

# 航空机载电子系统与设备

以光衢 刘惠彬 关德新 郑玉簋 编著

以光衢 主编



北京航空航天大学出版社

V243  
1014

V243  
1014-1

前  
介  
容  
内

航空机载电子系统是飞机安全飞行和完成各项任务的重要保障。本书为航空机载电子系统... 航空机载电子系统... 航空机载电子系统...

# 航空机载电子系统与设备

以光衢 刘惠彬 关德新 郑玉篁 编著

以光衢 主编



一九九八年四月九日



30769507

北京航空航天大学出版社

769507

ISBN 7-81015-894-8  
定价：35.00元

## 内 容 简 介

本书是有关航空机载电子系统与设备的综合性教材,对飞机主要的机载电子系统与设备的组成、工作原理及特点作了系统的介绍,同时介绍了各专门技术领域中新的技术和发展。

本书具有高度的综合性,可作为相邻专业了解航空机载电子系统与设备、拓宽专业口径、增强适应性的教材或教学参考书,也可作为有关厂、所工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

航空机载电子系统与设备/以光衢等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,1997.8

ISBN 7-81012-694-6

I. 航… II. 以… III. ①机载设备:电子设备②航空器-电子系统 IV. V243

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 11592 号



- 书 名:航空机载电子系统与设备
- 编 著 者:以光衢主编
- 责任编辑:刘宝俊
- 责任校对:张韵秋
- 出 版 者:北京航空航天大学出版社
- 地 址:北京学院路 37 号(100083) 62015720(发行科)
- 印 刷 者:北京市宏文印刷厂
- 经 售:北京航空航天大学出版社发行科 全国各地新华书店
- 开 本:787×1092 1/16
- 印 张:23.25
- 字 数:595千字
- 印 数:1500册
- 版 次:1997年8月第一版
- 印 次:1997年8月第一次印刷
- 书 号:ISBN 7-81012-694-6/V·045
- 定 价:22.00元

# 前 言

航空机载设备已成为保障飞机安全飞行和完成各种飞行任务必需的设备,成为提高飞机技术和战术性能的重要因素。其性能和配置水平是衡量一个国家航空技术水平的重要标志之一。

航空机载设备涉及的专业技术领域广,门类繁多,产品更新换代频繁。本书介绍的是航空机载电子系统与设备各主要的专门技术领域。

《航空机载电子系统与设备》一书共分十章,它们依次是:

发动机工作状态参数测量;

飞行状态参数测量;

航空电子综合显示仪;

陀螺仪 姿态和航向测量;

惯性导航系统;

无线电通信系统;

雷达系统;

无线电导航设备与系统;

飞行控制系统;

飞行管理系统与空中交通管理。

在编写本书时考虑到教学对象的特点,对材料的选取及内容的讲述,侧重各专门技术领域的组成、基本工作原理和特点,侧重基本物理概念,不追求理论的完整性推导。本书具有高度的综合性,同时注意各技术领域中的新技术和新发展。

书中的第四、五、九、十章以及前言和附记由以光衡执笔;第一、二、三章由刘惠彬执笔;第六、七章由关德新执笔;第八章由郑玉簋执笔。以光衡主编。

本书是在北京航空航天大学“工业外贸与航空技术专业”试点班多届教学实践基础上适当扩展写成。在编写和出版过程中得到中国航空技术进出口公司有关领导江同同志、金长发同志的指导和帮助,并得到公司的出版资助;得到北京航空航天大学陈孝戴同志、杨念梅同志的具体指导。作者由衷地对他们表示感谢。

囿于学识水平,书中缺点和不足之处,热忱欢迎读者批评指正。

# 目 录

<b>第一章 发动机工作状态参数测量</b> .....	(1)
1.1 压力测量 .....	(1)
1.1.1 概述 .....	(1)
1.1.2 压力弹性敏感元件 .....	(3)
1.1.3 利用弹性敏感元件压力位移特性的压力表与传感器 .....	(4)
1.1.4 利用弹性敏感元件应力应变特性的压力表与传感器 .....	(7)
1.1.5 利用弹性敏感元件压力集中力特性的压力表与传感器 .....	(10)
1.1.6 利用弹性敏感元件压力谐振频率特性的压力表与传感器 .....	(12)
1.2 温度测量 .....	(15)
1.2.1 概述 .....	(15)
1.2.2 热电阻测温 .....	(15)
1.2.3 热电偶测温 .....	(18)
1.3 转速测量 .....	(25)
1.3.1 磁转速表 .....	(26)
1.3.2 测速发电机 .....	(27)
1.3.3 数字式转速表 .....	(27)
1.4 流量和油量测量 .....	(32)
1.4.1 概述 .....	(32)
1.4.2 涡轮流量计 .....	(33)
1.4.3 质量流量计 .....	(34)
1.4.4 油量测量 .....	(35)
<b>第二章 飞行状态参数测量</b> .....	(36)
2.1 飞行高度测量 .....	(36)
2.1.1 飞行高度的种类 .....	(36)
2.1.2 飞机上测量飞行高度的方法 .....	(37)
2.1.3 国际标准大气 .....	(38)
2.1.4 气压式高度表与传感器 .....	(42)
2.1.5 气压式高度表与传感器的误差 .....	(44)
2.1.6 气压式高度表与传感器所能测量的高度 .....	(47)
2.1.7 高度偏差测量 .....	(47)
2.2 飞行速度测量 .....	(48)
2.2.1 飞行速度的种类 .....	(48)
2.2.2 地速测量 .....	(49)
2.2.3 空速测量 .....	(51)

2.2.4	指示空速测量	(58)
2.2.5	马赫数测量	(59)
2.2.6	升降速度测量	(61)
2.3	总静压管	(62)
2.4	迎角和侧滑角测量	(63)
2.5	大气数据计算机	(66)
2.5.1	概述	(66)
2.5.2	大气数据计算机的组成和类型	(66)
2.5.3	机电模拟式大气数据计算机	(67)
2.5.4	数字式大气数据计算机	(67)
2.5.5	参数计算原理	(69)
2.5.6	大气数据计算机的发展趋势	(75)
<b>第三章 航空电子综合显示仪</b>		<b>(77)</b>
3.1	概述	(77)
3.2	飞机上所用的电子综合显示仪	(80)
3.2.1	波音 757/767 和 A—310 客机的电子综合显示仪	(80)
3.2.2	波音 747—400 和 A—320 客机的电子综合显示仪	(88)
3.2.3	波音 777 客机的电子综合显示仪	(88)
3.2.4	F—18 战斗机的电子综合显示仪	(94)
3.3	电子综合显示仪的基本原理	(95)
3.3.1	阴极射线管显示器(CRT)	(95)
3.3.2	液晶显示器(LCD)	(98)
3.3.3	字符—图形产生技术	(99)
3.3.4	平视显示仪原理	(101)
3.4	飞机仪表显示系统的发展趋势	(102)
<b>第四章 陀螺仪 姿态和航向测量</b>		<b>(104)</b>
4.1	二自由度陀螺仪的基本特性及应用	(104)
4.1.1	基本特性与框架式陀螺仪的结构	(104)
4.1.2	航空地平仪结构原理	(112)
4.1.3	飞行指引仪的姿态基准	(113)
4.1.4	姿态系统	(114)
4.1.5	航向陀螺仪	(115)
4.2	单自由度陀螺仪的基本特性及应用	(116)
4.2.1	单自由度陀螺仪运动分析及框架式结构	(116)
4.2.2	速率陀螺仪及液浮式结构	(118)
4.2.3	速率积分陀螺仪及液浮式结构	(121)
4.2.4	力反馈式速率陀螺仪	(123)

(85) 4.2.5 单自由度陀螺仪应用实例 .....	(124)
(97) 4.3 其他类型的陀螺仪 .....	(127)
(10) 4.3.1 挠性陀螺仪 .....	(127)
(30) 4.3.2 静电陀螺仪 .....	(128)
(80) 4.3.3 激光陀螺 .....	(130)
(07) 4.4 飞机的航向与航线 .....	(134)
(00) 4.4.1 几种航向 .....	(134)
(00) 4.4.2 几种航线 .....	(138)
(7) 4.5 陀螺磁罗盘 .....	(138)
(70) 4.5.1 感应式磁传感器的工作原理 .....	(139)
(00) 4.5.2 陀螺磁罗盘的基本组成和工作原理 .....	(141)
(7) 4.6 罗盘系统的组成 .....	(143)
<b>第五章 惯性导航系统</b> .....	(145)
(7) 5.1 概述 .....	(145)
(0) 5.2 有关知识 .....	(147)
(08) 5.2.1 主要坐标系 .....	(147)
(88) 5.2.2 地球 .....	(149)
(88) 5.2.3 当地地理坐标系的绝对角速度 .....	(150)
(4) 5.3 加速度计 .....	(151)
(70) 5.3.1 加速度计的类型 .....	(151)
(30) 5.3.2 液浮摆式加速度计 .....	(153)
(80) 5.3.3 挠性加速度计 .....	(154)
(0) 5.4 加速度测量问题 .....	(156)
(101) 5.4.1 比力 .....	(156)
(801) 5.4.2 绝对加速度表达式 .....	(157)
5.4.3 导航的基本方程 .....	(158)
(101) 5.5 平台式惯性导航系统 .....	(160)
(101) 5.5.1 基本组成 .....	(160)
(101) 5.5.2 单通道惯性导航系统 .....	(161)
(811) 5.5.3 惯导系统中的舒拉条件 .....	(164)
(8) 5.6 指北方位惯导系统参数计算及特点 .....	(166)
(111) 5.6.1 平台指令角速度 .....	(166)
(211) 5.6.2 速度计算 .....	(168)
(811) 5.6.3 经度、纬度计算 .....	(168)
(311) 5.6.4 姿态角的获取 .....	(169)
(811) 5.6.5 高度通道问题 .....	(169)
(191) 5.6.6 指北方位惯导系统的特点 .....	(170)
(0) 5.7 平台式惯导系统初始对准简介 .....	(171)

5.8	捷联式惯性导航系统	(173)
5.8.1	基本原理	(173)
5.8.2	激光陀螺惯性基准系统	(176)
5.9	惯性导航技术的发展	(180)
<b>第六章 无线电通信系统</b>		<b>(183)</b>
6.1	概述	(183)
6.1.1	引言	(183)
6.1.2	通信方式	(184)
6.1.3	模拟通信与数字通信	(185)
6.1.4	信号及其带宽	(187)
6.1.5	信道与广义信道	(190)
6.1.6	通信系统的主要问题及性能指标	(191)
6.2	模拟调制通信系统	(192)
6.2.1	引言	(192)
6.2.2	幅度调制	(192)
6.2.3	角度调制	(196)
6.2.4	模拟调制通信系统的性能特点	(201)
6.3	数字调制通信系统	(203)
6.3.1	引言	(203)
6.3.2	数字调制的产生与解调	(204)
6.3.3	数字调制通信系统的性能特点	(208)
6.3.4	其他数字调制	(209)
6.3.5	航空无线电通信系统	(212)
<b>第七章 雷达系统</b>		<b>(213)</b>
7.1	概述	(213)
7.1.1	引言	(213)
7.1.2	雷达方程	(214)
7.1.3	雷达信息	(215)
7.1.4	目标信息处理	(217)
7.1.5	雷达频率	(223)
7.2	脉冲一次雷达	(224)
7.2.1	引言	(224)
7.2.2	航路(道)监视雷达	(225)
7.2.3	机场监视雷达	(228)
7.2.4	精密着陆雷达	(229)
7.2.5	机场地面探测装置(ASDE)	(230)
7.3	二次监视雷达(SSR)	(233)



7.3.1	引言	(233)
7.3.2	传统二次监视雷达	(233)
7.3.3	S 模式二次监视雷达	(238)
<b>第八章 无线电导航设备与系统</b>		<b>(241)</b>
8.1	无线电导航的基本知识	(241)
8.1.1	无线电导航的基本概念	(241)
8.1.2	无线电导航系统的分类	(242)
8.1.3	常用航空无线电导航系统	(243)
8.2	自动测向器(ADF)	(245)
8.2.1	环状天线的方向性及测角原理	(245)
8.2.2	机载无线电定向仪(ADF)	(247)
8.3	全向信标系统(VOR)	(249)
8.3.1	概述	(249)
8.3.2	全向信标(VOR)测定方位的基本原理	(250)
8.3.3	VOR 机载设备的构成	(251)
8.4	仪表着陆系统(ILS)	(253)
8.4.1	概述	(253)
8.4.2	航向信标 LOC(Localizer)	(254)
8.4.3	下滑信标 GS(Glideslope)	(254)
8.4.4	指点标 MB(Marker Beacon)	(256)
8.4.5	仪表着陆系统的机载设备	(257)
8.4.6	微波着陆系统 MLS 简介	(257)
8.5	测距器	(259)
8.5.1	概述	(259)
8.5.2	测距器的信号格式及波形	(261)
8.5.3	DME 的“频闪搜索”	(262)
8.5.4	机载 DME 询问器的组成	(262)
8.6	无线电高度表	(263)
8.6.1	概述	(263)
8.6.2	调频式高度表的基本工作原理	(263)
8.6.3	无线电高度表的组成	(265)
8.6.4	影响调频式无线电高度表精度的因素	(265)
8.6.5	调谐无线电高度表的性能指标	(266)
8.7	多卜勒导航雷达	(266)
8.7.1	概述	(266)
8.7.2	多卜勒效应及其测速原理	(267)
8.7.3	利用多卜勒频率测量飞机的地速和偏流角	(269)
8.7.4	机载多卜勒导航系统的组成及信号频谱	(270)

8.8	测距差导航定位系统	(271)
8.8.1	概述	(271)
8.8.2	奥米加导航系统的一般情况	(271)
8.8.3	奥米加系统的信号格式	(272)
8.8.4	系统的基本工作原理	(274)
8.8.5	奥米加系统机上设备的组成	(275)
8.9	卫星导航系统	(276)
8.9.1	概述	(276)
8.9.2	卫星的轨道参量	(277)
8.9.3	全球定位系统(GPS)的组成	(278)
8.9.4	GPS系统的定位原理	(280)
8.9.5	影响定位误差的主要因素	(280)
8.9.6	差分GPS(DGPS)及其应用	(281)
8.10	无线电波及其传播	(281)
8.10.1	无线电波	(281)
8.10.2	传输媒质对电磁波的影响	(283)
8.10.3	电磁波的传播途径	(283)
8.11	天线	(284)
8.11.1	概述	(284)
8.11.2	天线的主要性能参数	(284)
8.11.3	天线类型	(285)
8.12	无线电系统	(287)
<b>第九章</b>	<b>飞行控制系统</b>	<b>(290)</b>
9.1	概述	(290)
9.2	飞机的纵向运动	(292)
9.2.1	纵向运动方程	(292)
9.2.2	纵向运动特征	(293)
9.2.3	短周期运动的近似传递函数	(295)
9.3	执行机构	(296)
9.3.1	舵机	(296)
9.3.2	舵回路的基本类型	(298)
9.4	纵向角运动的稳定与控制	(300)
9.4.1	自动驾驶仪的组成与工作原理	(300)
9.4.2	基准运动状态的建立	(302)
9.4.3	比例式自动驾驶仪的控制律	(303)
9.4.4	具有角位移和角速度信号的自动驾驶仪	(306)
9.4.5	积分式自动驾驶仪的控制律	(307)
9.5	飞机侧向角运动的稳定与控制原理	(308)

9.6	纵向轨迹控制系统	(310)
9.6.1	飞行高度的稳定与控制	(310)
9.6.2	飞机下滑着陆控制	(312)
9.7	数字式飞行控制系统	(318)
9.7.1	计算机控制系统信号特性	(318)
9.7.2	数字式飞行控制系统的功能与组成	(323)
9.7.3	飞机纵向运动控制框图	(325)
9.7.4	数字式飞行控制系统的关键技术及发展	(325)
9.8	飞行控制技术的发展	(326)
9.8.1	主动控制技术	(326)
9.8.2	电传操纵	(331)
<b>第十章</b>	<b>飞行管理系统与空中交通管理</b>	<b>(333)</b>
10.1	飞行管理系统概述	(333)
10.2	飞行管理系统的组成	(335)
10.3	飞行管理系统的功能	(337)
10.4	飞行管理系统的传感设备与执行部件	(339)
10.5	飞行管理计算机	(343)
10.5.1	概述	(343)
10.5.2	导航数据库	(345)
10.5.3	性能数据库	(346)
10.6	飞行管理计算机的三种功能	(347)
10.7	空中交通管理	(351)
10.7.1	空中交通管理概念	(351)
10.7.2	间隔划分	(351)
10.7.3	空中交通管理体制	(354)
10.7.4	空中交通管理设备	(355)
	<b>参考文献</b>	<b>(361)</b>
	<b>附 记</b>	<b>(362)</b>

# 第一章 发动机工作状态参数测量

发动机仪表与传感器是飞机飞行时测量发动机工作状态参数,为飞行员、发动机自动控制系统提供信息的机载设备。

各种类型的航空发动机所需测量的参数很多,而且不完全一样。本章主要介绍压力、温度、转速和流量测量的测量原理、组成原理及其特点。

## 1.1 压力测量

### 1.1.1 概述

#### 1. 压力的种类

在物理学中,流体介质垂直作用在单位面积上的力称为压强,在工程上称为压力。压力是由于流体介质分子的质量和分子热运动对容器壁碰撞的结果。压力是反映流体介质状态的一个很重要的参数。由定义可知,压力为

$$p = F/S \quad (1-1)$$

式中  $F$  为垂直作用在面积  $S$  上的力。

工程上压力有以下几种:

#### (1) 绝对压力 $p_a$

流体介质所处空间的全部压力,即相对于绝对零压力而测得的流体介质的压力称为绝对压力。

#### (2) 表压力 $p_g$

又称相对压力。是绝对压力  $p_a$  与当地大气压力  $p_0$  之差,即相对当地大气压力所测得的压力。

$$p_g = p_a - p_0 \quad (1-2)$$

当绝对压力大于当地大气压力时,表压力为正表压;当绝对压力小于当地大气压力时,表压力为负表压。

#### (3) 真空 $p_v$

习惯上将负表压称为真空。一般真空度用绝对压力表示。绝对压力愈小,负表压的绝对值愈大,真空度愈高。

$$p_v = |p_a - p_0| \quad (1-3)$$

#### (4) 差压 $\Delta p$

差压又叫压差,是任意两个压力之间的差值,即

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (1-4)$$

## 2. 压力的计量单位

由式(1-1)可见,压力的单位是力和面积的导出单位。它由质量、长度及时间三个基本单位导出。

在国际单位制[SI]中,力的单位是牛顿[N],面积的单位是平方米[m<sup>2</sup>],所以压力单位是牛/米<sup>2</sup>[N/m<sup>2</sup>]。这个单位又叫帕斯卡[Pa],简称帕,是国际制单位,也是我国国标中规定的法定计量单位。Pa 很小,1Pa 约等于 0.1mm 水柱高所产生的压力。

由于各单位制中力和面积的单位不同以及历史状况的差异,我国和国际上也曾使用过其他压力单位如标准大气压[atm]、工程大气压[at]、巴[bar]、毫米液柱[mmH<sub>2</sub>O、mmHg]、托[Torr]和磅/英寸<sup>2</sup>[psi]等压力计量单位。

为查阅文献方便,现将法定压力计量单位与曾使用过的各种压力计量单位进行换算对比,如表 1-1 所列。

表 1-1 压力计量单位换算法

单位名称	帕斯卡 N/m <sup>2</sup>	巴 (dyn/cm <sup>2</sup> )	标准 大气压	工程大气压 (kgf/cm <sup>2</sup> )	毫米汞柱 (0°C)	毫米水柱 (4°C)	磅/英寸 <sup>2</sup>
1 帕	1	1×10 <sup>-5</sup>	0.9869236 ×10 <sup>-5</sup>	1.019716 ×10 <sup>-5</sup>	0.75006 ×10 <sup>-2</sup>	1.019716 ×10 <sup>-1</sup>	1.450442 ×10 <sup>-4</sup>
1 巴	1×10 <sup>5</sup>	1	0.9869236	1.019716	0.75006 ×10 <sup>3</sup>	1.019716 ×10 <sup>4</sup>	1.450442 ×10
1 标准大气压	1.01325 ×10 <sup>5</sup>	1.01325	1	1.0332	0.76 ×10 <sup>3</sup>	1.0332 ×10 <sup>4</sup>	1.4696 ×10
1 工程大气压	0.980665 ×10 <sup>5</sup>	0.980665	0.9678	1	0.73556 ×10 <sup>3</sup>	1×10 <sup>4</sup>	1.422389 ×10
1 毫米汞柱	1.333224 ×10 <sup>2</sup>	1.333224 ×10 <sup>-3</sup>	1.316 ×10 <sup>-3</sup>	1.35951 ×10 <sup>-3</sup>	1	1.35951 ×10	1.934 ×10 <sup>-2</sup>
1 毫米水柱	0.980665 ×10	0.980665 ×10 <sup>-4</sup>	0.9678 ×10 <sup>-4</sup>	1×10 <sup>-4</sup>	0.73556 ×10 <sup>-1</sup>	1	1.4223 ×10 <sup>-3</sup>
1 磅/英寸 <sup>2</sup>	0.68949 ×10 <sup>4</sup>	0.68949 ×10 <sup>-1</sup>	0.6805 ×10 <sup>-1</sup>	0.70307 ×10 <sup>-1</sup>	0.51715 ×10 <sup>2</sup>	0.70307 ×10 <sup>3</sup>	1
	Pa	bar	atm	at	mmHg	mmH <sub>2</sub> O	psi

## 3. 测量压力的方法

常用的测压方法如下。

(1) 基于与重力相比较的测压方法,例如用流体的静重与压力相平衡的原理测压。如常用于实验室作压力计量标定设备的液柱压力计。

(2) 利用弹性敏感元件感受被测压力后的一些特性测压,有下面几种:

利用弹性敏感元件的压力位移特性测压;

利用弹性敏感元件的应力应变特性测压；

利用弹性敏感元件的压力集中力特性测压；

利用弹性敏感元件的压力谐振频率特性测压。

(3) 利用某些物质在被测压力作用下的特性变化来测压，如电离式真空计等。

### 1.1.2 压力弹性敏感元件

常用于压力测量的压力弹性敏感元件有平膜片、波纹膜片、波纹膜盒、波纹膜盒组、波纹管、包端管、振动筒等，如图 1-1 所示。

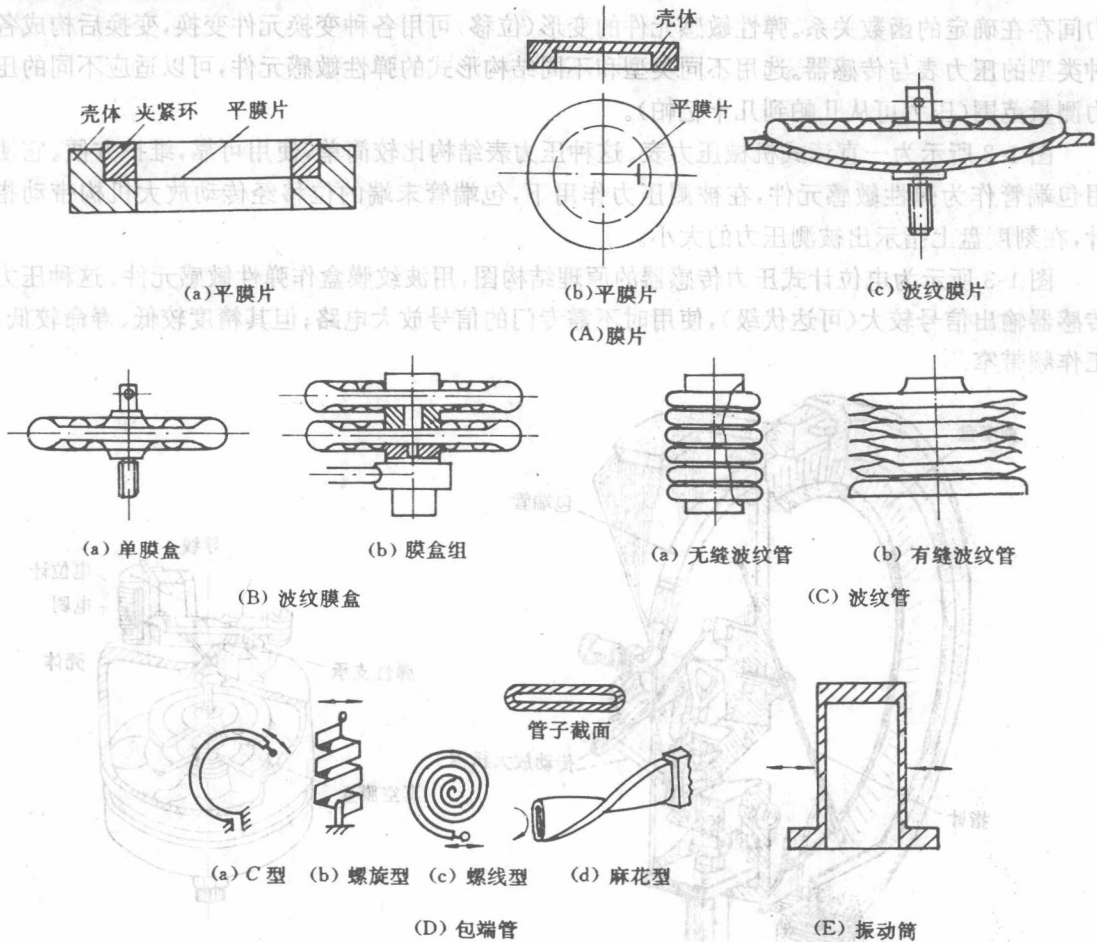


图 1-1 常用的压力弹性敏感元件

用来制作压力弹性敏感元件的材料应为强度高、弹性极限高；具有高的冲击韧性和疲劳极限；弹性模量的温度系数小而稳定、热膨胀系数小；热处理后应具有均匀稳定的组织、抗氧化、抗腐蚀、弹性迟滞小等特性。

常用的材料有金属材料和非金属材料两大类。

金属材料有铜基高弹性合金，如黄铜、磷青铜、钛青铜，这类材料耐高温、耐腐蚀性能差；铁基和镍基高弹性合金，这类材料弹性高、迟滞小、耐腐蚀，但弹性模量的温度系数大；恒弹合金，

如 3J57、3J53；铌基合金，如 Nb—Ti、Nb—Zr 合金，这类材料弹性极限高、迟滞小、无磁性并耐腐蚀。

非金属材料有石英、陶瓷、半导体硅。石英内耗小、迟滞小、线膨胀系数小、品质因素高，是一种理想的压力弹性元件材料；陶瓷在破碎前，应力应变特性为线性特性，适用于高温压力测量；半导体硅具有压阻效应，适合于微电子加工且迟滞小，但温度系数大。

### 1.1.3 利用弹性敏感元件压力位移特性的压力表与传感器

弹性敏感元件感受被测压力，在被测压力作用下它产生变形(位移)，其变形程度与被测压力间存在确定的函数关系。弹性敏感元件的变形(位移)可用各种变换元件变换，变换后构成各种类型的压力表与传感器。选用不同类型和不同结构形式的弹性敏感元件，可以适应不同的压力测量范围(压力可从几帕到几十亿帕)。

图 1-2 所示为一直读式机械压力表。这种压力表结构比较简单，使用可靠，维护方便。它使用包端管作为弹性敏感元件，在被测压力作用下，包端管末端的位移经传动放大机构带动指针，在刻度盘上指示出被测压力的大小。

图 1-3 所示为电位计式压力传感器的原理结构图，用波纹膜盒作弹性敏感元件。这种压力传感器输出信号较大(可达伏级)，使用时不需专门的信号放大电路；但其精度较低、寿命较低、工作频带窄。

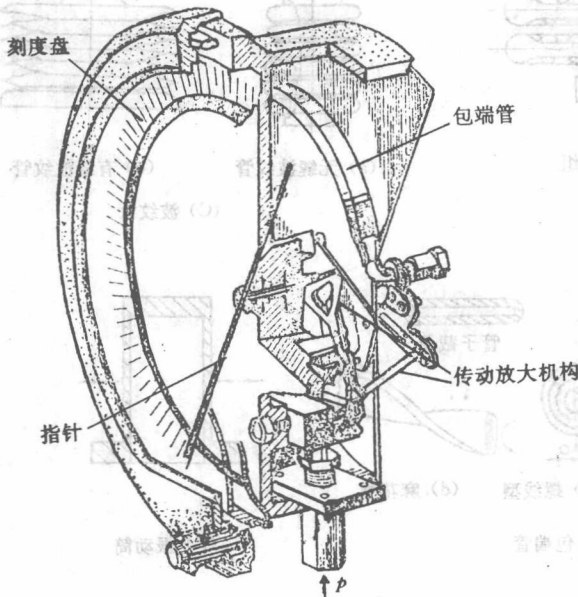


图 1-2 机械式压力表

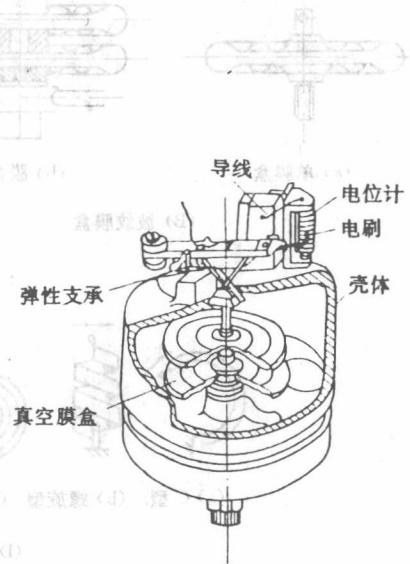


图 1-3 电位计式压力传感器

图 1-4 所示为测量差压的差动电感式压力传感器原理示意图。它用差动电感作位移变换元件，差动电感变换元件是由在结构上和电气参数完全对称的两部分所组成。平膜片感受差压，并作为差动电感变换元件的衔铁。当所测差压  $\Delta p$  为零时，两边电感的起始气隙长度相等，因而两个电感的磁阻相同，其阻抗相等。当差压  $\Delta p$  不为零时，两边电感的气隙长度不等，则两

个电感的磁阻不等,其阻抗不等。两个电感线圈与两个阻值相等的固定电阻接成电桥电路,在电桥的一个对角线接交流电源电压,当两个电感阻抗不等时,电桥则输出与被测差压大小相对应的电压。

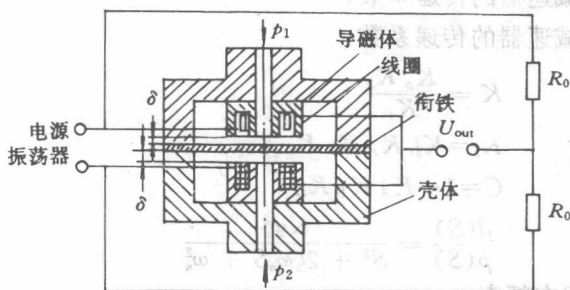


图 1-4 差动电感式差压传感器

如在所测差压范围内,电感的气隙变化量很小,则电桥输出电压值将与被测差压的大小成正比,而电压的相位代表差压的正负。由于这种差动电感式压力传感器采用差动接法,故具有灵敏度高、非线性误差小、电磁吸力小、零位输出以及温度误差小、外干扰影响小等优点;但需用交流激励,供电频率一般选 10kHz~20kHz,电桥输出电压需放大、相敏整流及滤波。

图 1-5 是电容式差压传感器的原理示意图。它采用差动电容变换元件。图中左右两端的隔离膜盒用以传递差压,隔离膜盒与弹性敏感元件(膜片)之间充有硅油。弹性敏感元件(膜片)也是差动电容变换元件的活动极板,而差动电容变换元件的固定极板是在玻璃基片上涂有金属的球面板。弹性敏感元件在差压作用下产生位移,使差动电容变换元件的电容发生变化,因此电容变化与差压成正比。球面板可以在差压过载时保护膜片。这种差压传感器由于膜片很薄,所以可测小差压(0Pa~1 470Pa)。它的输出电压也需放大、相敏整流和滤波。

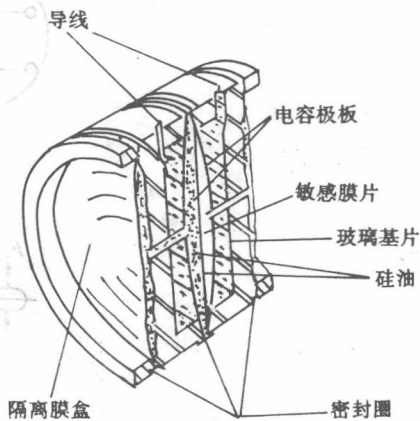


图 1-5 电容式差压传感器

上面这几种压力传感器都是开环式压力传感器。

图 1-6(a)是一个闭环式压力传感器——位置反馈式压力传感器。

它的结构方块图如图 1-6(b)所示。该压力传感器的传递函数为

$$\frac{\beta(S)}{p(S)} = \frac{K_p K_x K_D K_A K_T K_G K_F}{TS^2 + (1 + K_A K_T K_D)S + K_D K_A K_T K_G K_F} \quad (1-5)$$

式中  $K_p$ ——弹性敏感元件的传递系数;  
 $K_x$ ——传动放大机构的传递系数;  
 $K_D$ ——差动变压器的传递系数;  
 $K_A$ ——伺服放大器的放大系数;



$K_T$ ——伺服电机调节特性的斜率；  
 $T$ ——伺服电机的时间常数；  
 $K_a$ ——测速发电机的电压输出斜率；  
 $K_G$ ——第 I 级减速器的传递系数；  
 $K_F$ ——第 II 级减速器的传递系数。

令

$$K = \frac{K_p K_x}{K_F}$$

$$K_s = K_D K_A K_T K_G K_F$$

$$C = 1 + K_A K_T K_a$$

则

$$\frac{\beta(S)}{p(S)} = \frac{K \omega_n^2}{S^2 + 2\zeta \omega_n S + \omega_n^2} \quad (1-6)$$

式中  $\omega_n$ ——系统的固有频率；

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_D K_A K_T K_G K_F}{T}} \quad (1-7)$$

$\zeta$ ——系统的阻尼比；

$$\zeta = \frac{C}{2\sqrt{TK_s}} = \frac{1 + K_A K_T K_a}{2\sqrt{TK_D K_A K_T K_G K_F}} \quad (1-8)$$

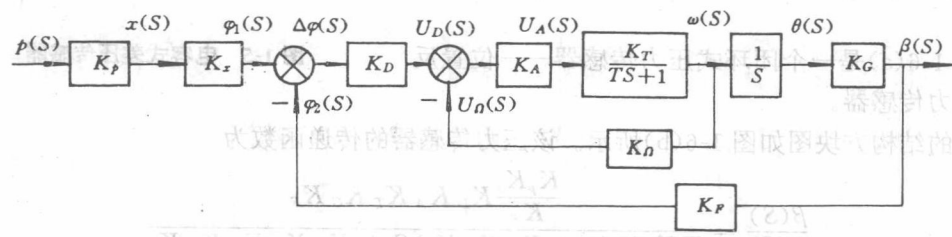
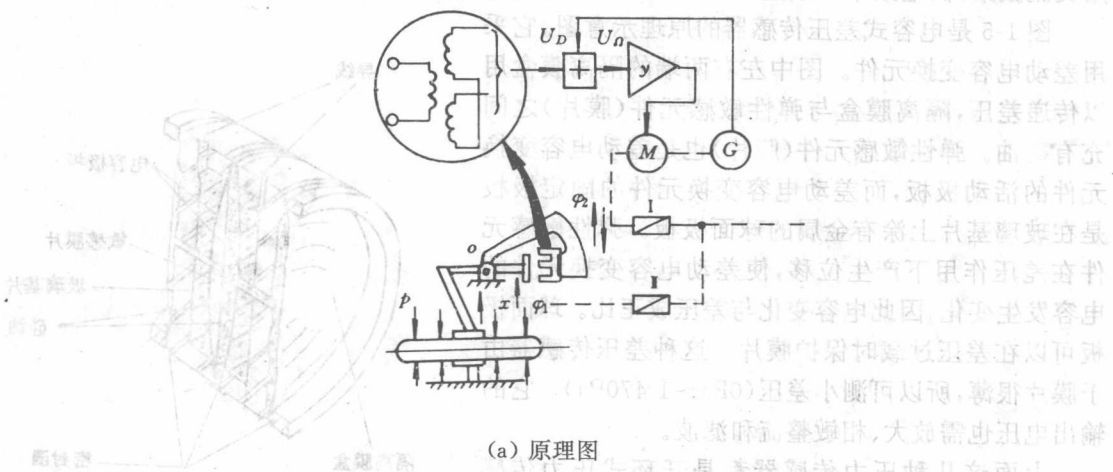


图 1-6 位置反馈式压力传感器