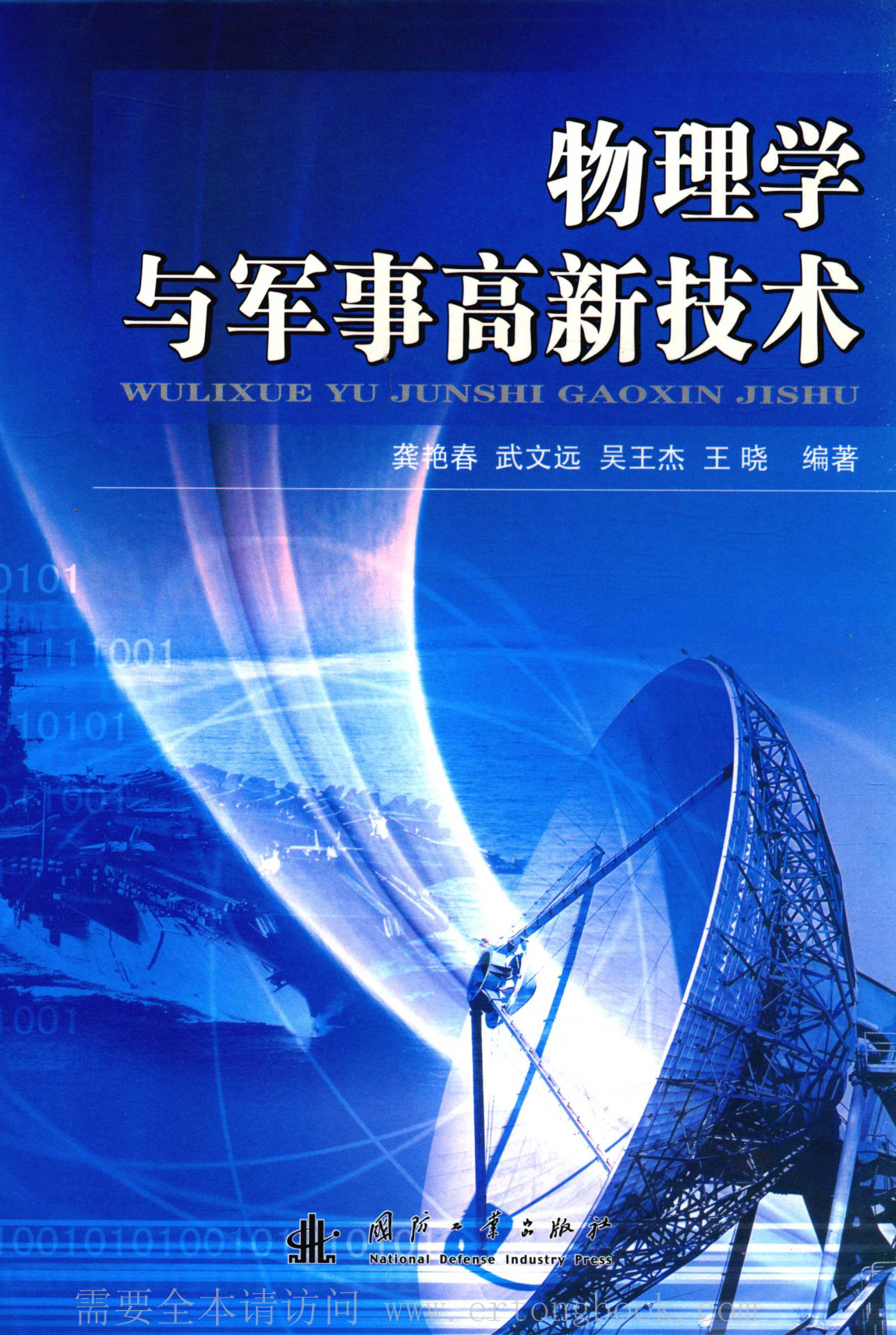
物理学与军事高新技术

WULIXUE YU JUNSHI GAOXIN JISHU

龚艳春 武文远 吴王杰 王晓 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

需要全本请访问 www.ertongbook.com

E912
4355

物理学与军事高新技术

龚艳春　武文远　吴王杰　王晓　编著

国防工业出版社

·北京·

内容简介

本书以大学物理学为基础，阐述物理原理在军事高新技术中的应用，着重阐明物理学基础理论与军事高新技术的联系，内容包括信息技术、红外技术、激光技术、声学技术、等离子体技术、空间技术、新材料技术和新能源技术等。读者对象以具备大学物理基础知识的大、中专院校的工科学生，尤其是军事院校的学生为主，也可作为军队指挥干部和工程技术人员学习军事高新技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

物理学与军事高新技术/龚艳春等编著. —北京：国防工业出版社，2006.11

ISBN 7-118-04774-0

Ⅰ.物… Ⅱ.龚… Ⅲ.军事物理学—高技术

Ⅳ.E912

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 110400 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 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×960　1/16　**印张** 12　**字数** 212 千字

2006 年 11 月第 1 版第 1 次印刷　**印数** 1—4000 册　**定价** 22.00 元

(本书如有印装错误，我社负责调换)

国防书店：(010)68428422　　发行邮购：(010)68414474

发行传真：(010)68411535　　发行业务：(010)68472764

前　言

现代军事科学技术的知识密集性、综合性极高，处于科学技术前沿。海湾战争、伊拉克战争向人们展示了现代化战争在很大程度上是高新技术的较量。而物理学是现代高新技术发展的先导与基础，现代军事技术离不开物理学的新成就，如红外制导、红外夜视、激光雷达、声纳、核技术和核武器等都与物理学原理和物理实验技术密切相关。新军事变革对军事指挥人员科技素质的要求比以往任何时候都高，一个高级军事人才，仅仅掌握物理原理而不知其在军事高新技术中的应用，或仅仅了解军事高新技术而不知其中的物理学原理，都将不能适应现代战争的需要。因此，一名军事指挥人员物理基础的深浅以及对物理原理在现代军事高新技术中的应用了解的程度，将是衡量其科技素质高低的重要标准之一。在一般的大学物理教学过程中，由于种种原因，不能过多地涉及技术应用，因此在新的军事人才培养方案中，要求在大学物理课程之后开设有关物理原理在军事高新技术中的应用的选修课。解放军理工大学已经在各专业中普遍开设了这方面的课程，编写本教材正是为了适应这种课程改革的需要。

本书是在讲授《现代军事高新技术的物理基础》选修课的基础上写成的。全书以大学物理学为基础，阐述了物理原理在军用高新技术中的应用，着重阐明物理学基础理论与军事高新技术的联系，内容包括信息技术、红外技术、激光技术、声学技术、等离子体技术、空间技术、新材料技术和新能源技术等。

参加本书编写的人员有：龚艳春编写第 1 章、第 2 章、第 5 章、第 7 章、第 8 章，武文远编写第 3 章、第 4 章、第 6 章，吴王杰参与编写了第 1 章和第 5 章部分内容，王晓参与编写了第 4 章部分内容。全书由龚艳春、武文远统稿。

我们诚恳地对在编写过程中所参阅文献的作者表示谢意。由于书中内容涉及面广，加之编者水平有限，经验不足，而且军事高新技术的发展日新月异，书中难免存在不妥和错误之处，敬请批评指正。

作　者

2006 年 6 月

目　录

第 1 章　信息技术及其军事应用 …… 1
1.1　信息获取——传感器技术 …… 1
1.1.1　传感器的概念 …… 1
1.1.2　传感器的分类 …… 2
1.1.3　传感器的特性 …… 3
1.1.4　传感器的物理效应及其应用 …… 5
1.1.5　光纤传感器 …… 12
1.1.6　传感器在军事高新技术中的地位与作用 …… 15
1.2　信息传输——光纤传输技术 …… 16
1.2.1　光纤传输原理 …… 16
1.2.2　光纤通信 …… 21
1.2.3　光纤通信的军事应用 …… 22
1.3　信息存储——光学存储技术 …… 23
1.3.1　光盘系统的基本原理 …… 23
1.3.2　光盘的存储特点及军事应用 …… 28
1.3.3　光存储技术的发展方向 …… 29
第 2 章　红外技术及其军事应用 …… 31
2.1　红外技术的物理基础 …… 31
2.1.1　红外辐射概念 …… 31
2.1.2　红外辐射规律 …… 32
2.1.3　红外辐射的传输特性 …… 33
2.1.4　红外探测器 …… 34
2.1.5　红外系统 …… 37
2.2　红外成像与遥感技术 …… 38
2.2.1　红外变像管 …… 39
2.2.2　热像仪 …… 39
2.2.3　红外热电视 …… 42

需要全本请访问 www.ertongbook.com

2.2.4 红外遥感技术 …… 42
2.3 红外技术的军事应用 …… 43
2.3.1 红外技术的军事意义 …… 43
2.3.2 红外夜视技术 …… 45
2.3.3 红外侦察技术 …… 45
2.3.4 红外搜索跟踪与红外雷达 …… 46
2.3.5 红外精确制导技术 …… 47
2.3.6 红外隐身技术 …… 49
第3章 激光技术及其军事应用 …… 51
3.1 激光技术的物理基础 …… 51
3.1.1 激光产生的基本原理 …… 51
3.1.2 激光的特性 …… 60
3.1.3 各种各样的激光器 …… 61
3.2 激光技术在军事上的应用 …… 62
3.2.1 激光通信 …… 62
3.2.2 激光测距 …… 63
3.2.3 激光雷达 …… 64
3.2.4 激光制导 …… 66
3.2.5 激光侦察 …… 67
3.2.6 激光实战模拟 …… 68
3.2.7 激光武器 …… 68
3.3 激光对抗技术 …… 71
3.3.1 光电对抗概述 …… 71
3.3.2 激光侦察与告警 …… 71
3.3.3 激光干扰 …… 73
3.3.4 抗激光加固技术 …… 75
第4章 声学技术及其军事应用 …… 77
4.1 声学技术的物理基础 …… 77
4.1.1 描述介质中声波的物理量 …… 77
4.1.2 声波的多普勒效应 …… 81
4.1.3 声波的产生与接收 …… 82
4.1.4 声波的传输特性 …… 82
4.2 声学技术在军事上的应用 …… 83
4.2.1 声纳技术 …… 83

4.2.2 反声探测技术 …… 87
4.2.3 次声武器 …… 89
第5章 等离子体技术及其军事应用 …… 93
5.1 等离子体技术的物理基础 …… 93
5.1.1 物质第四态 …… 93
5.1.2 等离子体特性及其描述 …… 94
5.1.3 等离子体的电磁性质 …… 99
5.2 等离子体的应用 …… 102
5.2.1 等离子体应用概述 …… 102
5.2.2 等离子体的军事应用前景 …… 103
第6章 空间技术及其军事应用 …… 109
6.1 空间技术概述 …… 109
6.1.1 空间技术的发展 …… 109
6.1.2 空间及空间资源 …… 110
6.2 空间技术的物理基础 …… 112
6.2.1 空间运载技术 …… 112
6.2.2 空间飞行技术 …… 118
6.2.3 空间返回技术 …… 123
6.3 空间技术的军事应用 …… 123
6.3.1 侦察卫星 …… 124
6.3.2 通信卫星 …… 126
6.3.3 导航卫星 …… 127
6.3.4 测地卫星 …… 128
6.3.5 反卫星武器 …… 128
第7章 新材料技术及其军事应用 …… 130
7.1 新材料技术概述 …… 130
7.1.1 材料在新技术中的地位与作用 …… 130
7.1.2 材料的分类 …… 131
7.1.3 新材料的获取方法与途径 …… 132
7.2 材料科学的物理基础 …… 132
7.2.1 固体的能带 …… 132
7.2.2 费米能级 …… 134
7.2.3 导体、半导体与绝缘体 …… 136
7.2.4 本征半导体与杂质半导体 …… 137

7.3 纳米材料与技术 …… 140
7.3.1 纳米材料与技术概述 …… 140
7.3.2 纳米材料的物理性能 …… 140
7.3.3 STM与纳米加工 …… 143
7.3.4 纳米碳管 …… 144
7.3.5 纳米材料在军事上的应用 …… 145
7.4 超导材料与技术 …… 148
7.4.1 超导材料的基本特性 …… 148
7.4.2 超导电性的BCS理论 …… 152
7.4.3 超导技术概述 …… 152
7.4.4 超导技术在军事上的应用 …… 154
第8章 新能源及其军事应用 …… 157
8.1 新能源与新能源技术概述 …… 157
8.1.1 能源的分类 …… 157
8.1.2 能源的评价 …… 158
8.1.3 新能源与新能源技术的内涵 …… 158
8.2 新能源开发和利用的物理基础 …… 159
8.2.1 核能 …… 159
8.2.2 太阳能 …… 167
8.2.3 风能 …… 170
8.2.4 海洋能 …… 171
8.2.5 地热能 …… 172
8.2.6 氢能 …… 172
8.3 新的能量转换技术 …… 173
8.3.1 煤的流体化 …… 173
8.3.2 磁流体发电 …… 173
8.3.3 燃料电池 …… 174
8.4 核能在军事上的应用 …… 176
8.4.1 原子弹 …… 176
8.4.2 氢弹 …… 179
8.4.3 中子弹 …… 180
8.4.4 新兴核武器 …… 181
8.4.5 核动力 …… 181
参考文献 …… 183

第 1 章　信息技术及其军事应用

未来战争将是大规模杀伤性武器威慑下的信息化战争，争夺信息优势、夺取制信息权将成为决定战争胜负的关键。信息技术是技术密集型的综合技术，涉及到众多学科领域。但是最核心的应是信息获取技术、信息存储技术、信息传输技术和信息处理技术，而这些技术的基本原理都是物理学的理论，其发展直接取决于现代物理学理论和技术的进步。

1.1　信息获取——传感器技术

传感器技术是当今信息社会中一门跨学科的边缘技术学科，它已渗透到了工农业生产、国防军事、科学研究和日常生活的各个领域。传感器的发展，已成为一些边缘科学研究和高新技术开发的先驱。可以说当今的物质生产、科学技术和社会生活的不断发展都离不开传感器。

1.1.1　传感器的概念

生物体的感官就是天然的传感器，人的大脑就是通过感官（五官）来感知外界信息的。与此相似，工程和科学技术中，传感器也是用来感知和转换外界信息的。

国家标准将传感器定义为“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”。这里所谓的“可用输出信号”是指便于处理、传输的信号。

目前，电学量的测量技术得到了很大的发展，具有准确度高、灵敏度高、能进行连续测量、便于自动记录等优点。此外，可以借助计算机对电学量所载的信息进行存储、计算和处理。因此，电学量是目前最易于处理，也是最便于传输的信号。而科学技术和工程上所要测量的参数大多是非电量，如机械量（力、位移、速度、加速度、尺寸等）、热工量（温度、压力、流量等）以及化学量等，往往难以测量，因而人们往往设法将非电量转换成电量来测量，这就是非电量电测技术。

图 1.1 是现代自动测量系统中信息流通过程示意图，可分为以下几个部分：

信息的获取与转换——传感器(变送器、发送器、换能器);

信息的测量——测量电路;

信息的显示与处理——指示仪、记录仪、报警器、调节器、电子计算机等。

信息的处理——调节器、数据分析仪、电子计算机等。

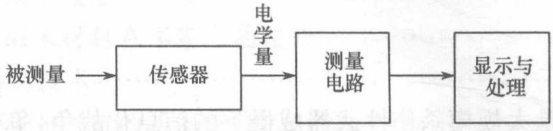


图 1.1 现代化测量系统中的信息流程

可见在信息流通过程中,传感器是一个获取信息,并将被测的非电量变换成电量的装置,传感器获得信息的正确与否,关系到整个测量系统的精度。因此,传感器在非电量电测系统中占有重要的位置。

绝大多数传感器都是依据各种物理原理或物理效应设计制成的。一般地说,传感器由两个部分组成。

(1)敏感元件

敏感元件是传感器中能直接感受或响应被测量的部分。许多非电量不能直接转换成电量,敏感元件的作用是对它们进行预变换,把被测非电量变换为易于转换成电量的一种非电量。

(2)转换元件

转换元件是传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号的部分。

有些传感器,例如热敏电阻、光电器件等,能直接实现温度、光强等非电量到电量的变换,没有敏感元件;有些传感器的敏感元件与转换元件合二为一,如电阻式压力传感器,在一个元件上同时实现压力变换成应变、应变转换成电阻的变化,这些传感器不需要敏感元件进行预变换,所以往往笼统地称传感器为转换元件。

1.1.2 传感器的分类

传感器的分类方法很多,最常用的是按照工作原理或用途来分类。

1. 按工作原理分类

按工作原理来分类时,一般将具有相同的结构特点或利用同一物理效应进行信号转换的传感器归为一类。因此,按工作原理来分类,传感器有两大类。

(1)结构型传感器

结构型传感器通过机械结构、几何形状或尺寸的变化,将外界被测参数转换

成相应的电阻、电容或电感等电量的变化，从而检测出被测信号。结构型传感器通常有敏感元件，通过敏感元件预变换后，才能完成被测非电量到电量的转换。例如电容式传感器，电容器电容 $C=\varepsilon_0\varepsilon_r A/d$，常使 ε_r、A、d 中的两个固定，通过改变另一个参数，使电容量发生变化。

(2)物性型传感器

物性型传感器是利用某些材料物理性质的变化来实现测量的。这类传感器大多数以半导体、电解质、铁电体等作为敏感材料，一般能一次完成由非电量到电量的转换。例如电阻式传感器，通过某种物理效应直接使敏感元件的电阻发生变化，达到测量的目的。

物性型传感器由于体积小、灵敏度高，是目前发展的方向。物性型传感器的性能取决于敏感材料，因此其发展与新材料技术的发展是息息相关的。例如半导体材料和新工艺的发展，促进了半导体传感器的迅速发展，出现了一批新型半导体传感器；压电半导体材料促进了压电集成传感器的形成；高分子压电薄膜的出现，使机器人的触觉系统更接近人的皮肤等。

2. 按用途分类

传感器按用途分类，也就是按被测量进行分类，有力敏传感器、温度传感器、加速度传感器等。这种分类指明了传感器的用途，方便使用者选用。但是由于同一种物理量可以用具有不同工作原理的传感器来测量，因此这种分类方式不便于使用者对其工作原理的理解和掌握。

在许多实际场合，常将上述两种分类方法结合起来，称为 *XX* 式 *XX* 传感器。例如电阻式应变传感器，表示是用电阻变化来测量应变的。

1.1.3 传感器的特性

利用传感器对各种各样的参数进行检测和控制的时候，需要传感器能感受被测非电量并将其转换成与被测量具有一定函数关系的电量，此外传感器所测量的非电量往往处于不断的变动中，传感器能否将这些非电量不失真地变换成相应的电量，取决于传感器的输入-输出特性，包括传感器的静态特性和动态特性。

1. 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指传感器转换的被测量的数值不随时间变化时传感器的输入-输出特性。

设传感器输出的电学量为 y，输入的非电量为 x，y 与 x 的关系可用一个函数 $y=f(x)$ 表示，称 $y=f(x)$ 为传感器的转换函数或灵敏度函数。

实际上，除了待测输入量 x 之外，测量对象和测量环境的其他干扰因数也可

需要全本请访问 www.ertongbook.com

能影响输出量 y。例如，测量应力 x 时，气压 p、温度 T、振动 θ，以及湿度、声强、辐射和电磁感应等都可能使输出的电量发生变化，如图 1.2 所示。这就是说转换函

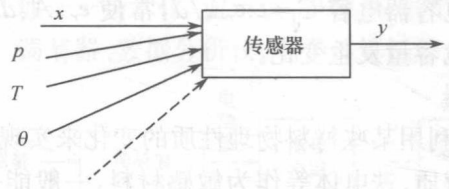


图 1.2　传感器的输入与输出

数实际上是一个多元函数

$$y = f(x, p, T, \theta \cdots)$$

应用多元函数微分，得

$$\mathrm{d}y = \frac{\partial f}{\partial x}\mathrm{d}x + \frac{\partial f}{\partial p}\mathrm{d}p + \frac{\partial f}{\partial T}\mathrm{d}T + \frac{\partial f}{\partial \theta}\mathrm{d}\theta + \cdots \tag{1.1}$$

即输出量 y 的变化值 $\mathrm{d}y$ 与各输入量的变化值 $\mathrm{d}x$、$\mathrm{d}p$、$\mathrm{d}T$、$\mathrm{d}\theta\cdots$ 均有关。这些输入量对输出量影响的大小取决于式中各项的系数 $\frac{\partial f}{\partial x}$、$\frac{\partial f}{\partial p}$、$\frac{\partial f}{\partial T}$、$\frac{\partial f}{\partial \theta}\cdots$。显然设计传感器时，应该使与干扰因数相对应的系数尽可能地小(技术上广泛应用补偿法来消除干扰影响)。忽略了干扰影响，即可以认为 $\frac{\partial f}{\partial p} = \frac{\partial f}{\partial T} = \frac{\partial f}{\partial \theta} = \cdots = 0$，则

$$\mathrm{d}y = \frac{\partial f}{\partial x}\mathrm{d}x$$

式中 $\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial x}$ 是输出量对输入量的变化率，显然这个值越大，传感器越灵敏，所以称 $\frac{\partial f}{\partial x}$ 为待测输入量 x 的灵敏度，用 S_x 表示，即

$$S_x = \frac{\partial f}{\partial x} \tag{1.2}$$

设计和制造传感器，还要求输入量 x 的灵敏度 $S_x = \frac{\partial f}{\partial x}$ 是个常量。也就是说，输出量 y 和输入量 x 的转换函数是线性函数。这样不仅对测量设备进行刻度定标大为方便，还可以提高测量的准确度。

实际上，许多传感器的输入 - 输出特性都是非线性的，即

$$y = f(x) = a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2 + \cdots \tag{1.3}$$

当传感器出现非线性情况时，必须采取线性化补偿措施，最简单的方法是通过拟合直线来获得尽量小的非线性误差。

关于传感器的静态特性，主要的指标有：

① 线性度，又称非线性误差。表示传感器实际输入-输出特性曲线与理论直线的最大偏差与输出满度值之比。

② 灵敏度。指传感器在稳定标准条件下，其输出变化量与输入变化量的比值。

③ 迟滞。指传感器输入量增大行程期间与输入量减小行程期间，输入输出曲线不重合的程度。产生迟滞现象的主要原因是传感器的机械部分不可避免地存在间隙、摩擦、松动等。

④ 重复性。指传感器输入量在同一方向做全量程内连续多次测量所得输入-输出特性曲线不一致的程度。

⑤ 稳定性。表示传感器在相当长的时间内保持其性能不变的能力。

2. 传感器的动态特性

在实际测量过程中，大多数被测量是随时间变化的动态信号，这就要求传感器的输出不仅能精确地反映被测量的大小，还要正确地再现被测量随时间的变化规律。输入信号发生变化时，引起输出信号也随时间变化，这个过程称为响应。传感器的动态特性，就是指传感器的动态响应能力，即测量动态信号时传感器的输出反映被测量的大小及其随时间变化的能力。动态性能差的传感器在测量过程将会产生很大的动态误差。

1.1.4 传感器的物理效应及其应用

绝大多数传感器都是依据各种物理原理或物理效应设计制成的。传感器的敏感材料都是其物理性质对电、光、声、热、磁、气体等的变化反应很灵敏的材料。所以有热敏、光敏、声敏、磁敏、电敏、气敏、湿敏、力敏材料等许多类型，它们是感知并传递各种信息的关键，是实现自动控制的重要物质基础。现代应用最多的新型敏感材料有半导体、陶瓷、高分子材料、金属间化合物等。

传感器的种类很多，所涉及的物理原理或物理效应也很多。下面简要介绍其中的一些物理效应及其应用。

1. 光电效应

我们知道，光是一种频率很高的电磁波，能引起人视觉的为可见光，其波长在 0.38μm～0.76μm；波长在 0.76μm～1000μm 范围内的光波称为红外光，波长在 0.005μm～0.38μm 范围内的光波称为紫外光。红外光和紫外光不能引起视觉，但可借助仪器检测出来。此外还有无线电波、γ 射线等。光既具有波动性，也有粒子性，一束光可看成是一束以光速运动的粒子，这种粒子称为光子。当光入射到金属、金属氧化物、半导体等材料上时，光子与材料中的电子相互作用，从而使其中的电子释放出来，这种现象就称为光电效应。

利用光电效应可以很方便地将光信号转换为电信号，光电效应是一切光电式传感器的物理基础。通常，光电效应分为两类。

一类光电效应是物体在光的作用下，有电子从物体表面逸出，这种现象称为外光电效应，又称为光电发射效应。外光电效应多产生于金属或金属氧化物。在光的照射下，物质中电子吸收一个光子的能量，一部分用于克服物质对电子的束缚而做功，另一部分转化为电子逸出时的初动能。根据爱因斯坦光电方程

$$h\nu=\frac{1}{2}mv_{\max}^{2}+A \tag{1.4}$$

A 为电子逸出功，只有当入射光子的能量大于电子逸出功时，物质内的电子才能摆脱原子的束缚向外逸出。利用外光电效应可制成光电管和光电倍增管。不过到目前为止，所发现的光电发射材料的截止波长都比较短，只能响应近红外的一个很小的波段范围，因此光电管在红外探测上受到很大限制。

另一类光电效应是物体在光的作用下，产生光生电子和光生空穴，但没有电子从物体表面逸出，称为内光电效应。内光电效应又分为光电导效应和光生伏特效应。当半导体材料受到光照射时，如果入射光子的能量大于其禁带宽度，材料中的载流子(电子和空穴)数量增大，导致材料的电导率增大，这种现象称为光电导效应。半导体材料的 PN 结受到光照射时，如果入射光的能量大于其禁带宽度，在 PN 结两侧便会产生光生电动势，这种现象就是 PN 结光生伏特效应。利用内光电效应可以制成光电池、光敏电阻等。

2. 基于光电效应的传感器

(1)光电管

如图 1.3 所示，光电管是由一个涂有光电材料的阴极 K 和一个阳极 A 封装在真空玻璃壳内组成的。当光照射在阴极上，阴极就会发射出电子，由于阳极电位比阴极高，阳极便会收集阴极发射出来的电子，在光电管组成的回路中形成电流，并在负载 R_L 上产生输出电压。在入射的频谱成分不变的情况下，输出电压

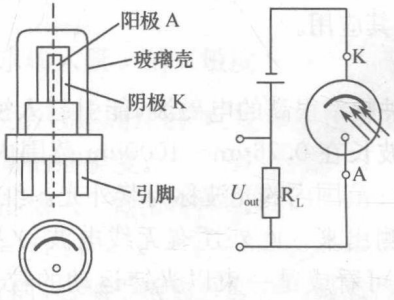


图 1.3　光电管的结构及电路

与入射光通量成正比。不同阴极材料制成的光电管有着不同的灵敏度较高区域，因此应用时需要根据所测光谱的波长选用相应的光电管。例如若被测光的成分是红光，选用银氧铯光电管可以得到较高的灵敏度。

(2) 光电倍增管

用光电管测量微弱的光信号时，由于产生的光电流很小，造成的测量误差很大，甚至无法测量。为了提高光电管的灵敏度，在光电管的阴极 K 和阳极 A 之间安装一些倍增极，就构成了光电倍增管。当入射光子打在光阴极上时，光阴极发射出光电子，该电子又打在电位较高的第一倍增极上，于是又产生新的二次电子，第一倍增极产生的二次电子又打在电位较高的第二倍增极上，该倍增极同样也会产生二次电子发射，如此连续下去，直到最后一级倍增极产生的二次电子被更高电位的阳极收集为止，从而在整个回路里产生光电流 I_A。根据负载上输出电压或电流的大小就可检测到入射光通量的大小。光电倍增管的放大倍数很大，一般可达 10^6，但其信噪比却比光电管大得多，因此特别适用于光通量很微弱的场合。

(3) 光敏电阻

光敏电阻又叫光导管，是常用的光敏器件之一。如图 1.4 所示，当无光照时，光敏电阻的阻值一般在 1MΩ～100MΩ 之间，由于光敏电阻的阻值太大，使得流过电路中的电流很小；当有光照射时，光敏电阻的阻值变小，电路中的电流变大。根据电流表检测出电流的变化，便可得知入射光的强弱。使用不同材料制成的光敏电阻对不同波长有着不同的灵敏度，使用时应根据需要选定。光敏电阻的用途很广，常用于照相机、报警以及利用光的作用检测物件的有无等。但是由于光敏电阻的光电特性存在非线性，一般不适用于做定量测量元件。除了光敏电阻，光敏器件还有光敏二极管、光敏三极管等等。

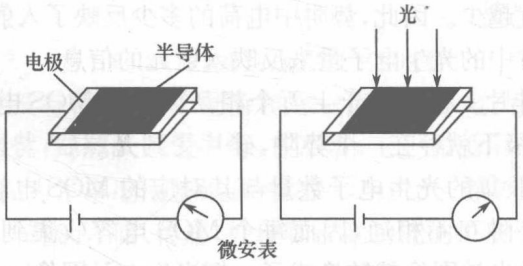


图 1.4　光敏电阻工作示意图

(4)光电耦合器

光电耦合器是将发光元件与受光元件组合封装在同一个密封体内的器件，发光元件和受光元件以及信号处理电路可集成在一块芯片上。工作时，将电信

号加在发光元件上，使发光元件发光，而受光元件则在发光元件光辐照的作用下输出光电流，实现电-光-电两次转换，从而通过光实现输入端与输出端之间的耦合。光电耦合器件的输入和输出之间在电气上是绝缘的，只能由光传递信号，因而具有优良的电隔离性。

(5) 太阳电池

太阳电池是一种将光直接转换成电能的半导体器件，也称为光电池。光电池能将光信号直接转变成电信号，可以作为光传感器使用，在工业、军事、科研等许多领域有着广泛的应用。将光电池组成大面积的光电池组，就可作为电源使用，太阳能作为一种洁净能源受到人们的广泛关注。

(6) 电荷耦合器件

电荷耦合器件又称 CCD 器件，是在 MOS 电容器的基础上发展起来的，它的基本结构如图 1.5 所示。在一片 P 型硅上生长一层具有介质作用的二氧化硅薄膜，在二氧化硅薄膜上又淀积一层金属电极，就形成了一个金属-氧化物-半导体电容器，即 MOS 电容。当给金属电极加一正电压时，电极下面硅片的一个区域内的空穴将被赶尽而形成一个耗尽区。而耗尽区对带负电的电子来说则是一个势能特别低的区域，与周围非耗尽区相比，就像一个陷阱，因此称为电子势阱。这时若有光从硅背面照入，在耗尽区及其附近产生的光生电子就会被收集在势阱内，而同时产生的光生空穴则被排斥出耗尽区。光照越强，产生的电子-空穴就越多，势阱中收集的电子数就越多；光照越弱，产生的电子-空穴就越少，势阱中收集的电子数就越少。因此，势阱中电荷的多少反映了入射光的强弱。这样，就能用收集在势阱中的光生电子量来反映入射光的信息。

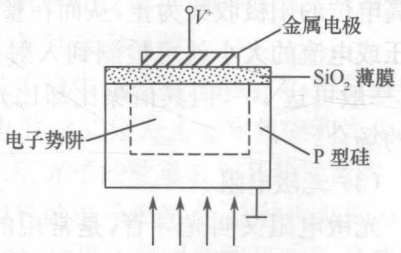


图 1.5　MOS 电容的结构

如果我们在硅片上做成成千上万个相互孤立的 MOS 电容，在电极上加上电压后，每一个电极下就存在一个势阱，硅片受到光照后，势阱中就收集了光生电子，每个势阱中收集的光生电子数量与其对应的 MOS 电容受光照的强弱成正比。由于这些势阱互不相通，因而每个 MOS 电容收集到的电子不会混淆。这样照在硅片上的光学图像就转换成了一幅光生电子图像。只要电极上的电压不去掉，这些代表光信息的电荷就一直储存在那里，通常将这些收集在势阱中的信号电荷称为电荷包。

不过要想真正得到图像信号，还必须将储存在电荷包中的信息读取出来。做法是将硅片上排列的一系列 MOS 电容的电极以图 1.6(a)所示的三相方式联

结，在三相电极上加一组图 1.6(b)所示的时钟脉冲，这样电荷包将会按一定的规律变化。例如图中 $t=t_1$ 时，时钟 ϕ_1 的电压为 V，而时钟 ϕ_2、ϕ_3 均为零，此时信号电荷只存储在电极 1、4、7…下面的势阱中。在 $t=t_2$ 时，时钟 ϕ_1 的电压逐渐减小，时钟 ϕ_2 的电压上升为 V，时钟 ϕ_3 仍为零，这时，电极 2、5、8…下面成了势阱。由于 MOS 电容下势阱的深度与所加电压成正比，随着时钟电压 ϕ_1 的减小，ϕ_1 下的势阱逐渐变浅，而 ϕ_2 下的势阱逐渐变深。与水往低处流一样，电子总是由势能高的地方向势能低的地方运动，因此原 ϕ_1 下的电荷包就逐渐向 ϕ_2 下移动。当 $t=t_3$ 时，ϕ_1 下降为零，ϕ_1 电极下的势阱全部消失，电荷包全部转移到 ϕ_2 电极下的势阱中。电荷包就这样完成了一次转移。随着时钟信号的不断变化，电荷包就会沿着硅及二氧化硅的界面，不断朝一个方向转移，这就是 CCD 中载流子的输运过程。在 MOS 电容电极的终端再制作一个 PN 结，就形成了 CCD 器件的输出端。给这个 PN 结以反向偏置，那么转移到终端的电荷包就会被 PN 结收集，在负载上形成脉冲电流。脉冲的幅度正比于电荷包中电荷的数量。

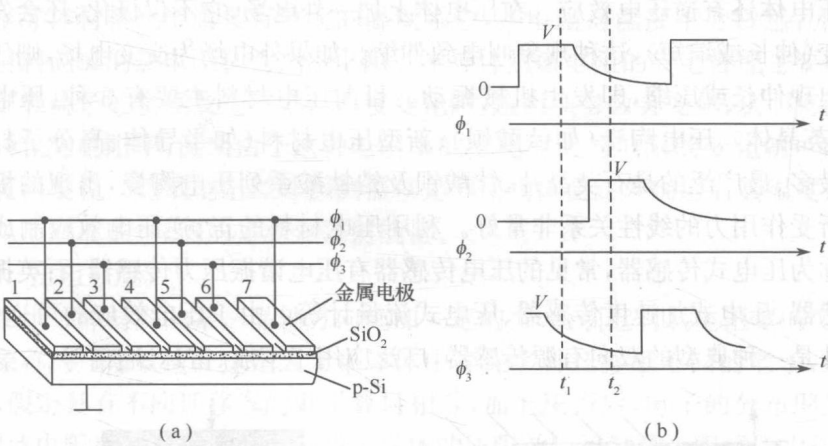


图 1.6　CCD 结构示意图及三相时钟

可见 CCD 器件具有存储、转移电荷和逐一读出信号电荷的功能，因此可以制成图像传感器、数据存储器、延迟线等，在军事、工业和民用产品领域内有着广泛的应用。特别是作为军事应用基础器件之一，与红外、紫外器件相结合，能够实现军事信息获取、转换、存储、传送、处理和视觉功能的扩展，给出真实直观、层次多样、内容丰富的信息，可用于卫星航空遥感 、微光夜视、成像制导跟踪、军事目标及战场侦察监视等，在促进武器更新换代方面显示出越来越重要的作用，令军事人员瞩目。

3. 霍耳效应

如图 1.7 所示，将一导电板放在垂直于它的磁场中，当有电流通过时，在导

需要全本请访问 www.ertongbook.com