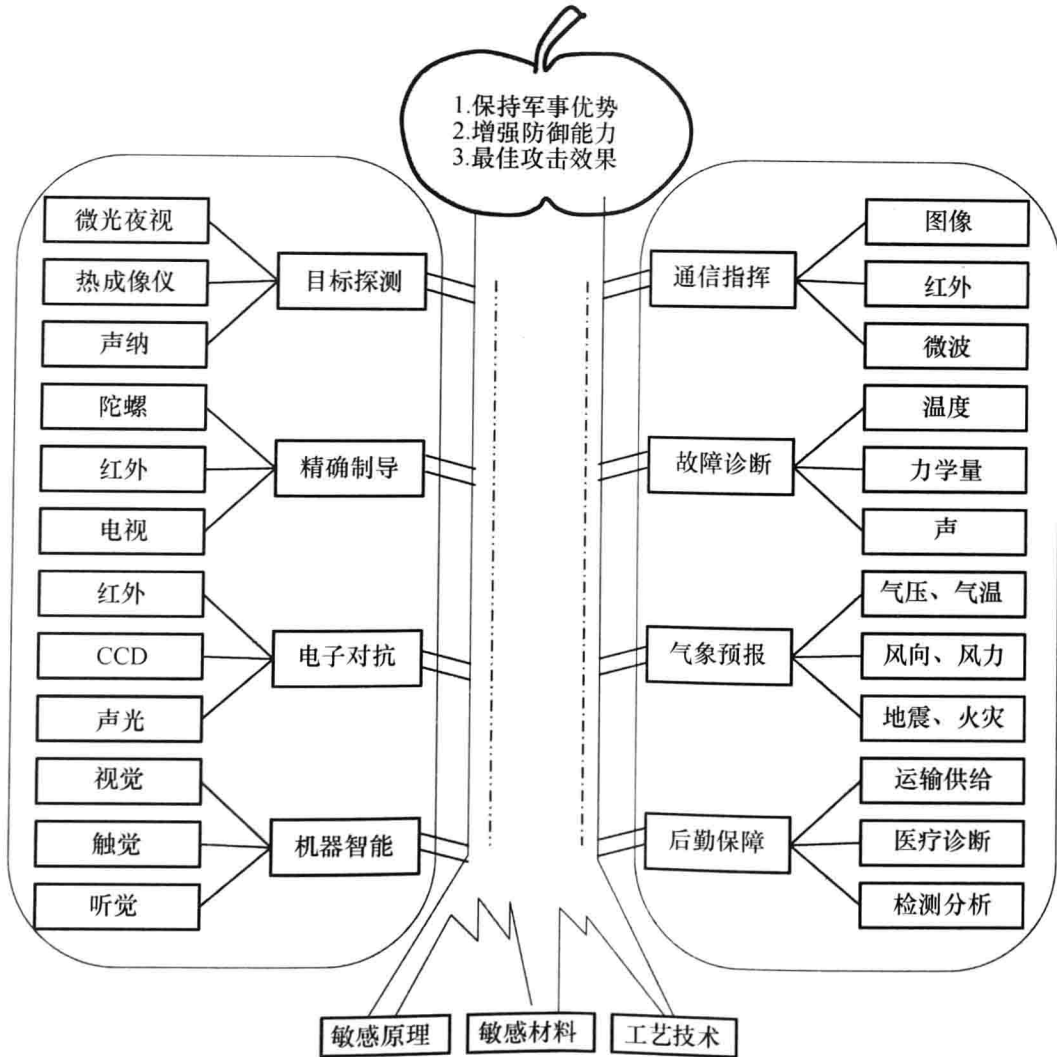


图 1.2.1 军用传感器的利用和需求关系

下面具体从航空航天、主战坦克、舰船、地面战场警戒系统、军用机器人、军事化学器材等方面说明传感器在军事国防建设中的应用情况。

### 1. 在航空航天方面的应用

传感器在航空方面有四种用途,即:提供航天器工作信息,起诊断作用;判断各分系统间工作的协调性,验证设计方案;提供全系统自检所需信息,给指挥员决策提供依据;提供各分系统、整机内部检测参数,验证设计的正确性。美国航天飞机上使用的传感器约有 100 多种 4000 多个。俄罗斯大型运载火箭、载人飞船迅速发展,所需的传感器也相应迅