

仪 器 零 件

樊 大 鈞 編

北 京 工 业 学 院

1965.7

前 言

这本讲义是按照 63 年冬教材会议上统一大纲在教研室同志们的协助下编写成的。到现在这段时间内，各校贯彻教改精神在教学上有很大的变化，也有不少好的经验。还未能及时反映到讲义中来。我们非常需要和欢迎读者对各方面的问题和错误提出批评和指正。

我们希望经过几次修改（也可能是根本的大修改）使此本讲义日臻完善，对教学有所帮助。

编 者

1965 年 7 月

目 錄

第一章 弹性元件

一、弹性元件在仪器中的应用和分类	1
二、弹性元件的基本特性及其影响因素	2
三、弹性元件的材料及许用应力	4
四、圆柱螺旋弹簧的形状分类及应用选择	6
五、圆柱螺旋弹簧尺寸计算	11
六、片簧	21
七、蜗线弹簧	27
八、温度双金属弹簧	29
九、波纹管	33
十、膜片膜盒	36

第二章 支 承

一、支承的种类,作用和仪器对支承的基本要求	41
二、轴的几种结构	42
三、圆柱形滑动支承	46
四、圆锥形支承	51
五、球形支承	53
六、仪器中常用的滚珠轴承	56
七、滚珠轴承中的载荷分布及对受静载荷的轴承强度计算	58
八、滚珠轴承的选择	59
九、滚珠轴承组合设计	62
十、滚珠轴承中的摩擦力矩	67
十一、非标准滚珠轴承	70
十二、滑动摩擦导轨	75
十三、滚动摩擦导轨	78

第三章 传动机构

一、仪器制造中传动机构的类型和对传动的基本要求	81
二、杠杆传动机构	81
三、杠杆机构的工艺误差及其计算	87
四、齿轮传动	89

五、螺旋传动	121
六、联轴器	126

第四章 限动器

一、限动器的作用、种类和设计要求	131
二、螺旋限动器	132
三、垫圈限动器	132
四、齿轮凸块限动器	134

第五章 示数装置

一、概述	142
二、标尺和标线	142
三、指针（指标）	147
四、示数装置的误差和消除的方法	150

第六章 阻尼器减震器

一、仪器在无阻尼及有阻尼时的工作状态	152
二、设计计算	155
三、仪器中常用的阻尼器	156
四、减震器结构	159
五、减震器的工作原理及设计计算	160

第七章 联 接

一、联接的种类、特点和重要作用	166
二、销钉联接	167
三、螺钉和螺纹联接	168
四、压合联接	175
五、铆接联接	176

第一章 弹性元件

一、弹性元件在仪器中的应用和分类

利用受力或力矩后产生的变形而起作用的元件,叫作弹性元件。如车辆中的弹簧,利用它的变形吸收冲击能量,起缓冲作用。钟表中的发条,受力矩后产生变形,储存能量作原动机用。力或力矩与其变形的关系,是弹性元件的弹性特性。

弹性元件的种类很多,按用途可分以下三大类:

1) 量测弹性元件:利用变形和载荷(力或力矩)的准确关系,作量测用。如弹簧秤中的弹簧,用以量测出物重;电工测量仪表中,用以产生反作用力矩的游丝等。见图1-1。

对于这种元件,要求弹性特性稳定而准确。否则,将直接影响仪器的精度。

2) 力弹性元件:利用它变形后所产生的反作用力或力矩,保持诸零件的紧密接触或者作原动机用。如摩擦器中的拉弹簧,由它变形而产生的拉力,使摩擦盘与滚子紧密接触,以便传动力矩。见图1-2。

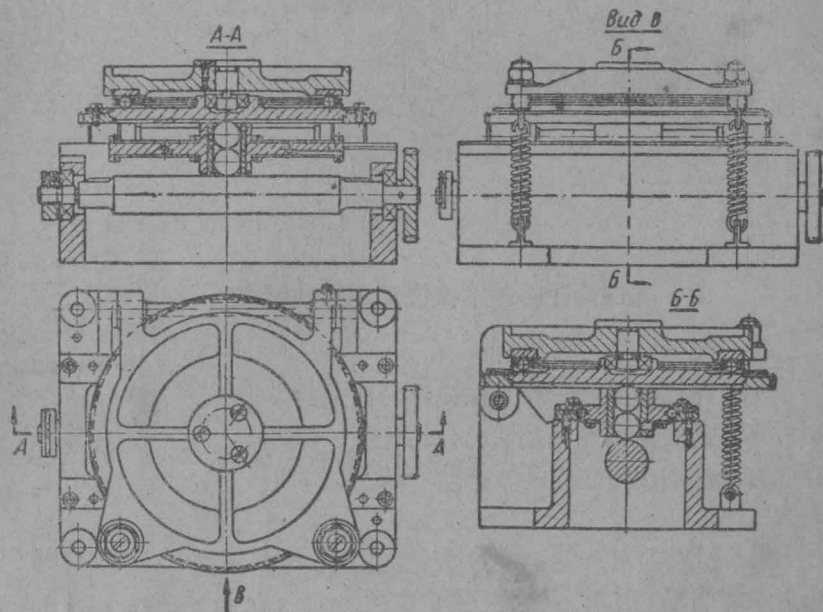


图 1-1 量测弹性元件实例图

图 1-2 力弹性元件实例图

对于这种弹性元件，其弹性特性的稳定程度和准确程度，一般说要求较低。保持零件接触的力弹性元件，变形一定，力的大小要规定一定的误差。

3) 弹性连系用弹性元件：用它把诸零件联起来。例如，作弹性支承；轴的挠性联接等见图1-3。其弹性特性随功用不同，要求也不同。有些的要求是较低的。

常见的弹性元件有：圆柱螺旋拉、压、扭弹簧；片弹簧；游丝；波纹管 and 膜片膜盒。见图1-4。

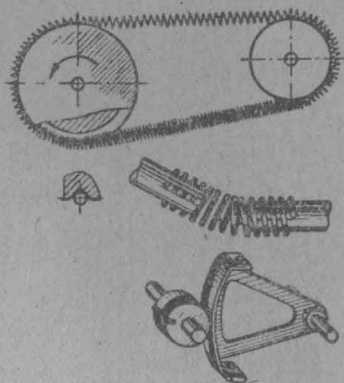


圖 1-3 彈性連系用彈性元件實例圖

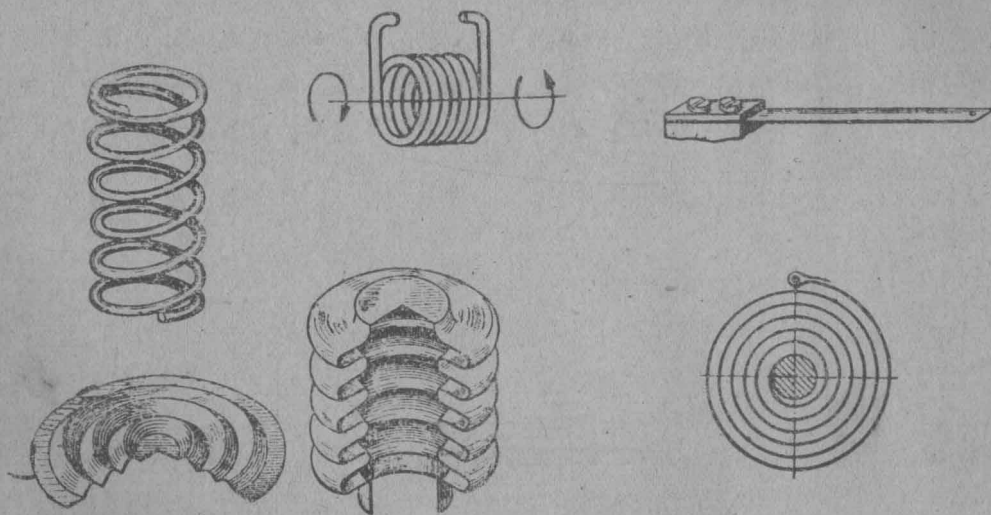


圖 1-4 常見的彈性元件形狀圖

二、弹性元件的基本特性及其影响因素

弹性元件的基本特性有：

A. 弹性特性——作用在弹性元件上的力和力矩与其变形的关系是它的弹性特性。弹性特性有线性的和非线性的。影响它的有以下几个因素：

1. 几何尺寸大小——以片簧为例，见图1-5。它的微小变形 f 与外力 P 的关系（弹性特性）和它的尺寸关系如下：

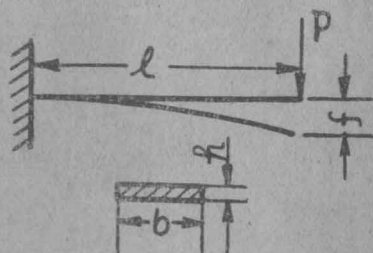


圖 1-5 片簧

$$\frac{f}{P} = \frac{4l^3}{Ebh^3} \quad (1-1)$$

由式(1-1)，看出，长 l ，宽 b 和厚 h 对弹性特性的影响。

2. 变形大小——当变形很大时，弹性特性有变化。如图1-5所示片簧，变形很大时，弹性特性，不再保持式(1-1)所示关系。弹性元件小变形和大变形时的弹性特性是不同的。

3. 材料的性质

a. 弹性系数(E 或 G)——由式(1-1)，可以看出，由于 E 的变化(如由温度变化而引起的)，会引起弹性特性的变化。

b. 弹性滞后——弹性元件在弹性变形范围内，加载与去载的弹性特性不重合的现象，是弹性滞后现象。如图1-6所示。加载到 P ，其弹性特性如I所示，与去载到零的弹性特性II不重合。加载荷与去载荷至同一载荷 P_1 时，其弹性变形之差 Γ 叫弹性元件的弹性滞后误差。通常以工作变形范围内的最大滞后误差与总变形之百分比表示。这种现象影响弹性特性

使正(加载)反(去载)行程不同。对于测量弹性元件会带来工作过程中的测量误差。因此对它要有一定限制。

c. 弹性后效——当温度和载荷不变，变形随时间而变化的现象，叫弹性后效现象。也就是说，温度不变，载荷变化后，变形不是立刻变化完，而是要经过一段时间逐渐变化完成。见图1-7所示。作用在弹性元件上的外力，增加到 P_0 时，变形先到 λ_1 ，若外力 P_0 不变，经过一段时间继续变形增大到 λ_2 为止。相反，载荷 P_0 减到零，变形也是先由 λ_2 迅速减至 λ_0 ，再继续减小变形到零为止。

以上两种现象，在实际过程中是一起出现的。而且须经精密测量才会发现。

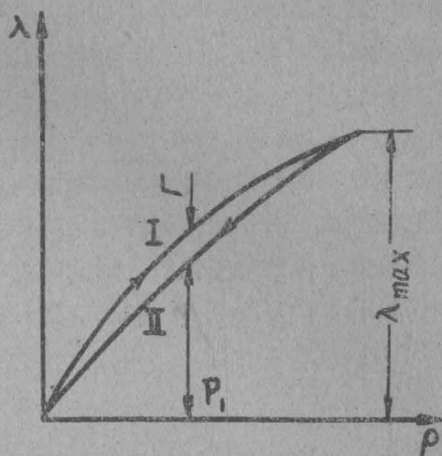


图 1-6 弹性滞后现象

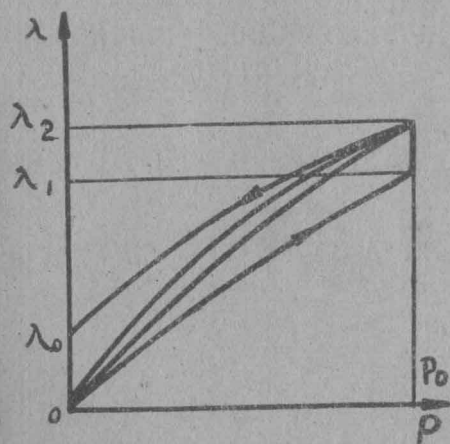


图 1-7 弹性后效现象

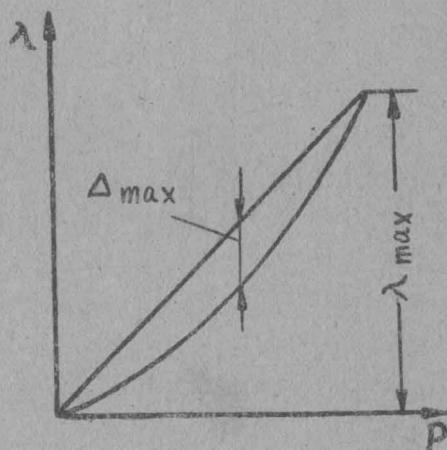


图 1-8 非线性度

产生这些现象的原因，与材料的内部结构，受载荷后，晶粒的变形等因素有关。

弹性滞后和后效的大小；与材料的性质，处理的方法，所生应力的大小及分布情况等因素有关。通常用实验方法确定。

B. 非线性度——实际弹性特性与线性弹性特性相差最大值 $\Delta_{\max}$ 与总变形的百分比值，叫非线性度。对于要求弹性特性是线性的弹性元件，它是一个基本特性，对它的数值有限制。见图 1-8 所示。

C. 刚度——弹性元件每单位变形所需的外力是它的刚度。对于线性弹性特性的弹性元件，它是常数。否则是变化的。刚度的倒数是灵敏度，也就是，每单位力所引起的变形。见图 1-9 所示。

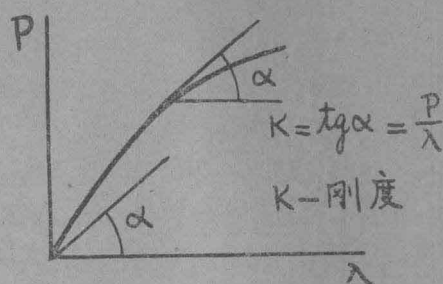


圖 1-9 刚度

三、弹性元件的材料及许用应力

弹性元件的变形较大，它的断面尺小，外形尺寸也不能很大；因而产生的应力较高。因此，需要材料的弹性极限和强度极限高。若弹性元件反复受载，还须疲劳极限高。制造成型，须有较大的塑性。

为了其它原因，有些材料还须磁性很小，耐腐蚀，耐高低温等特性。

仪器中弹性元件的常用材料有以下几种：

A. 炭钢——常温下，无严重的冲击作用一般尺寸不大的圆柱螺旋弹簧，片簧等全可以用炭钢钢丝和钢片制造。

B. 不锈钢——高强度，耐腐蚀的弹簧或膜片或波纹管可用它制造。镍基不锈钢的磁性小且低温机械性能好。

C. 3-1 硅锰青铜——适用于常温下无严重冲击作用，耐腐蚀和在磁场中工作的弹簧。

D. 4-3 锡锌青铜，6.5-0.15 锡磷青铜和 4-0.25 锡磷青铜——很高的耐腐蚀，导电和防磁性能。常制造弹簧游丝，膜片等。

E. 铍青铜——弹性稳定，机械性能高，耐腐蚀，防磁。常造作重要的片弹簧，游丝和膜片等。但价格较高。

F. 黄铜——它的机械性能较低，只能作不重要的小片弹簧等。含铜 80% 的塑性很好，可作波纹管。

目前，一般只供应一定尺寸规格的炭钢钢丝。若用其它材料需定货，特殊供应。片簧，膜片等薄片材料，可专门辗压到所需厚度尺寸。

制造小型圆柱螺旋弹簧多用冷卷方法。为消除加工过程中所生内应力，可低温回火处理。

炭钢钢丝，钢片弹簧，退火温度 $240 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

3-1 硅锰青铜等，退火温度 $300^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

为了防腐蚀，防锈等可作表面氧化，镀层等处理。

以上的处理，不应改变其弹性特性和机械性能。

一些材料的强度极限见表 1-1。

设计时，许用应力值见表 1-2。

材料的机械性能

表 1-1

炭 钢 钢 丝

材料牌号	金属丝直径(毫米)	0.3 0.5 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 2.5
中	抗拉极限强度	220 220 200 195 190 190 185 180 175 165
高	(σ_B 公斤/毫米 ²)	265 265 260 250 240 230 220 210 200 180

3-1 硅 锰 青 铜 丝

金属丝直径(毫米)	0.1—2.6	2.6—4.2
抗拉极限强度 (σ_B 公斤/毫米 ²)	90	85

锡 磷 和 锡 锌 青 铜

铜		丝
金属丝直径(毫米)	0.1—2.5	2.8—4.0
(σ_B 公斤/毫米 ²)	90	85
铜		片
硬铜片(σ_B 公斤/毫米 ²)	55	

许用应力表(静或变化缓慢的应力)

表 1-2

材 料	许用扭转应力 R_s		许用弯曲应力 R_B
弹 簧 种 类	拉 簧	压 簧	扭簧; 片簧。
炭 钢 钢 丝	$0.25 \sigma_B$	$0.35 \sigma_B$	$0.43 \sigma_B$
3-1 硅 锰 青 铜	$0.23 \sigma_B$	$0.3 \sigma_B$	$0.38 \sigma_B$
锡 锌 青 铜 锡 磷	$0.23 \sigma_B$	$0.3 \sigma_B$	$0.38 \sigma_B$

註：此表供参考使用，对于重要的弹簧，许用应力可适当减少。反之，可适当提高。

拉弹簧因有钩环，而钩环弯曲处应力高于其它地方，则许用应力减少了约 25%。

若载荷为脉动的，其许用应力约为上述诸应力的 $\frac{5}{8}$ 。

表中 σ_B 为钢丝，铜片的极限强度。

其它材料的强度须作成丝状，或片状，精细实验后，才能得到 σ_B 。不能以棒状材料强度代替。其安全因数与上述者相近。

圆柱螺旋弹簧(拉、压、扭簧)

四、圆柱螺旋弹簧的形状分类及应用选择

A、按负荷性质分下列三种型式：

Y 型——压缩弹簧； L 型——拉伸弹簧； N 型——扭转弹簧。

拉、压簧的典型端部结构型式如图 1-10 所示：

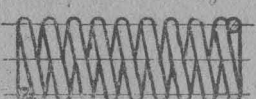
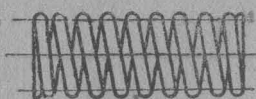
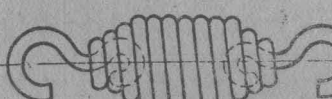
型 式	简 图	端 部 结 构	代 号
压 簧 (Y)		两端拼紧不磨平	Y I
		两端拼紧並磨平	Y II
拉 簧 (L)		两端有半环形钩环	L I
		两端有整环形钩环	L II
		两端有可转钩环	L III
		两端有螺旋块的钩环	L IV

圖 1-10

拉压扭簧端部结构型式因具体连接情况不同，还有有以下几种见图 1-11，1-12。应按具体连接情况选用或自行设计形状。

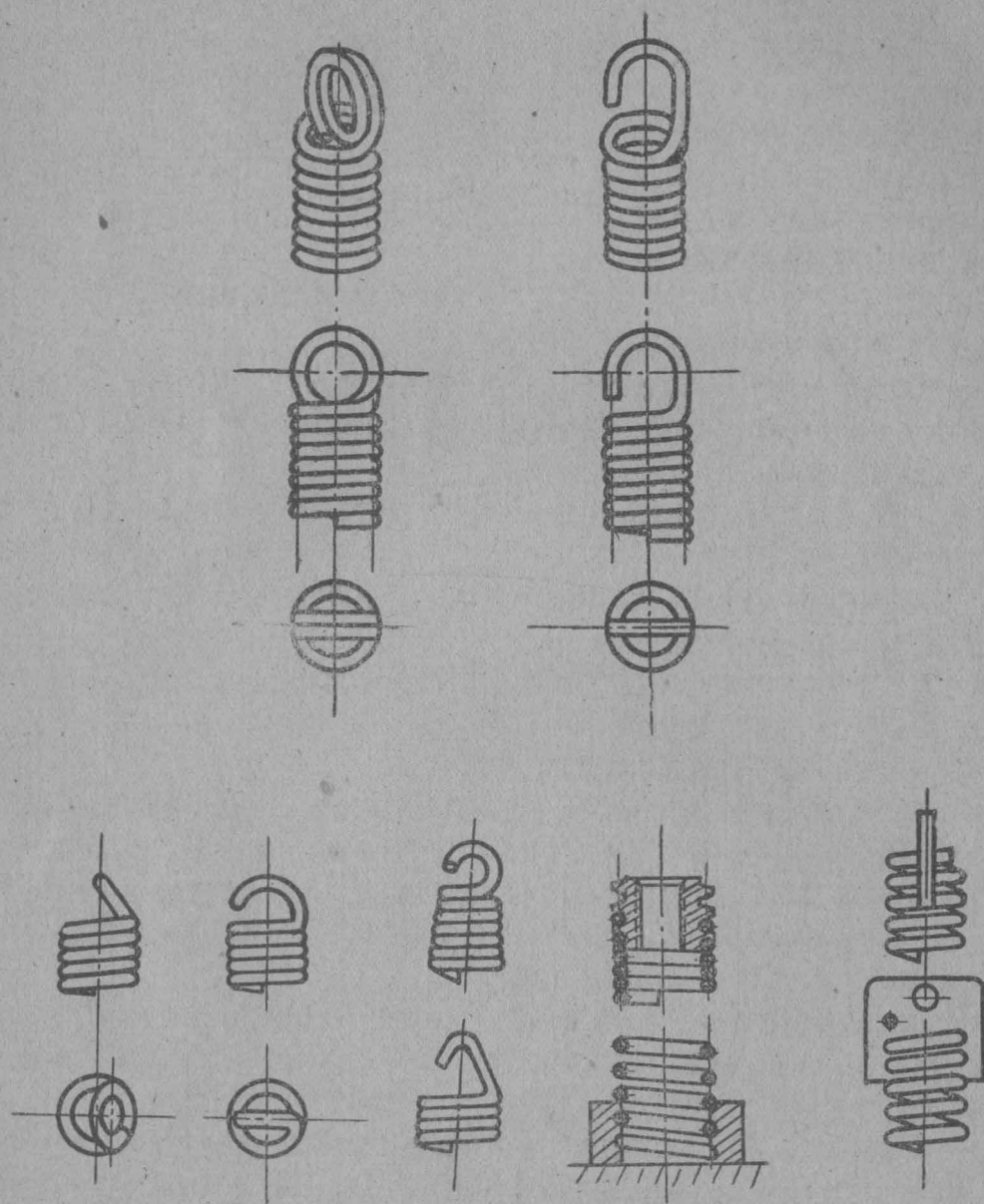


圖 1-11 常見拉壓彈簧端部構造

此外,还有按工作特点,制造精度分类的。一般的弹簧,受力或力矩后,变形量偏差为 $\pm 10\%$ 的和 $\pm 15\%$ 的两种。

B. 应用选择——圆柱螺旋弹簧受力后,沿着力的方向弹簧总长伸长的叫拉伸弹簧。反之叫压缩弹簧,为了能压缩,各圈间须有间隙。如果沿轴线加力矩,扭转一个角度,就叫扭转弹簧。它们的外形基本一样,而端部有区别,受力及变形方式不同,所以名称也不同。

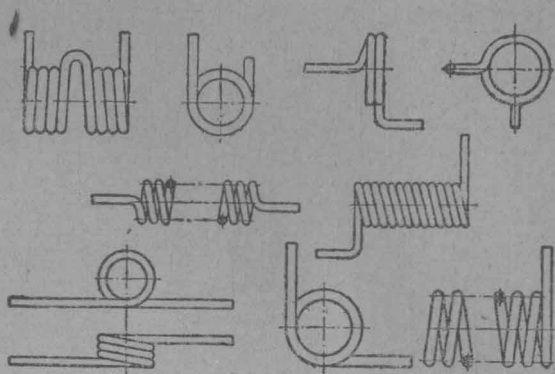


图 1-12 扭簧端部结构形状

压簧过长,在压缩过程中,容易产生侧向挠屈而失效如图 1-13 a)。受力后压到各圈无间隙,不能再压缩,不致压坏如图 1-13 b)不宜受侧向力如图 1-13 c)。工作过程中,不能左右转动。见图 1-13 中 d,所示。但压簧便于制造,成本较低。

拉簧受力伸长过长产生塑性变形,容易失效或破坏见图 1-13 中 e)结构上要保证不要变形过长。因有两端钩环,在工作中,可以转动见图 1-13 f)适当。可用于能转动的组件中。拉压簧的长度方向和受力的方向一致。在结构设计中,如受力方向有空间时,才能用此种弹簧拉簧端部有钩,制造较为费工。

扭簧在变形过程中容易弯曲,为了防止过多的弯曲和支持联接扭簧,须有心轴。受力矩的作用面应与它的轴线垂直。见图 1-13 中 g,所示。

这些弹簧虽形状不同,可以起相同作用,见图 1-14。

图 1-14 中 a, b, c, 全是利用拉,压和扭簧把两片齿轮错开。结构变化不大,用不同的弹簧,却能达到同一目的。拉压弹簧尺寸受结构尺寸的限制,不能很大,故不能产生大的作用力,使齿轮分开。同样情况扭簧受结构尺寸的限制少,可以产生大的作用力,使之分开。

图 1-15 说明在摩擦联轴器上,由于结构具体形状不便安装拉簧,而采用压簧来产生轴向压力是合适的。

图 1-2 说明,在菌状摩擦器中,使用拉簧产生压力比用压簧结构上便于实现。

图 1-16 表示,同是联轴器,为了解脱,联接方便,使用了活动的联接盘,其结构不同,目的一样,使用的弹簧不同。

以上一些图例说明,选用那种弹簧主要要结合弹簧工作特点,受力情况与具体结构特点考虑。有些结构相差不多,目的一样,由于要求力的情况不同,而使用不同的弹簧。有些是结构改变,目的一样,用的弹簧也要改变。有些是根据结构的特点,使用方便,来选用弹簧型式的。

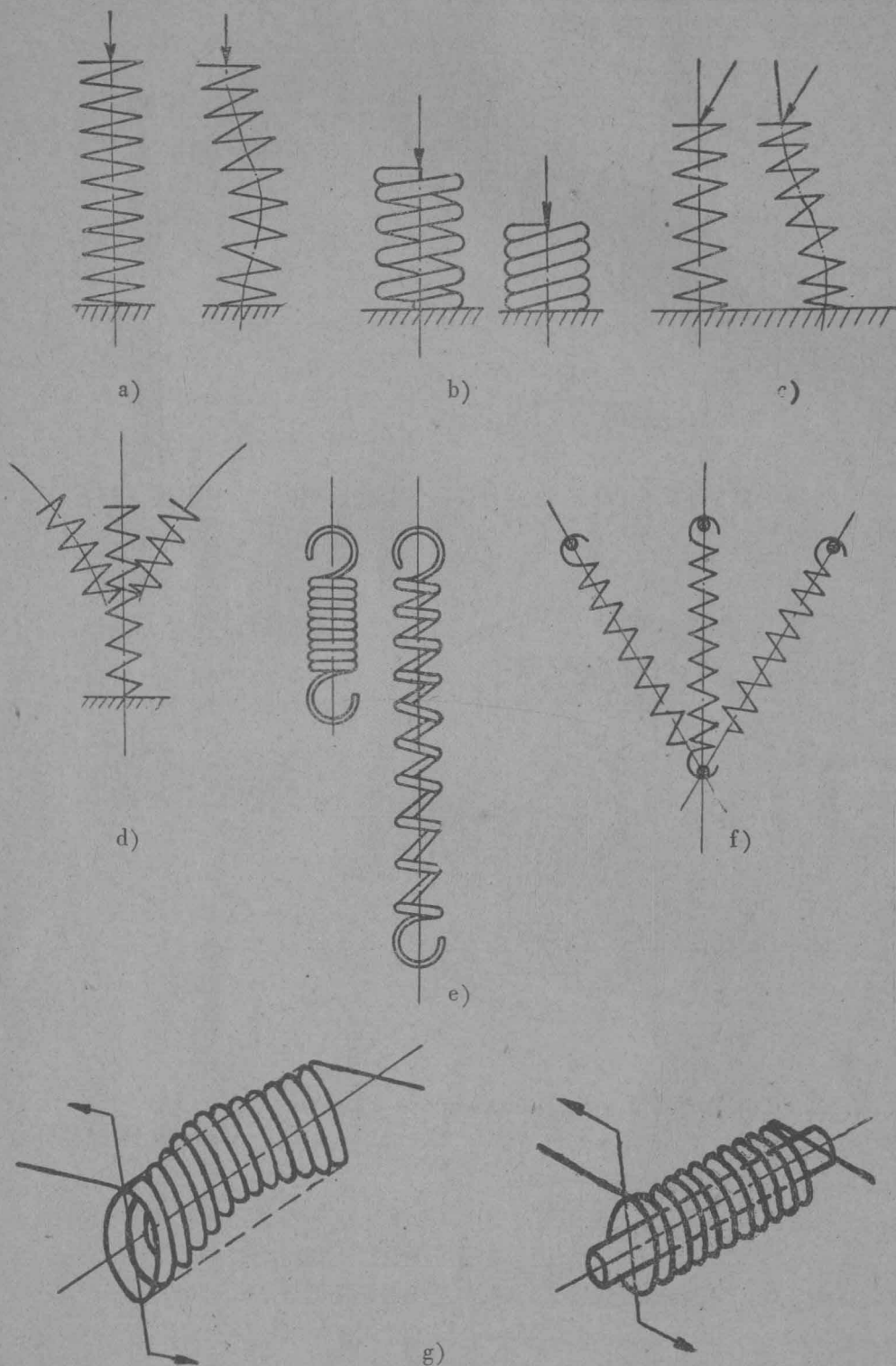


圖 1-13 拉壓扭簧的使用特点

设计弹簧时，先要初步选定弹簧型式。

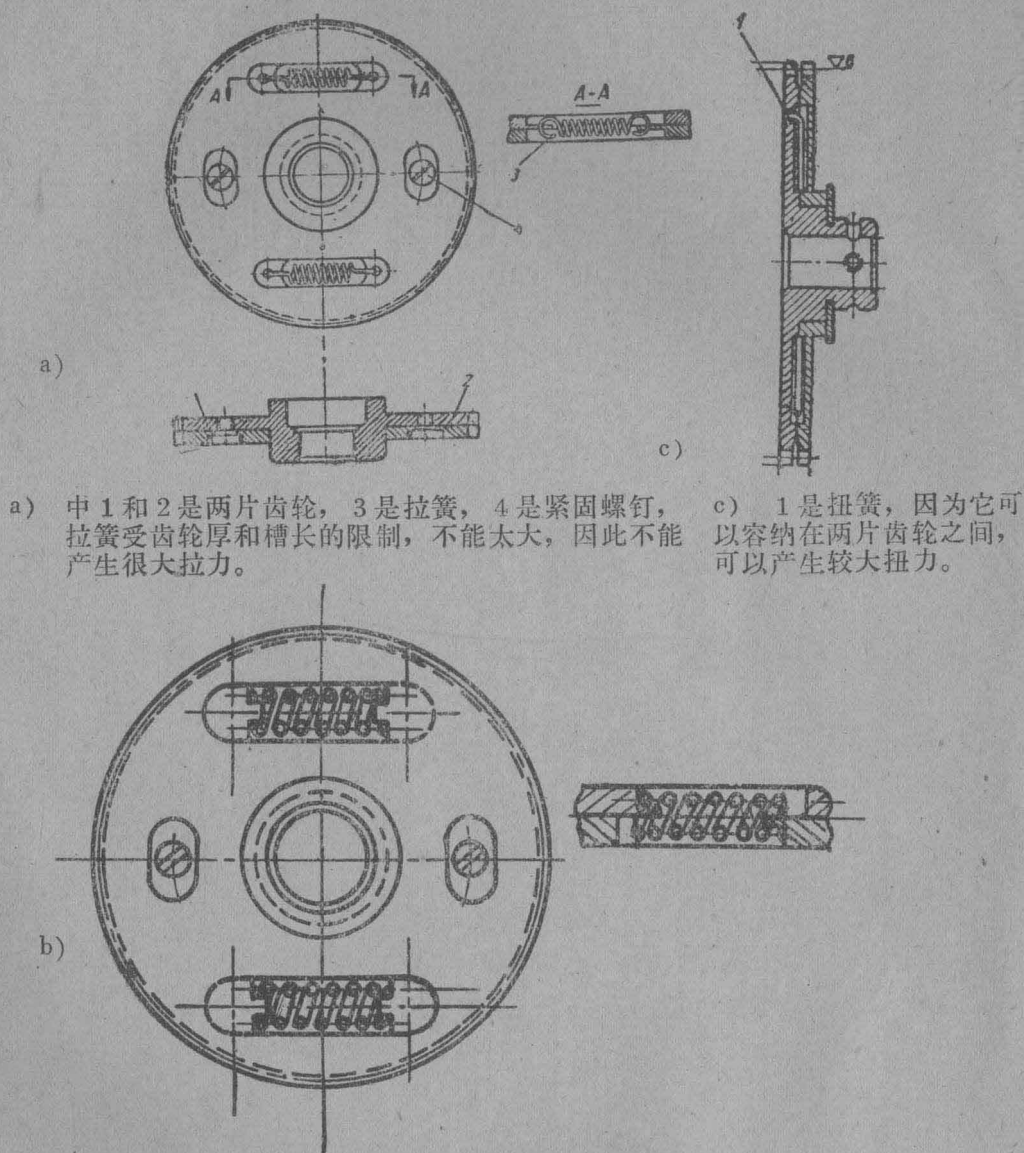


圖 1-14 用不同彈簧的分裂齒輪實例

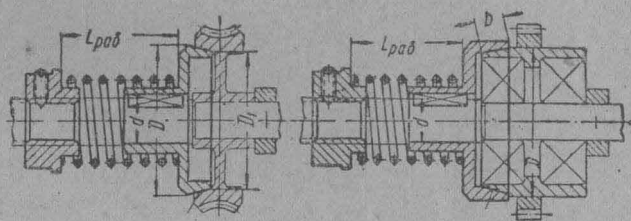


圖 1-15

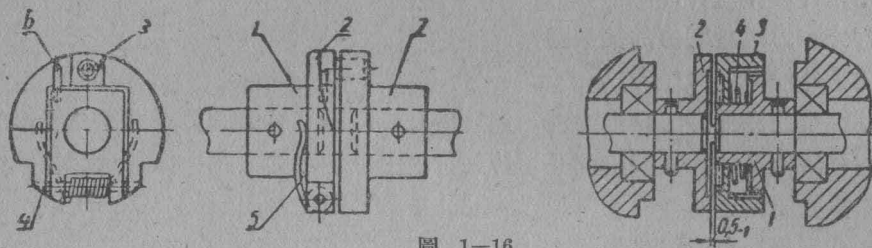


圖 1-16

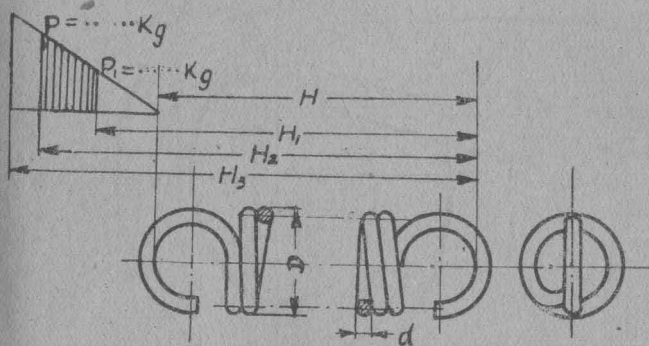
零件 1 固定在轴上，用销钉 4 与 2 相联 5 是扭簧，3 是销钉插入 7 的槽中使 2 与 7 相联，欲解脱此联轴节向左推动 2 即可。放手后，由扭簧 5 的作用，自动联接
图中 b) 4 是压簧，3 可以活动，利用 4 与 2 相联。

五、圆柱螺旋弹簧尺寸计算——为了了解要计算那些尺寸先明确工作图的要求

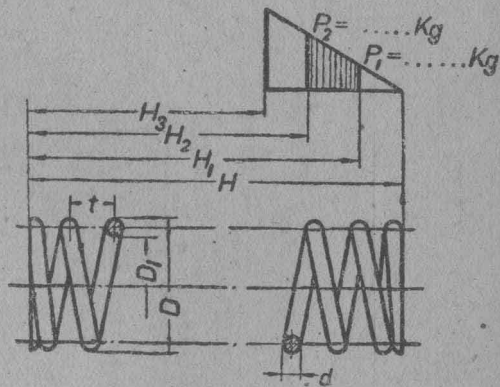
A. 典型工作图——以下图 1-17 是拉，压簧的典型工作图。

拉伸弹簧典型工作图

压缩弹簧典型工作图



a)



b)

1. 展开长度 $L = \dots \dots \dots \text{mm}$
2. 旋 向 (左向或右向)
3. 工作圈数(包括公差) $n = \dots \dots \dots$
4. 热 处 理 $\dots \dots \dots$
5. 表面处理 $\dots \dots \dots$
6. 制造、试验和验收技术条件 $\dots \dots \dots$

1. 展开长度 $L = \dots \dots \dots \text{mm}$
2. 旋 向 (左向或右向)
3. 工作圈数 $n = \dots \dots \dots$
4. 总圈数(包括公差) $n_1 = \dots \dots \dots$
5. 热 处 理 $\dots \dots \dots$
6. 表面处理 $\dots \dots \dots$
7. 制造、试验和验收技术条件 $\dots \dots \dots$

圖 1-17 典型工作圖

由图可以看出以下三点:

- 1) 技术条件基本一样;
- 2) 全有力和力矩与变形的关系图形;
- 3) 标注了外径 D , 内径 D_1 , 钢丝直径 d 圈数 n 等全部尺寸。

这些尺寸, 全是设计时要确定的。确定这些尺寸, 满足给出的力或力矩与变形的大小和关系, 并且适合结构尺寸的限制, 就是设计任务。图中标注的力或力矩与变形的关系 (三角形), 就是该弹簧要满足的特性关系。因为设计要满足强度与变形的关系。所以, 要分析弹簧尺寸等与力或力矩和变形的关系。

B. 几何尺寸等与变形, 负荷和应力的关系

1. 几何尺寸, 负荷和应力的关系——取圆柱螺旋弹簧的一部分

受拉力 P 时, 见图 1-18 中 a), 所示, 当螺旋角小于 10° 时, 在钢丝断面上由力矩 $P \cdot R$ 产生的扭转应力 τ_{PR} 在内侧向下, 外侧向上。

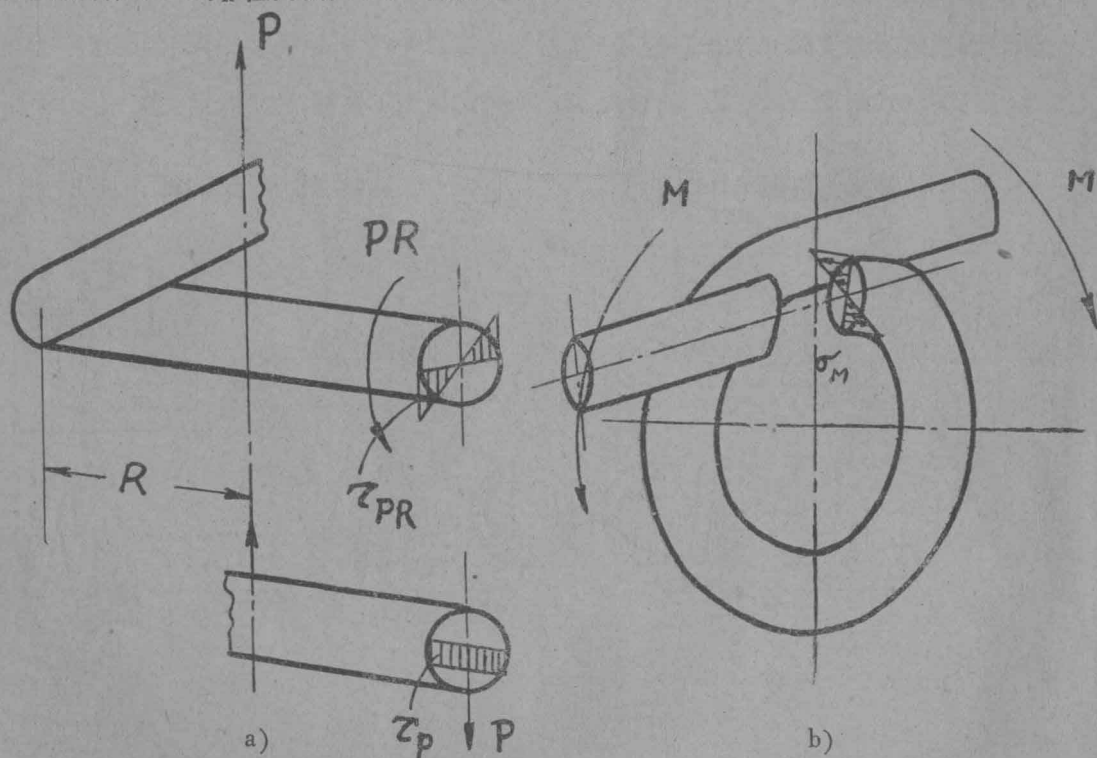


图 1-18 圆柱螺旋弹簧受拉力作用

$$\tau_{PR} = \frac{PR}{\frac{\pi}{16} d^3} \quad (1-2)$$

由 P 产生的剪应力 τ_p 在断面各处, 皆向下。

$$\tau_p = \frac{P}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad (1-3)$$

二者合并后，在钢丝内侧相加后的扭转剪应力最大为：

$$\tau = \tau_{PR} + \tau_D = \frac{PR}{\frac{\pi}{16}d^3} \left(1 + \frac{d}{4R}\right) \quad (1-4)$$

考虑到弹簧是弯曲的，内外侧的纤维长度不同，钢丝断面各处扭转同样角度后，内侧纤维短，所以应力就大。为此，引入一个修正系数 K ，则应力公式改为

$$\tau = \frac{PR}{\frac{\pi}{16}d^3} K;$$

其中
$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}; \quad (1-5)$$

$$C = \frac{2R}{d} = \frac{D_2}{d}。$$

式中符号

R —— 弹簧平均半径；

D_2 —— 弹簧平均直径；

d —— 钢丝直径；

C —— 缠绕比

受力矩 M 时，见图 1-18 中 b) 所示，在断面产生的是弯曲应力 σ_M 。

$$\sigma_M = \frac{M}{\frac{\pi}{32}d^3} \quad (1-6)$$

对于弯曲来说也须引入一个修正系数 K_1

$$K_1 \approx \frac{4C-1}{4C-4}$$

于是

$$\sigma_M = \frac{M}{\frac{\pi}{32}d^3} K_1 \quad (1-7)$$

不同的 C 值对应的 K 和 K_1 值如表 1-3。

为适应设计方便，把以上公式改为：

受轴向力作用的弹簧

$$d = 1.6 \sqrt{\frac{PCK}{R_s}} \quad (1-8)$$

受力矩作用的弹簧