

丁伯瑜 主编

新型精密机械零件与部件

国防工业出版社

内 容 简 介

本书较详细和深入地阐述了几种新型精密机械零件与部件(包括由底较草,但近期解决了设计等关键问题)的基本原理、特点和设计计算,同时介绍了一些典型结构。本书介绍的主要零、部件具有一定程度的基本理论和实用意义。

全书共分十章:第一章 膜片与膜盒(焊接波纹管);第二章 柔性元件;第三章 特种弹簧;第四章 谐波齿轮传动;第五章 齿条传动;第六章 主链系统(链系);第七章 直线滚动轴承;第八章 行星带传动;第九章 几种联轴器 and 离合器;第十章 显示器与控制器。

本书可供从事精密机械和仪器仪表类专业的科学研究人员、工程技术人员、高等院校师生及其他有关人员参考。

新型精密机械零件与部件

丁伯瑜 主编

国防工业出版社出版、发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168 1/32 印张11¹/₂ 301千字

1990年8月第一版 1990年8月第一次印刷 印数:00,001—3,650册

ISBN 7-118-00514-2/TH·30 定价:8.20元

前 言

随着社会主义四个现代化建设事业的蓬勃发展, 社会生产和科学研究对新的科学技术的需求越来越迫切。新的科学技术和发明创造正逐步转化为生产力。我们在总结自己科学研究的基础上, 收集和整理了国内外近期发展的科技资料, 编写了本书, 供从事精密机械和仪器仪表类各专业的科学研究人员、工程技术人员、高等院校师生和其他有关人员参考。

全书较系统地阐述了十余种新型精密机械零件与部件(包括过去虽已出现, 但近期在技术上有新的发展或解决了一些关键问题的元器件)的工作原理、特点和设计计算; 对少数几种零、部件仅作简单介绍, 读者可根据所介绍的原理和结构, 利用过去所学知识进行设计计算。本书具有一定深度的基本理论, 有较好的实用价值。

书中所涉及的基础知识较多, 限于篇幅, 不可能从基础知识开始阐述, 读者可参阅有关著作。

本书由丁伯瑜主编。参加编写的有樊大钧(第一、二章); 何献忠(第三、十章); 丁伯瑜(第四、五、七、八章); 王仲彬(第六章); 蒋月娟(第九章)。樊大钧对本书部分章节进行了审阅。苑敏燕负责本书插图工作。

由于编写时间较紧, 调查研究不够全面深入, 加之编者业务水平有限, 书中不可避免地存在不少缺点和错误, 诚恳希望广大读者不吝赐教。

目 录

第一章 膜片与膜盒(焊接波纹管)	1
一、概述	1
二、膜片的特性	2
1. 无压力作用时力与挠度的特性	2
2. 无集中力作用时压力与位移特性	5
3. 无位移时压力与集中力的关系	6
4. 在某个量为常数时压力-力-位移的关系	7
三、膜片的分类和应用	7
1. 作用力变为位移 ($P-x$)	8
2. 压力变为位移 ($p-x$)	8
3. 位移变为压力 ($x-p$)	9
4. 压力变为集中力 ($p-P$)	9
5. 集中力变为压力 ($P-p$)	9
6. 一个位移变为另一个位移 (x_1-x_0)	10
四、膜片的设计	10
1. 材料的选择	11
2. 材料的厚度	11
3. 膜片的波纹形状和数目	11
4. 膜片的组合方法	12
5. 膜片特性的计算方法	13
五、焊接波纹管	26
第二章 柔性元件	33
一、概述	33
二、一端夹紧的薄片簧(细杆)	33
1. 片簧的弯曲	33
2. 自由端有垂直集中力的情况	35
3. 受垂直集中力的垂直片簧(细杆)	38

4. 垂直片簧与水平片簧的比较	45
5. 受集中力和力偶矩作用的水平片簧	47
6. 随悬臂片簧自由端变形而外力力臂不变的情况	49
7. 集中力倾斜的情况	51
8. 悬臂片簧受两个集中力作用	54
三、两端支承的薄片簧(细杆)	59
1. 随外力变化改变长度的片簧	59
2. 两支承固定的片簧(细杆)	65
3. 两端简支非对称加载情况	69
四、弧形片簧(细杆)	72
1. 基本方程	72
2. 圆弧细杆在自由端受垂直外力	73
3. 圆弧细杆在自由端受水平外力	77
4. 圆弧细杆在自由端受倾斜外力	81
第三章 特种弹簧	84
一、强压弹簧	84
1. 特点及用途	84
2. 强压效应	84
3. 计算根据	85
4. 计算方法及实例	87
5. 强压固合时间	90
二、圆锥材料弹簧	90
1. 特点及用途	90
2. 计算根据	91
3. 有关设计与制造的几点说明	97
三、弹性隔圈	97
1. 特性及用途	98
2. 计算根据	98
3. 实际对比	99
四、限定刚度的圆柱形螺旋弹簧	100
1. 特性及用途	100
2. 计算根据	101
3. 应用实例	104

4. 说明	105
五、扁平状拉(压)弹簧	105
1. 特性及用途	105
2. 计算根据	106
3. 计算实例	107
第四章 谐波齿轮传动	109
一、概述	109
1. 谐波齿轮传动的特点	109
2. 谐波齿轮传动的分类	111
二、谐波齿轮传动原理	112
1. 传动原理	112
2. 传动比计算	113
三、谐波齿轮传动啮合原理	116
1. 初始条件	116
2. 坐标系	118
3. 啮合间隙(侧隙)	120
4. 啮合原理	123
5. 采用渐开线齿廓的共轭弹性线	124
6. 直侧齿面(三角形)棱边啮合的共轭弹性线	129
7. 圆弧形齿廓啮合的共轭弹性线	135
8. 直侧齿面(三角形)轮齿的间隙方程	138
四、渐开线齿廓谐波传动的干涉与修正	143
1. 柔轮齿廓的偏转	143
2. 齿顶干涉检验	145
3. 渐开线齿轮的修正	147
4. 空荷时齿侧间隙方程	152
5. 负荷对侧隙的影响	156
五、最佳啮合参数的确定	157
1. 啮合区的确定	158
2. 空荷时最佳啮合参数的确定	159
3. 考虑刀具参数的最佳啮合参数的确定	161
六、主要几何参数和结构参数	164
1. 典型波发生器形状	164

2. 柔轮的结构形状和主要几何参数	168
3. 柔性轴承	173
4. 抗弯环	174
七、谐波齿轮传动的设计	175
1. 传动比的确定	175
2. 传动类型的选择	175
3. 啮合参数的确定	175
4. 谐波齿轮传动误差的估算	175
5. 材料	177
6. 传动效率计算	177
7. 工艺和技术要求	181
八、端面谐波齿轮传动	182
1. 端面谐波齿轮传动特点	182
2. 结构参数的设计计算	182
3. 强度条件	185
九、谐波螺旋传动	186
第五章 活齿波动传动	188
一、概述	188
二、活齿波动传动的传动原理	190
三、活齿波动传动的齿廓	191
1. 固齿轮的齿廓为圆形针齿	192
2. 活齿为标准钢球或短圆柱滚子	206
四、活齿波动传动的设计	210
1. 偏心系数 C_1 的选择	211
2. 激波器滚道深度 h_1	211
3. 活齿系数 C_2	211
4. 活齿波动传动的设计过程	213
5. 典型结构	216
第六章 主轴系统(轴系)	218
一、主轴系统设计的基本要求	218
1. 较高的主轴回转精度	218
2. 较大的主轴系统刚性	221

3. 主轴系统的振动和发热量要求	224
4. 主轴和轴套的磨损要小	226
5. 主轴系统结构设计要合理	226
二、滚动摩擦轴系	226
1. 单列滚珠轴承的轴系	227
2. 密集滚珠轴承的轴系	230
三、滑动摩擦轴系	240
1. 普通滑动轴承的轴系	241
2. 液体润滑动压轴承轴系	243
3. 气体润滑动压轴承轴系	281
4. 气体压膜轴承	298
5. 电磁轴承轴系	300
第七章 直线滚动轴承	311
一、直线滚动轴承的特点	311
二、工作原理与结构	311
三、直线运动球轴承的几何计算	314
1. 钢球直径 d_0 的确定	314
2. 计算轴承外圈尺寸	314
3. 保持架的设计	316
4. 挡盖的设计	321
四、直线运动球轴承的额定寿命	323
1. 直线运动球轴承的主要破坏形式	323
2. 直线运动球轴承的寿命计算式	323
五、直线运动滚子轴承	325
第八章 行星带传动	326
一、行星带传动的原理和特点	326
二、行星带传动的传动关系	327
三、传动带	331
四、行星带传动的承载能力	331
1. 传动带的受力分析	331
2. 滚轮上的正压力	334
3. 刚轮上的受力分析	334

4. 功率计算	335
第九章 几种联轴器和离合器	338
一、新型弹性联轴器	338
二、弹性齿轮联轴器	339
三、利用凸轮限速的离合器	340
四、凸轮、杠杆式离合器	341
五、电磁离合器	342
第十章 显示器与控制器	344
一、精密机械设计中的新设想	344
二、人信息处理系统	344
三、显示器	349
1. 分类	349
2. 有关视觉显示器设计、选用和配置的几个技术关键	349
3. 常用显示器	351
四、控制器	355
参考文献	358

第一章 膜片与膜盒(焊接波纹管)

一、概述

以金属或非金属制成的圆形薄片叫做膜片。它是一种可以在大致垂直于它的挠性面方向移动的压力敏感元件，它可以将两种压力不等的液体分开，作隔离用。

膜片的挠性面可以是平的或是波纹的，二个膜片沿外周边固定或焊接而成的，叫做膜盒。两个以上的膜盒叠合在一起工作的叫做膜盒组(膜盒串)，其目的是增加轴向位移。

膜片最普通的用途，是将两种流体压力差变成挠度或力，或挠度和力的组合；也可以作液体体积温度补偿、密封装置和隔离装置。

膜盒或膜片的中心往往焊有一个刚性中心(硬芯)，它把膜片或膜盒与传动放大机构或仪表的其它部分连接起来，以便传递位移或力。如果限制了硬芯的位移，膜片将产生一个集中力向外传送。

膜片和膜盒在自动化仪表和航空仪表中，用以测量低压和中压。

膜片或膜盒有足够高的灵敏度，体积小，重量轻，有较高的固有频率，有线性或非线性特性可在很大范围内变化以适应不同要求以及有较明显的转换能力等优点。

膜片或膜盒也有弹性温度误差，弹性迟滞误差，对制造工艺要求很严格，难以按照给定的特性来进行初步设计等缺点和尚待解决的问题。

一般说，膜片应具有下述性能：一定的机械强度；对温度的影响不敏感；弹性迟滞量小；表面光洁；无微孔；无裂痕；厚度

均匀；特性稳定；有一定的耐油、耐酸、耐碱等性能。

制造金属膜片常用的材料有两类。第一类材料的弹性是在机械加工后得到的，如磷青铜、锡锌青铜、黄铜等。这类材料在碾压和成型起皱过程中会产生强的冷作硬化，它适合于作较平滑的波纹膜片。第二类材料的弹性是在热处理后得到的，属于这类材料的有铍青铜、不锈钢(某些牌号)。这类材料的机械性质高于第一类材料，而且在成型时是软状态，可以做成各种尺寸和复杂波形的膜片，弹性回弹量极小，制造好的膜片的特性也比较稳定。因此，多用这类材料制造膜片。上述这两类材料都有弹性温度误差。为了减少弹性温度误差，可用恒弹合金。

二、膜片的特性

1. 无压力作用时力与挠度的特性

如果在膜片的硬芯上只有集中力作用，在膜片的两侧无均布压力作用，这样得到的膜片的力与挠度的关系曲线叫做膜片的力与挠度（位移）特性（或称膜片特性曲线）。这样的曲线的大体形状为S形（见图1-1）。曲线的拐点不一定落在力与挠度的零点上。这样的曲线与直线有偏差，也就是说曲线是非线性的，可用非线性度（非线性）表示膜片特性曲线与直线的偏差程度。直线可以由坐标原点绘出很多条，所以膜片特性曲线的非线性是针对某条直线而言的。膜片特性曲线的坐标轴是表示力与挠度（位移）的，那就自然可知有横坐标的非线性度与纵坐标的非线性度两个非线性度。在指定的坐标区间内，曲线与该区间内唯一直线的最大线性偏差和坐标区间的百分比是这个区间的最大非线性度，如图1-2所示。若用 NL 表示非线性度，则图中所示曲线的横坐标（挠度）的非线性度 NL_x 为

$$NL_x = 100(x_2 - x_3)/(x_4 - x_1)$$

曲线的纵坐标（力）的非线性度 NL_p 为

$$NL_p = 100(P_3 - P_2)/(P_4 - P_1)$$

这里以百分数表示非线性度。 P_4 、 P_1 和 x_4 、 x_1 表示力和挠度区

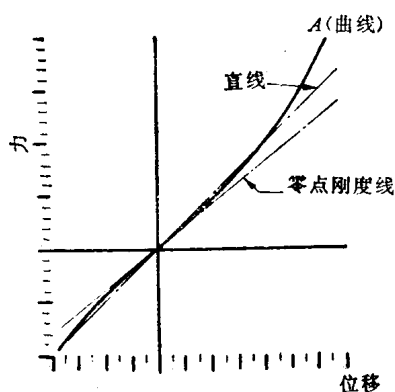


图1-1 力与挠度曲线

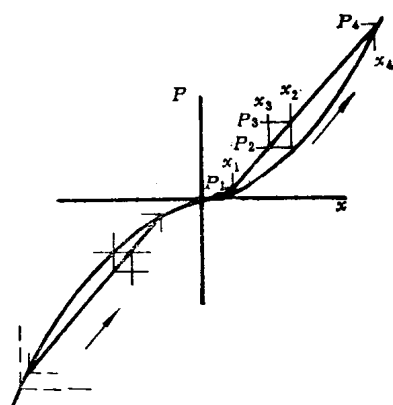


图1-2 非线性示意图

间； P_3 、 P_2 和 x_3 、 x_2 表示力和挠度与直线的线性偏差值。由于 P_3 、 P_2 和 x_3 、 x_2 不一定是指定区间内的最大偏差，所以上述表达式，也不一定指定为最大非线性度。

在进行测定力与挠度的特性时，用力的增量 ΔP 与挠度（位移）的增量 Δx 的比值（曲线上切线的斜率）代表膜片的刚度。刚度的倒数代表膜片的灵敏度。在膜片自由位置测得的刚度叫做原始刚度，但它不一定是膜片在不同变形时的刚度的最小值。如果膜片的特性是线性的，则膜片的刚度是不变的某值，当然它的灵敏度也是不变的。

一个理想的弹性膜片，当它受到某个力作用时，无论作用力是增加或减少，无论作用力的作用时间长短，或作了几次或很多次，它每次总是精确地产生相同的位移量，这样的位移称为“弹性位移”。但是要达到这样的理想性能，只有很好的选择膜片变形量、制造材料、良好的制造工艺和热处理才能达到。

在时间和负荷变化下，膜片对于某一特定负荷的位移，因不能重复而引起的误差，就是所谓的“弹性误差”。弹性误差包括漂移、弹性后效、迟滞和原始变形等。这些误差用图 1-3 表示。

无弹性误差的负荷变化特性用图 1-3 中的虚线表示。取时间

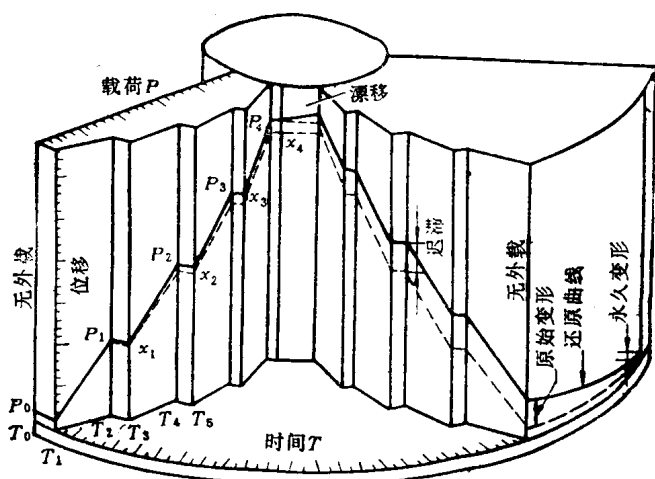


图1-3 弹性误差图

坐标为 $T_0, T_1, \dots$, 从 T_0 开始, 在 T_0 处负荷和位移均为零。在获得一个原始位移读数所需的时间, 用 T_0 到 T_1 表示。从 T_2 到 T_3 的短时间内, 要求第一个负荷 P_1 保持不变, 测出膜片挠度(以下称位移)。假设膜片无弹性误差, 其位移保持不变。如此继续 P_2 、 P_3 和 P_4 等负荷, 相应测得位移为 x_2 、 x_3 和 x_4 等等。若负荷 P_4 保持时间长, 因假定膜片无弹性误差, 故膜片为静止状态。当膜片所受负荷减小到 P_3 时, 膜片位移就回到 x_3 并仍为静止状态。如此回到初始零位。但在实际上, 膜片是有弹性误差的。除负荷很小时外, 弹性位移实际上是测不准确的, 是个未知量。在图 1-3 上的实线表示实际测得的膜片特性曲线。当负荷 P_4 保持不变时, 膜片继续按照某一速率位移(连续变形), 此速率依据许多因素, 主要是应力的大小和材料的弹性性能而定。这种位移的变化叫做漂移。

外加负荷在渐增和渐减之间的位移差就是该负荷对位移范围内的迟滞。增加负荷时的位移总是小于减少负荷时的位移, 这表示在加荷与卸荷过程中有能量损耗, 此迟滞为正。

和非线性度类似，在负荷与位移的膜片特性曲线中，有以位移表示的迟滞百分比，也有以负荷表示的迟滞百分比(见图1-4)。若迟滞以 H 表示，则以位移表示的迟滞百分比 H_x 为

$$H_x = 100(x_2 - x_1)/x_3$$

以负荷表示的迟滞百分比 H_p 为

$$H_p = 100(P_1 - P_2)/P_3$$

多用以位移表示的迟滞百分比，这个百分比在膜片中有具体要求。一般在膜片行程的中间或略趋向终点处，迟滞为最大。

2. 无集中力作用时压力与位移特性

压力与位移的特性曲线如力与位移曲线一样，一般不为直线而略成S形。压力与位移的曲线形状对设计膜片很重要。在某些情况中，此种曲线要求尽可能为直线形，而在其它情况中，又要它为曲线形。

压力与位移关系的非线性是以对某压力的位移，或某位移的压力而测定的。

如图1-5所示，计算非线性度。

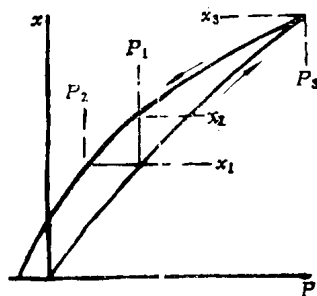


图1-4 迟滞曲线

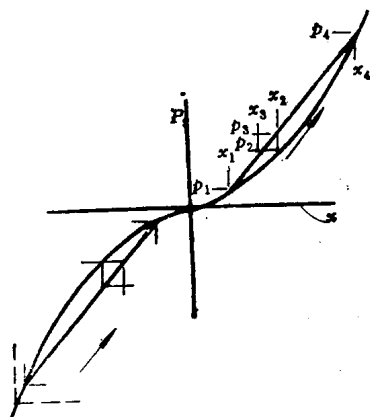


图1-5 计算非线性图

$$NL_x = 100(x_2 - x_3)/(x_4 - x_1)$$

$$NL_p = 100(p_3 - p_2)/(p_4 - p_1)$$

自然也可以画出压力与位移偏差曲线图如图1-6。针对不同直

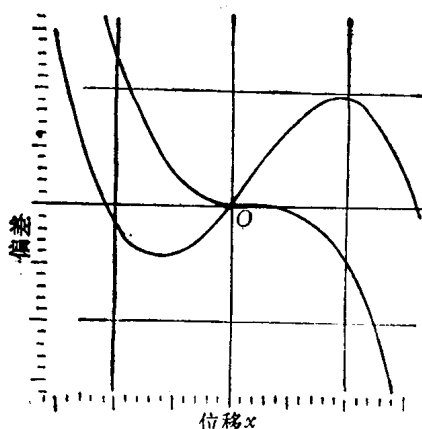


图1-6 压力与位移偏差曲线

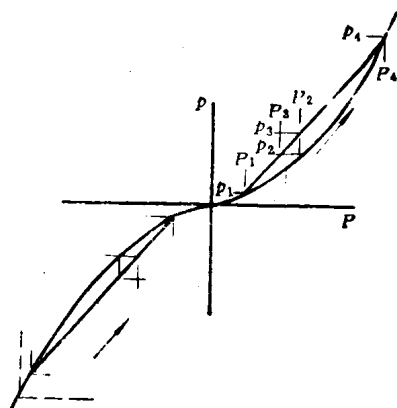


图1-7 非线性

线有不同位移偏差曲线。针对不同位移，有不同的非线性。

压力变化与位移变化之比叫做压力常数(刚度)。

膜片在压力与位移特性关系上的特点是：在最大压力点上的漂移；在零压力点上的迟滞和还原；在几个点上测得的迟滞等。这些特点和膜片在力与位移特性关系上的特点相似。

在大多数的情况下，弹性迟滞作为一种性能规范。常以位移迟滞值为0.3%的压力作为膜片的最大安全压力(极限压力)。可以把最大安全压力看作是不损坏膜片的一种平均性能。也有的以膜片受脉冲载荷破损的次数作为一种性能规范。迟滞算法同图1-4所示以 p 代 P 。

3. 无位移时压力与集中力的关系

膜片在位移很小或无位移时，把所受均布压力变为输出的集中力。但出现的压力与集中力的关系不是直线关系(如图1-7)。

非线性度可表为：

$$NL_p = 100(P_2 - P_3)/(P_4 - P_1)$$

$$NL_p = 100(p_3 - p_2)/(p_4 - p_1)$$

由均布压力使膜片产生的(输出的)集中力等于均布压力乘膜片的作用面积。当膜片的中心不能移动时，平衡某均布压力所需的集中力等于均布压力乘膜片的有效面积，此面积比总承受压

力的面积小。可以说压力与集中力关系曲线的斜率，或是力刚度与压力刚度之比是膜片的有效面积。当对膜片加压时，即使不让膜片中心移动，有效面积并不保持恒量。在某些情况下，要求膜片的有效面积不变或变化很小。

当膜片的中心被某集中力 P_1 保持在某一位置上，以均布压力差测得的迟滞 H_p 为

$$H_p = 100(p_1 - p_2)/p_3$$

在某压力 p_1 上，以集中力差测得的迟滞为 H_p

$$H_p = 100(P_2 - P_1)/P_2$$

迟滞的图形如图 1-8 所示。

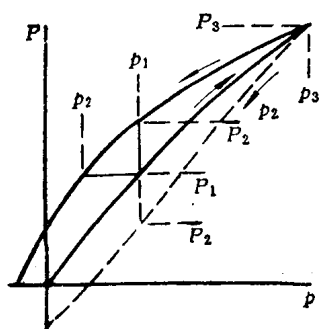


图1-8 迟滞曲线

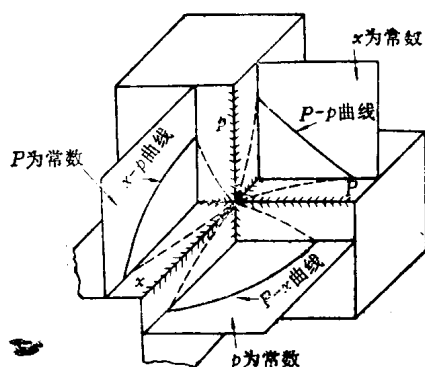


图1-9 压力-力-位移曲线

4. 在某个量为常数时压力-力-位移的关系

压力为零时，力与位移的关系；力为零时，压力与位移的关系；位移为零时，压力与力的关系都已阐述过。有这样的情况：即将某个量保持在不为零的某值上不变，而其它两个量为变量，其曲线关系如图 1-9 所示。

三、膜片的分类和应用

膜片应用在各方面，把 P 、 p 、 x (位移) 等的一个量转换到其余的一个量或几个量。其中的一个量 (输出) 以第二个量输入

的近似线性函数而变化。在许多应用方面直接把一个量转换成另一个量。

1. 作用力变为位移($P-x$)

当膜片两面的压力相等时, 压力差为零, 膜片中心位移 $x_0 = P_1/C_p$ 。 C_p 代表力刚度。如图1-10所示。

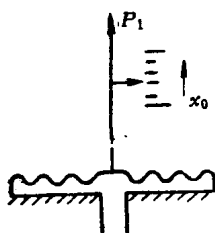


图1-10 力-位移

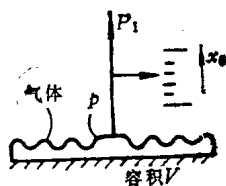


图1-11 压力-力-位移

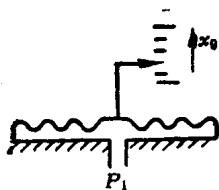


图1-12 压力变位移

当膜片一面的封闭容积少, 而 $\Delta V/V$ 大时, 膜片的位移对压力产生明显变化。此时, 一部分作用力用于使气体膨胀, 其余的使膜片产生位移。所以, p 随 P 增加而减少。则作用力平衡方程为

$$P_1 = pA_e + C_p x_0$$

A_e 是代表有效面积。如图1-11所示。

2. 压力变为位移($p-x$)

作用力为零, 应用于许多种仪器, 如压力计等(见图1-12)。

作用力为恒量 $\bar{P}$ 时的应用(见图1-13)。

膜片位移 x_0 为

$$x_0 = \bar{P}/C_p A_e + p_1/C_p$$

C_p 是膜片压力刚度。

作用力是位移或压力的函数。膜片常与弹簧联合使用, 以改变膜片的零点位置, 获得所希望的线性, 增加压力行程。如图1-14所示。