

弹簧概述

1. 弹簧的功用

弹簧是一种弹性的元件，它具有刚度小、变形大、在载荷作用下易产生较大弹性变形等特点，在各类机械中应用十分广泛。

弹簧的主要功用有：控制机构的运动、缓冲和减振、储存能量、测力以及改变机器的自振频率等。

2. 弹簧的分类

按弹簧承受的载荷分：

拉伸弹簧 压缩弹簧 扭转弹簧 弯曲弹簧

按照弹簧的形状分：

螺旋弹簧 环形弹簧 碟形弹簧 板簧 盘簧 异型弹簧

螺旋弹簧是用弹簧丝卷绕制成的，由于制造简便，所以应用最广。在一般机械中，最常用的是圆柱螺旋弹簧。



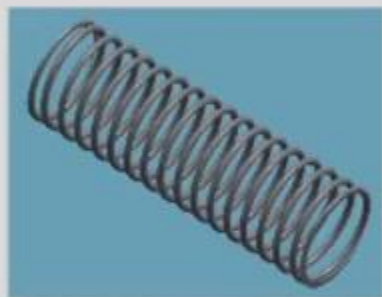
压缩弹簧



拉伸弹簧



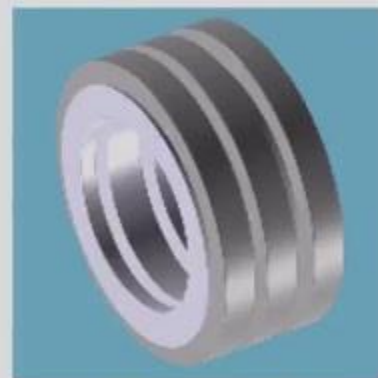
扭转弹簧



小刚度压缩弹簧



平面涡卷弹簧



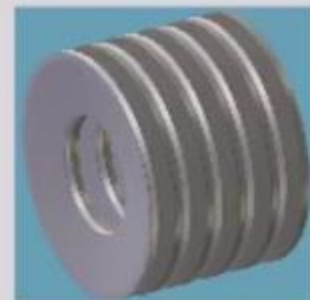
环形弹簧



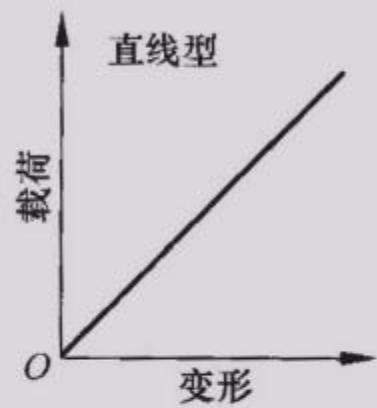
板 簧



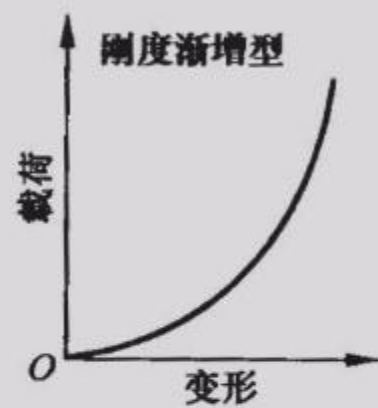
变刚度弹簧



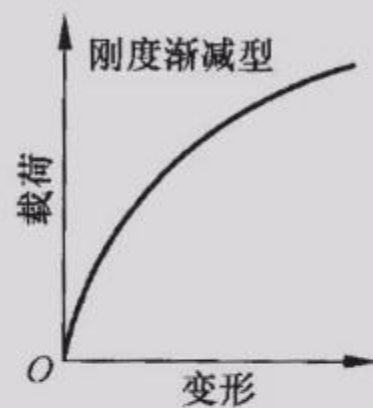
碟形弹簧



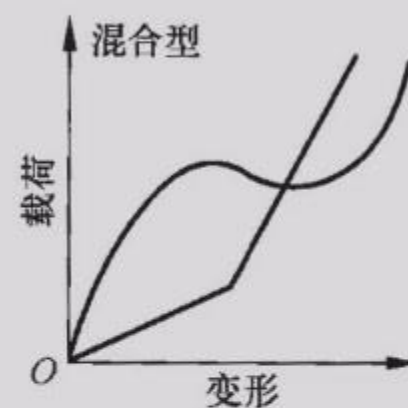
(a) 直线型 (定刚度)



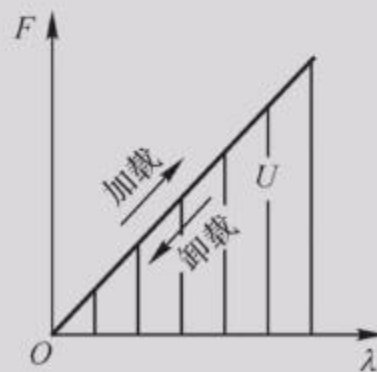
(b) 刚度渐增型



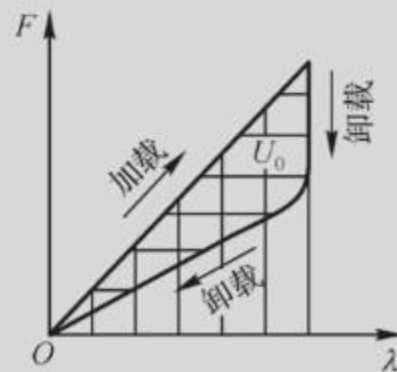
(c) 刚度渐减型



(d) 混合型



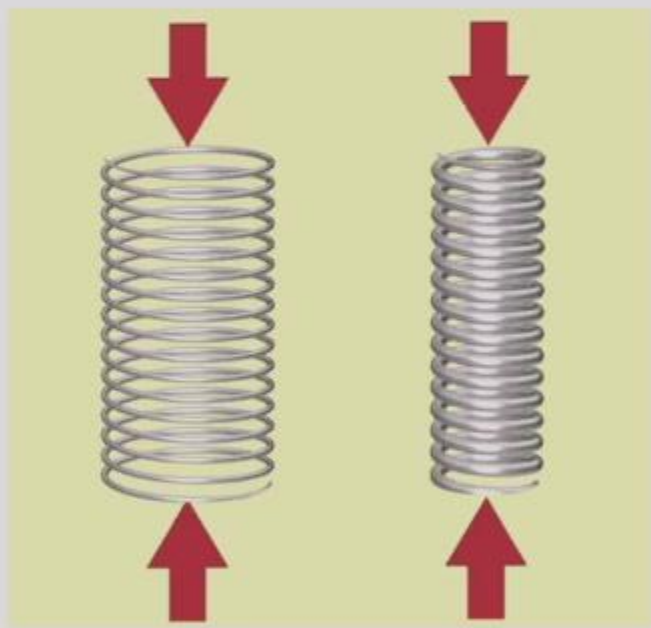
(a)



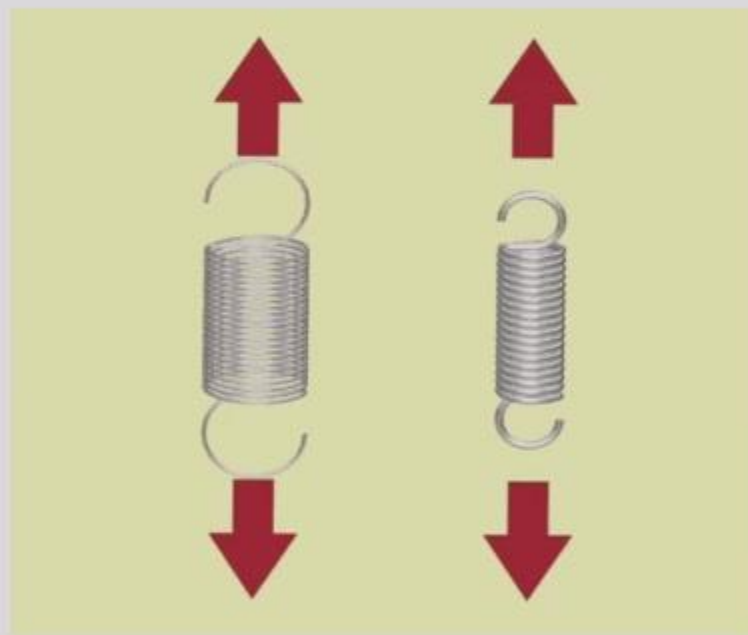
(b)

圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力

一、圆柱螺旋弹簧的结构形式

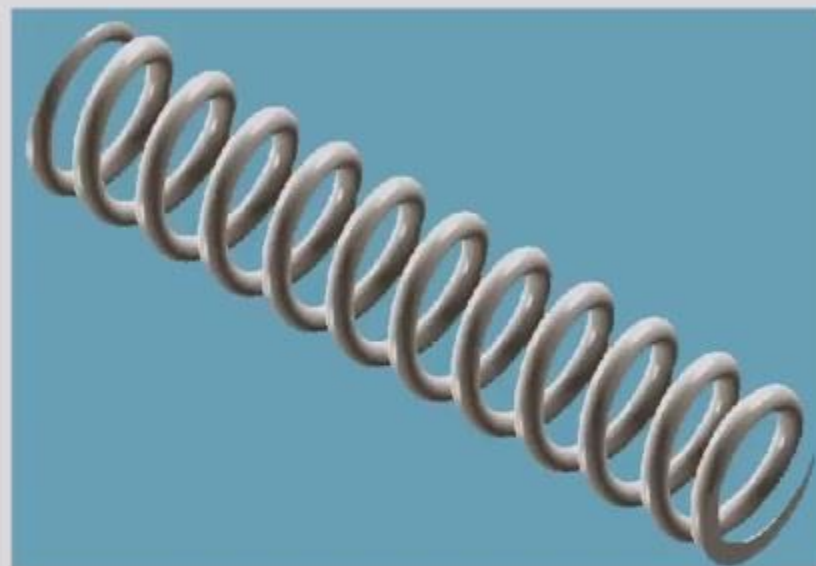
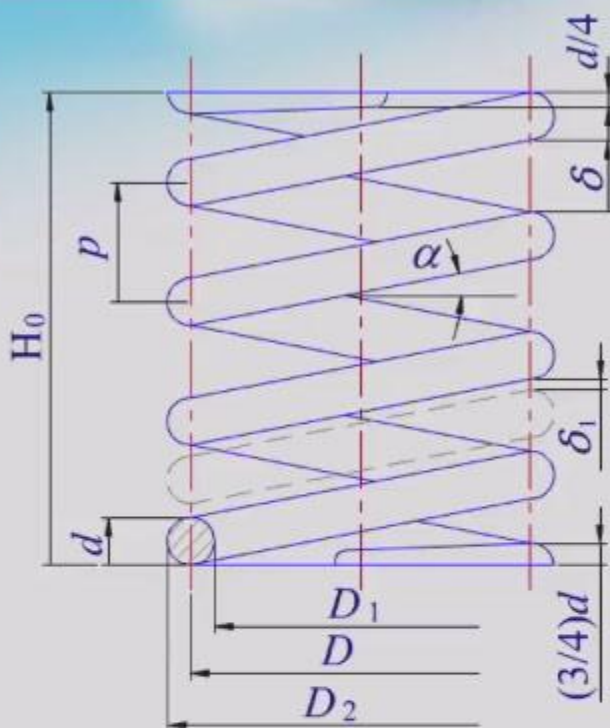


圆柱螺旋压缩弹簧



圆柱螺旋拉伸弹簧

圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力



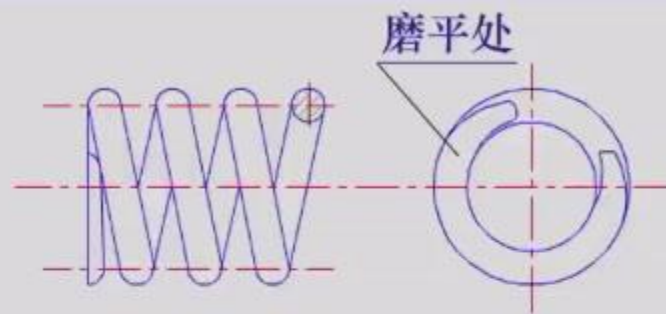
弹簧的节距为 p ，在自由状态下，各圈之间应有适当的间距 δ ，以便弹簧受压时，有产生相应变形的可能。

为了使弹簧在压缩后仍能保持一定的弹性，设计时还应考虑在最大载荷作用下，各圈之间仍需保持一定的间距 δ_1 。 δ_1 的大小一般推荐为： $\delta_1=0.1d \geq 0.2\text{mm}$ （ d 为弹簧丝的直径）。

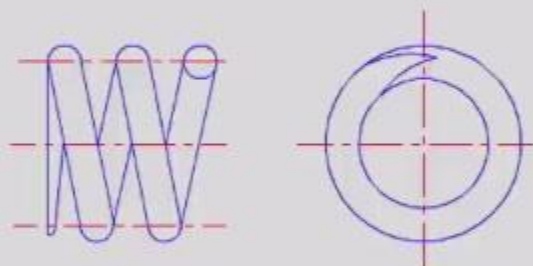
圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力

弹簧的两个端面圈应与邻圈并紧（无间隙），只起支承作用，不参与变形，故称为死圈。当弹簧的工作圈数 $n \leq 7$ 时，弹簧每端的死圈约为0.75圈； $n > 7$ 时，每端的死圈约为1~1.75圈。

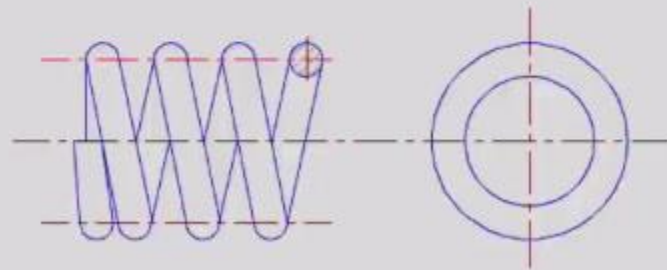
常用的压缩弹簧端面结构如右图所示。在重要的场合，应采用YI型，以保证两支承端面与弹簧的轴线垂直。当弹簧丝直径 $d \leq 0.5\text{mm}$ 时，弹簧的两支承端面可不必磨平。 $d > 0.5\text{mm}$ 的弹簧，两支承端面则需磨平。磨平部分应不少于圆周长的3/4。端头厚度一般不小于 $d/8$ ，端面的粗糙度应低于 $\sqrt[25]{\text{ }}$ 。



端面并紧且磨平(YI型)

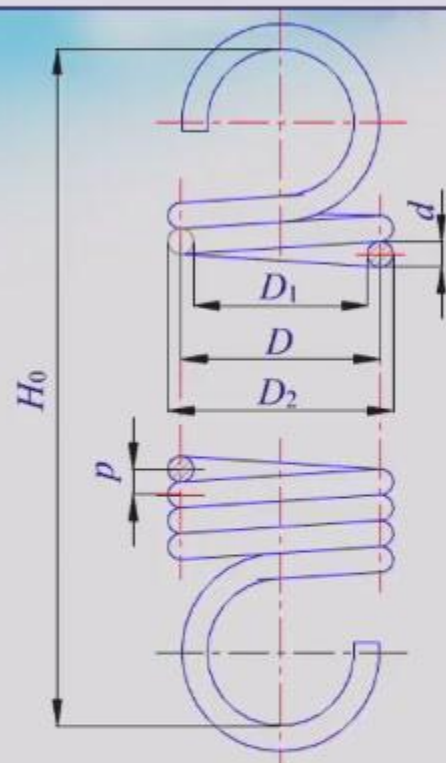


端面锻扁且并紧(YII型)



端面并紧不磨平(YIII型)

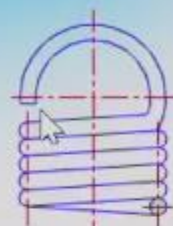
圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力



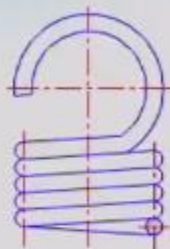
圆柱螺旋拉伸弹簧空载时，各圈应相互并拢。

为了节省轴向工作空间，并保证弹簧在空载时各圈相互压紧，常在卷绕的过程中，同时使弹簧丝绕其本身的轴线产生扭转。这样制成的弹簧，各圈相互间既具有一定的压紧力，弹簧丝中也产生了一定的预应力，这种弹簧一定要在外加的拉力大于初拉力后，各圈才开始分离。

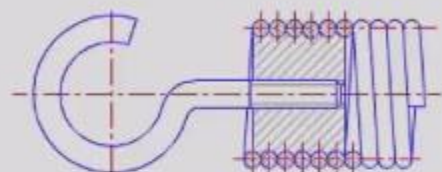
圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力



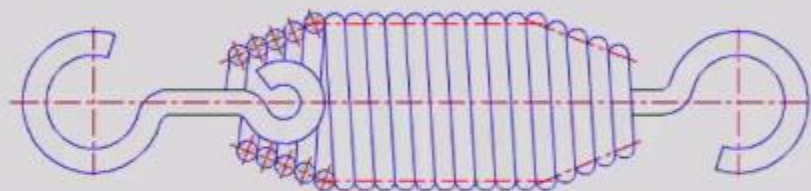
LI型



LII型



LVII型



LVIII型

拉伸弹簧的端部制有挂钩，以便安装和加载。其中LI型和LII型制造方便，应用很广。但因在挂钩过渡处产生很大的弯曲应力，故只宜用于弹簧丝直径 $d \leq 10\text{mm}$ 的弹簧中。LVII型、LVIII型挂钩不与弹簧丝联成一体，这种挂钩可以转到任意方向，便于安装。在受力较大的场合，最好采用LVIII型挂钩，但它的价格较贵。

圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力

二、圆柱螺旋弹簧的制造

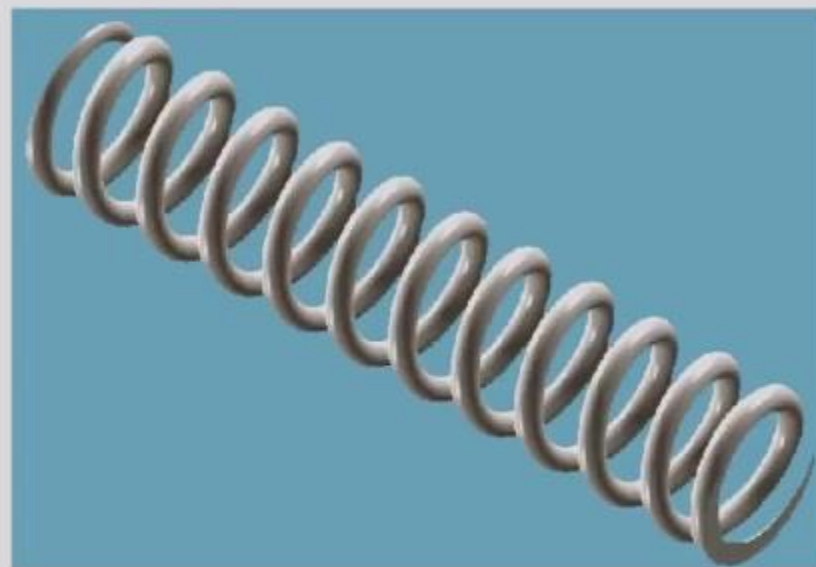
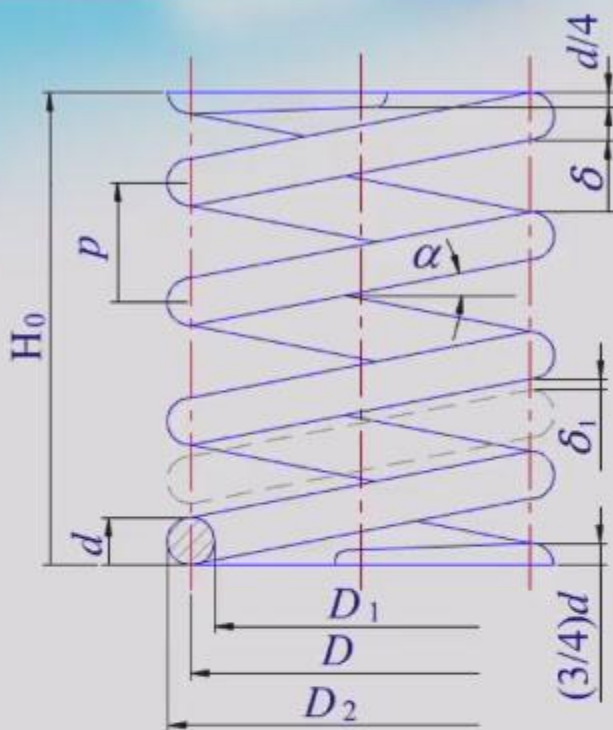
螺旋弹簧的制造工艺包括：

卷制→挂钩的制作或端面圈的精加工→热处理→工艺试验及强压处理



螺旋弹簧卷制，在单件及小批生产时，常在车床上将簧丝卷绕在芯轴上而成，大量生产时在自动卷簧机上进行。

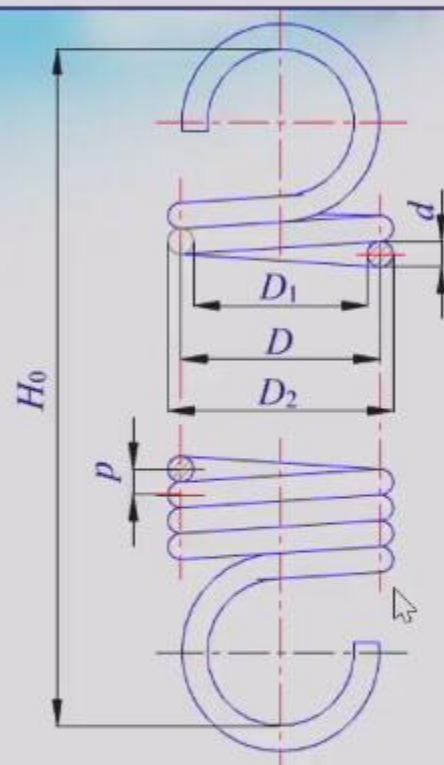
圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力



弹簧的节距为 p ，在自由状态下，各圈之间应有适当的间距 δ ，以便弹簧受压时，有产生相应变形的可能。

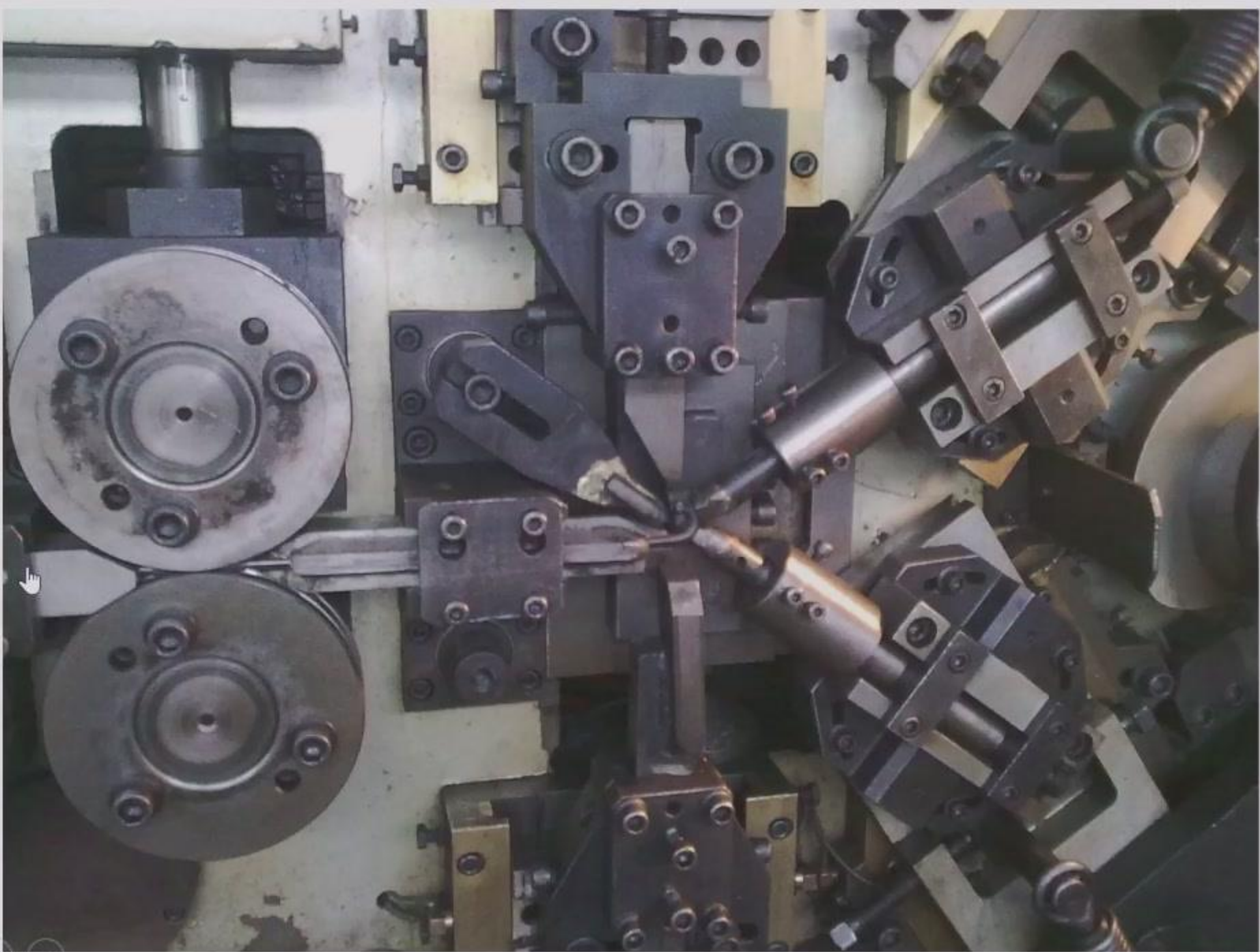
为了使弹簧在压缩后仍能保持一定的弹性，设计时还应考虑在最大载荷作用下，各圈之间仍需保持一定的间距 δ_1 。 δ_1 的大小一般推荐为： $\delta_1=0.1d \geq 0.2\text{mm}$ （ d 为弹簧丝的直径）。

圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力



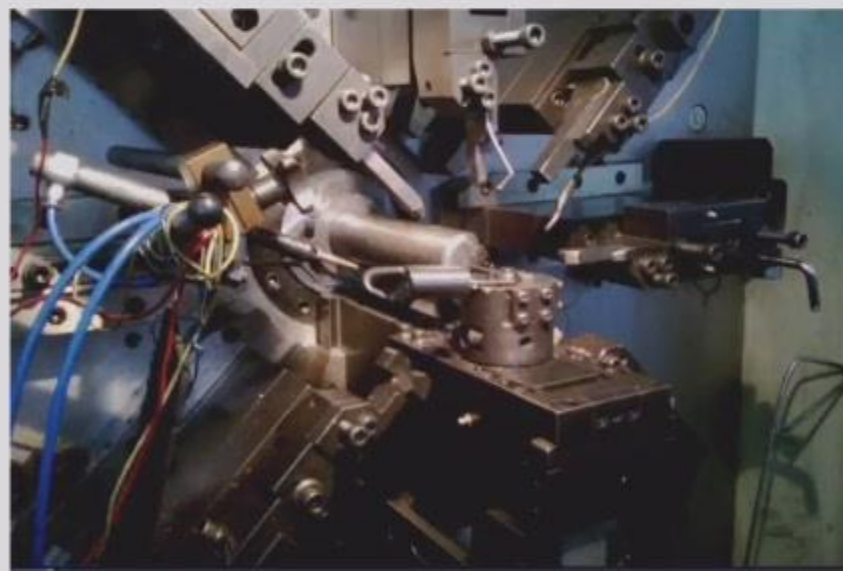
圆柱螺旋拉伸弹簧空载时，各圈应相互并拢。

为了节省轴向工作空间，并保证弹簧在空载时各圈相互压紧，常在卷绕的过程中，同时使弹簧丝绕其本身的轴线产生扭转。这样制成的弹簧，各圈相互间既具有一定的压紧力，弹簧丝中也产生了一定的预应力，这种弹簧一定要在外加的拉力大于初拉力后，各圈才开始分离。





机械凸轮控制自动卷簧机



电子凸轮控制自动卷簧机

卷制分冷卷和热卷两种：

- 当弹簧丝直径不超过 8 mm 时常用冷卷法，冷卷弹簧一般采用铅淬火和强烈冷拔的碳素钢弹簧钢丝在常温下卷成，卷成后一般不再进行淬火处理，只加以低温回火以消除内应力，弹簧丝直径较大而弹簧直径较小的弹簧则常用热卷。
- 热卷温度视簧丝直径而定，卷成后必须经过淬火与回火处理。

弹簧在卷绕和热处理后要进行表面检验、尺寸检验及工艺检验。

有时为提高弹簧的承载能力或疲劳强度，可再进行强压处理或喷丸处理。

圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力

三、弹簧的材料及许用应力

为了使弹簧能够可靠地工作，弹簧材料必须具有高的弹性极限和疲劳极限，同时应具有足够的韧性和塑性，以及良好的可热处理性。

1. 常用弹簧钢

碳素弹簧钢(如65、70钢): 价格便宜、来源方便, 但弹性极限低;

低锰弹簧钢(如65Mn): 淬透性好、强度较高, 淬火后易产生裂纹;

硅锰弹簧钢(如60Si2MnA): 弹性极限高, 回火稳定性好, 力学性能良好;

铬钒钢(如50CrVA): 耐疲劳和抗冲击性能好, 价格贵, 用于要求高的场合。

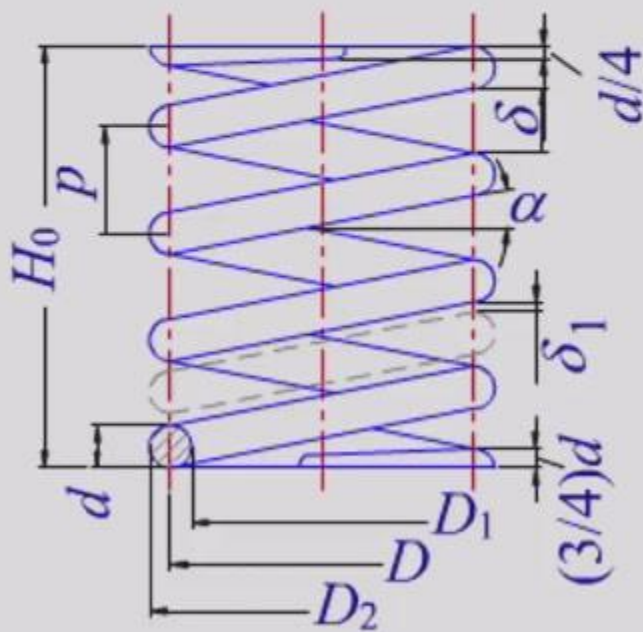
2. 材料选择

选择弹簧材料时, 应考虑其用途、使用条件(载荷性质、大小及循环特性、工作持续时间、工作温度等)以及加工、热处理和经济性等因素。

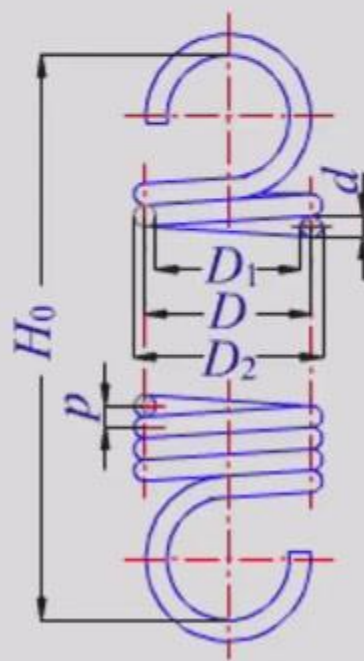
圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算

一、几何参数计算

普通圆柱螺旋弹簧的主要几何尺寸：外径 D_2 、中径 D 、内径 D_1 、节距 p 、螺旋升角 α 、弹簧丝直径 d 。



压缩弹簧





拉伸弹簧

圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算

二、特性曲线

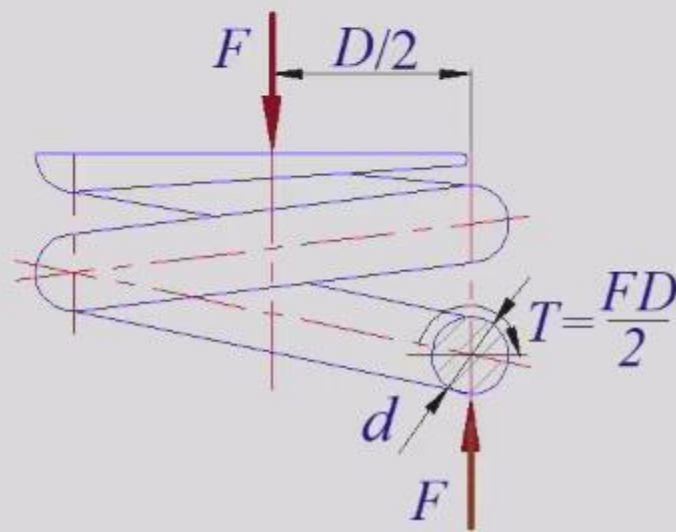
弹簧应具有经久不变的弹性。在设计弹簧时，应使其工作应力在弹性极限范围内。表示弹簧载荷和变形的关系曲线称为特性曲线。弹簧的特性曲线作为检验和试验时的依据之一，通常应绘制在弹簧的工作图中。

压缩弹簧特性曲线 

拉伸弹簧特性曲线 

三、圆柱螺旋弹簧受载时的应力及变形

圆柱螺旋弹簧受压或受拉时，弹簧丝的截面上主要受到横向剪力和扭矩。下面以压缩弹簧承受轴向载荷的情况进行分析。



圆柱螺旋压缩弹簧的特性曲线



表示弹簧载荷 F 与变形 λ 关系的曲线称为弹簧的特性曲线，特性曲线应绘制在弹簧的工作图中，作为检验核试验的依据之一。右图为等节距的圆柱螺旋压缩弹簧的特性曲线。

弹簧的载荷与变形关系式为：

$$\frac{F_{\min}}{\lambda_{\min}} = \frac{F_{\max}}{\lambda_{\max}} = \dots = \text{常数}$$

其中：

F_{\min} 为安装弹簧时预加的载荷；

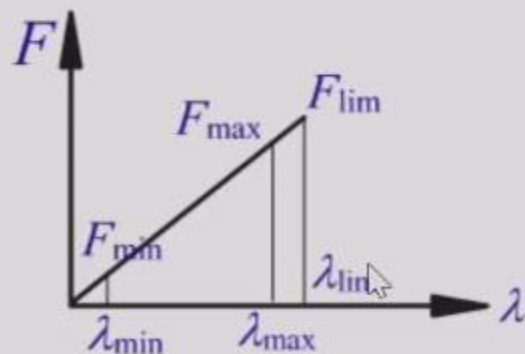
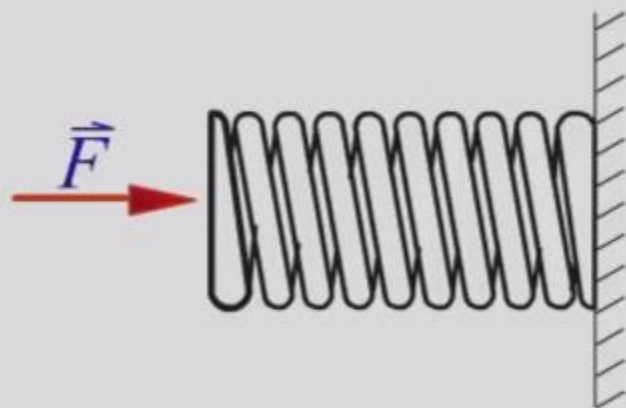
F_{\max} 为弹簧的最大工作载荷；

一般取 $F_{\min}=(0.1\sim0.5)F_{\max}$ ；

一般应保持 $F_{\max}\leq 0.8F_{\lim}$ ；

F_{\lim} 为弹簧的极限载荷。

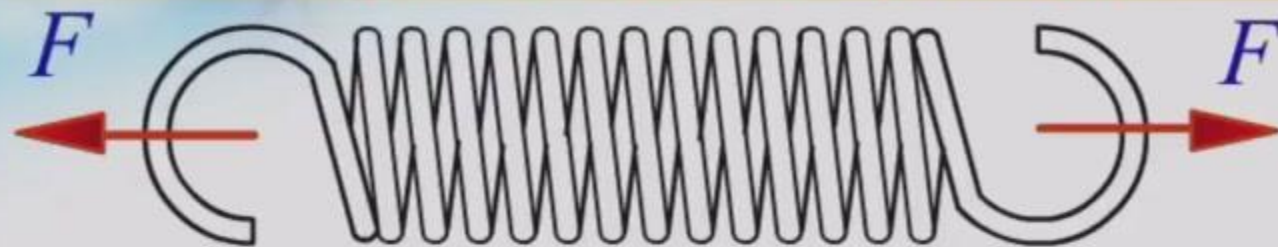
步进加载 连续加载 卸 载
最小载荷 最大载荷 极限载荷



圆柱螺旋压缩弹簧的特性曲线



圆柱螺旋拉伸弹簧特性曲线



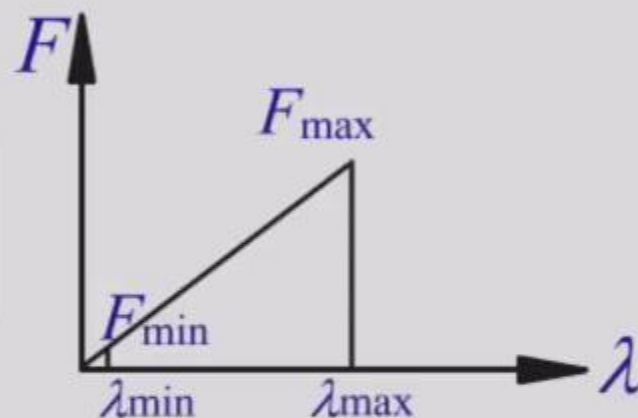
请选择状态

☐ 无预应力

☐ 有预应力

连续加载 步进加载 卸 载

最小载荷 最大载荷 极限载荷



对于无预应力的拉伸弹簧，其特性曲线与压缩弹簧相似。但对有预应力的拉伸弹簧，当工作载荷大于初拉力 F_0 后弹簧才开始变形。因此，要求 $F_{\min} > F_0$

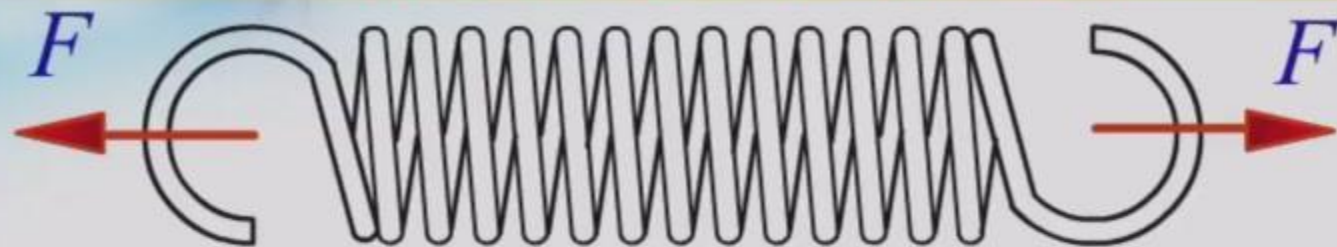
弹簧的最大工作载荷 F_{\max} 虽然是由工作条件决定，但一般不应达到其极限载荷。

通常取

$$F_{\max} \leq 0.8 F_{\lim}$$

弹簧的特性曲线一般应绘在弹簧工作图中，作为检验和试验的依据之一。

圆柱螺旋拉伸弹簧特性曲线



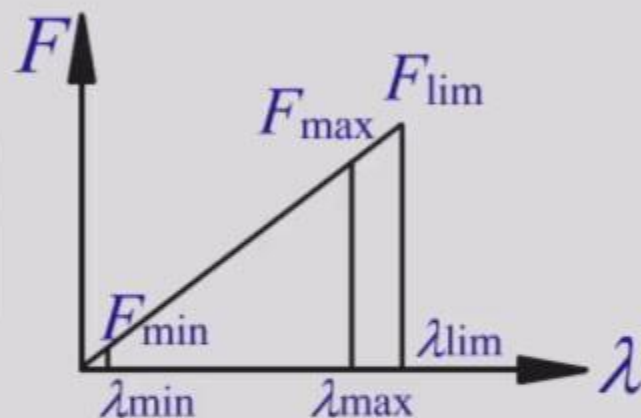
请选择状态

☐ 无预应力

☐ 有预应力

连续加载 步进加载 卸 载

最小载荷 最大载荷 极限载荷



对于无预应力的拉伸弹簧，其特性曲线与压缩弹簧相似。但对有预应力的拉伸弹簧，当工作载荷大于初拉力 F_0 后弹簧才开始变形。因此，要求 $F_{\min} > F_0$

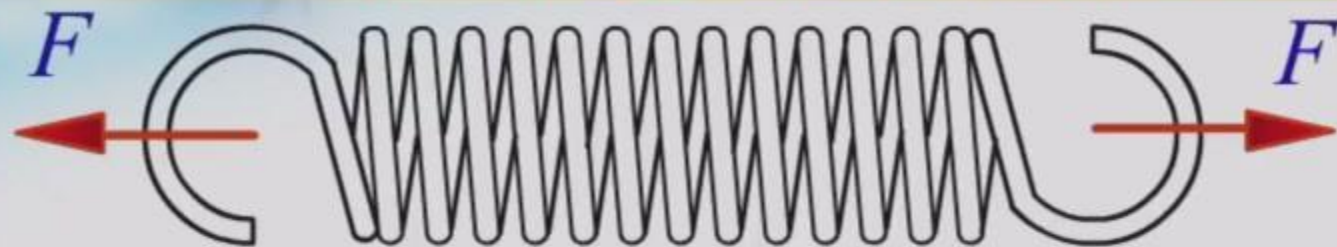
弹簧的最大工作载荷 F_{\max} 虽然是由工作条件决定，但一般不应达到其极限载荷。

通常取

$$F_{\max} \leq 0.8 F_{\lim}$$

弹簧的特性曲线一般应绘在弹簧工作图中，作为检验和试验的依据之一。

圆柱螺旋拉伸弹簧特性曲线



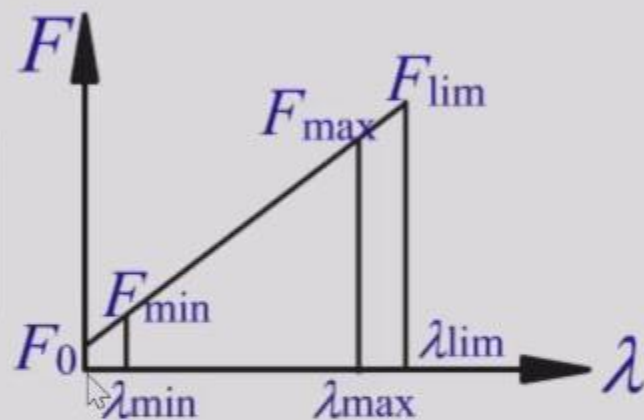
请选择状态

☐ 无预应力

☐ 有预应力

连续加载 步进加载 卸 载

最小载荷 最大载荷 极限载荷



对于无预应力的拉伸弹簧，其特性曲线与压缩弹簧相似。但对有预应力的拉伸弹簧，当工作载荷大于初拉力 F_0 后弹簧才开始变形。因此，要求 $F_{\min} > F_0$

弹簧的最大工作载荷 F_{\max} 虽然是由工作条件决定，但一般不应达到其极限载荷。

通常取


$$F_{\max} \leq 0.8 F_{\lim}$$


弹簧的特性曲线一般应绘在弹簧工作图中，作为检验和试验的依据之一。

圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算

二、特性曲线

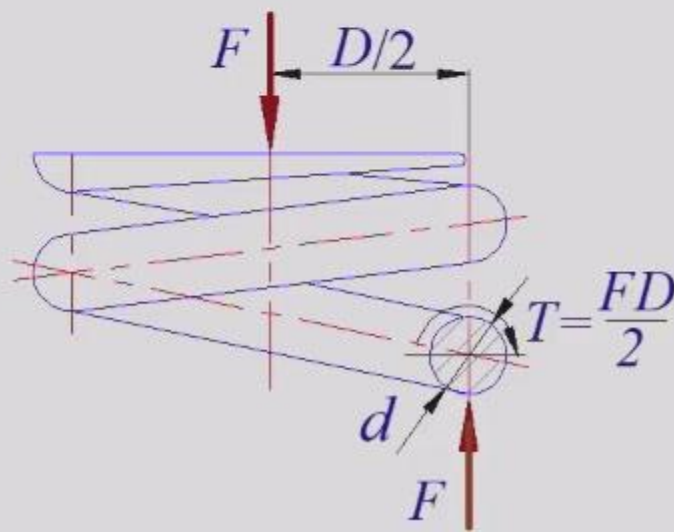
弹簧应具有经久不变的弹性。在设计弹簧时，应使其工作应力在弹性极限范围内。表示弹簧载荷和变形的关系曲线称为特性曲线。弹簧的特性曲线作为检验和试验时的依据之一，通常应绘制在弹簧的工作图中。

压缩弹簧特性曲线 

拉伸弹簧特性曲线 

三、圆柱螺旋弹簧受载时的应力及变形

圆柱螺旋弹簧受压或受拉时，弹簧丝的截面上主要受到横向剪力和扭矩。下面以压缩弹簧承受轴向载荷的情况进行分析。



圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算

■ 弹簧的受力分析

圆柱螺旋弹簧受压或受拉时，弹簧丝的受力情况是完全一样的。压缩弹簧受轴向载荷 F 时，

通过弹簧轴线的截面 $A-A$ 上有：

轴向力 F

扭矩 $T=FD/2$

在弹簧丝的法向截面 $B-B$ 上有：

横向力 $F\cos\alpha$

轴向力 $F\sin\alpha$

弯矩 $M=T\sin\alpha$

扭矩 $T'=T\cos\alpha$

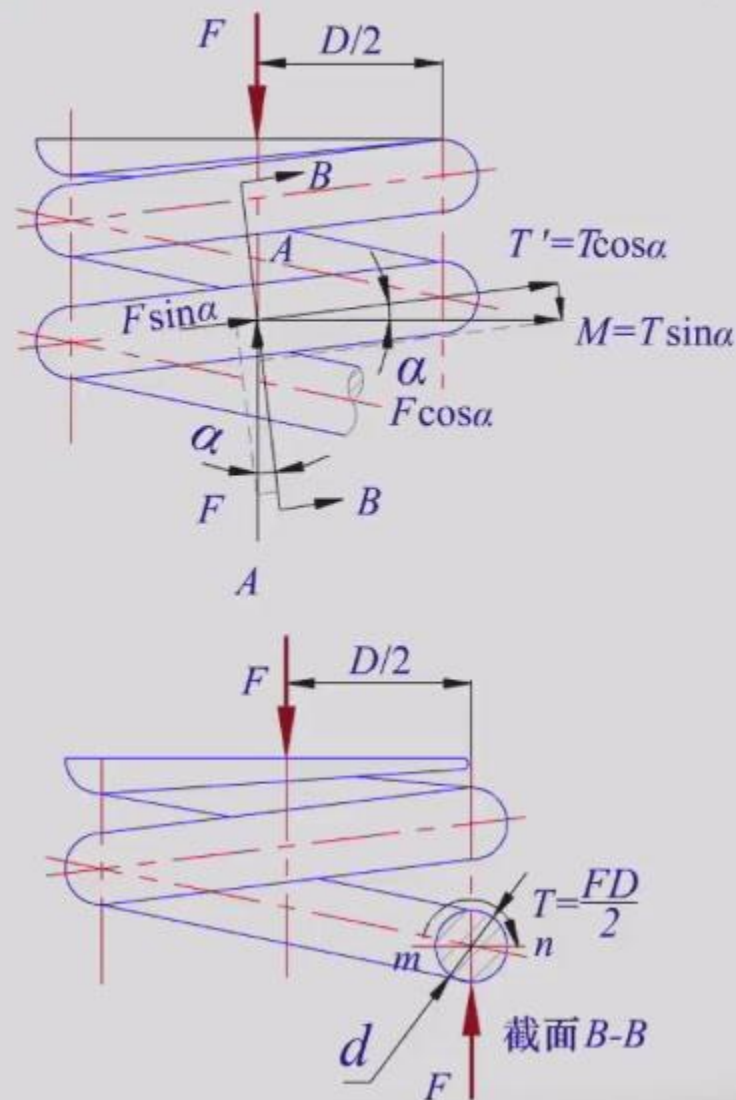
因弹簧的螺旋升角 $\alpha=5^\circ\sim9^\circ$

故 $\sin\alpha\approx 0$ ； $\cos\alpha\approx 1$

在截面 $B-B$ 上的载荷可近似取为

横向力 F

扭矩 $T'=FD/2$



圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算

■ 弹簧丝的应力分析

圆柱螺旋弹簧受压和受拉时，弹簧丝的应力状况是相同的，现对受压弹簧进行应力分析。

在B-B截面上的应力：

τ_F —剪力 F 产生的应力

τ_T —扭矩 T 产生的应力

■ 总应力 $\tau_{\Sigma} = \tau_F + \tau_T$

$$= \frac{F}{\pi d^2 / 4} + \frac{FD/2}{\pi d^3 / 16} = \frac{4F}{\pi d^2} (1 + 2C)$$

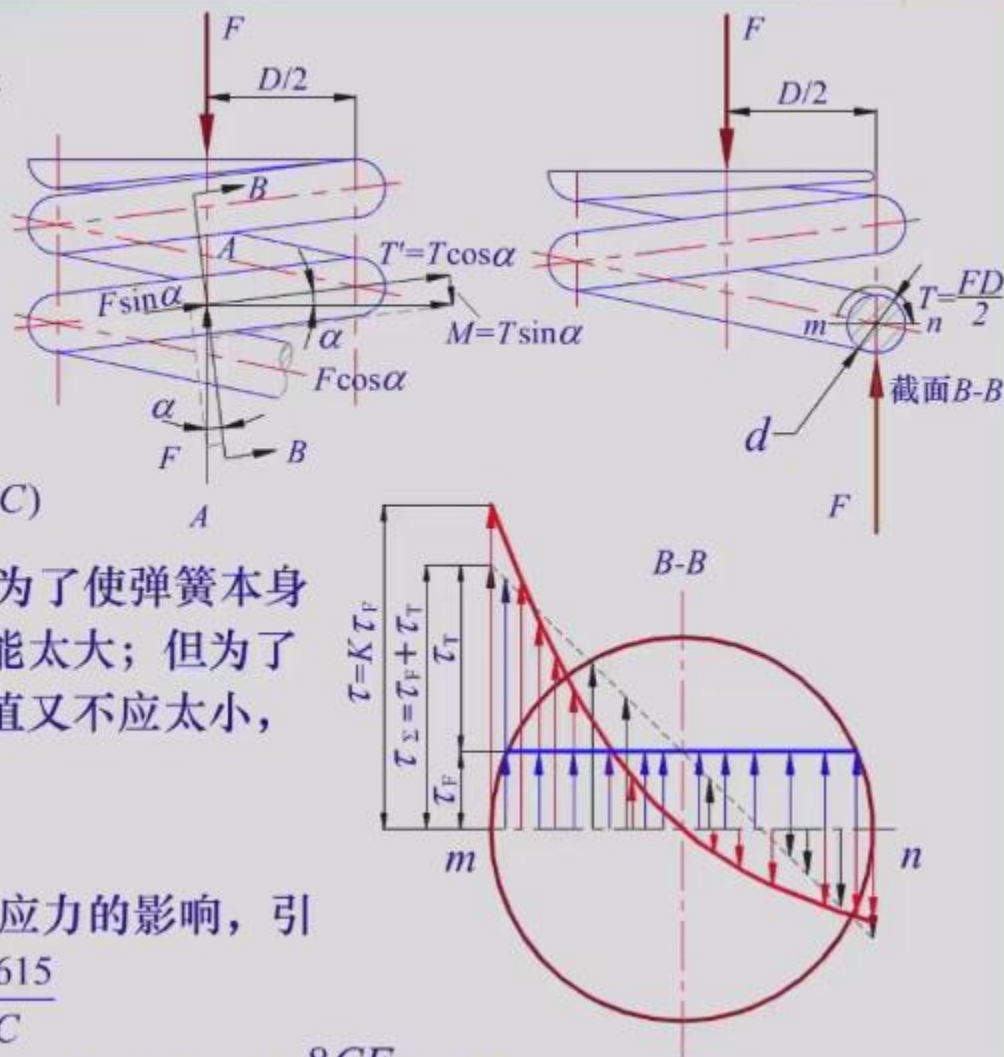
■ 旋绕比 $C=D/d$ ， C 值的范围为4~16，为了使弹簧本身较为稳定，不致颤动和过软， C 值不能太大；但为了避免卷绕时弹簧丝受到强烈弯曲， C 值又不宜太小，常用值为5~8；

■ 考虑将 $1+2C$ 简化为 $2C$ ；

■ 考虑弹簧丝的升角和曲率对弹簧丝中应力的影响，引

进一个曲度系数 K ， $K \approx \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$

■ 弹簧丝内侧的最大应力及强度条件为 $\tau = K\tau_T = K \frac{8CF}{\pi d^2} \leq [\tau]$



圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算

■ 弹簧的变形与刚度分析

圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧受载时的轴向变形量为

$$\lambda = \frac{8FD^3n}{Gd^4} = \frac{8FC^3n}{Gd}$$

压缩弹簧和无预应力的拉伸弹簧最大变形量为

$$\lambda_{\max} = \frac{8F_{\max}C^3n}{Gd}$$

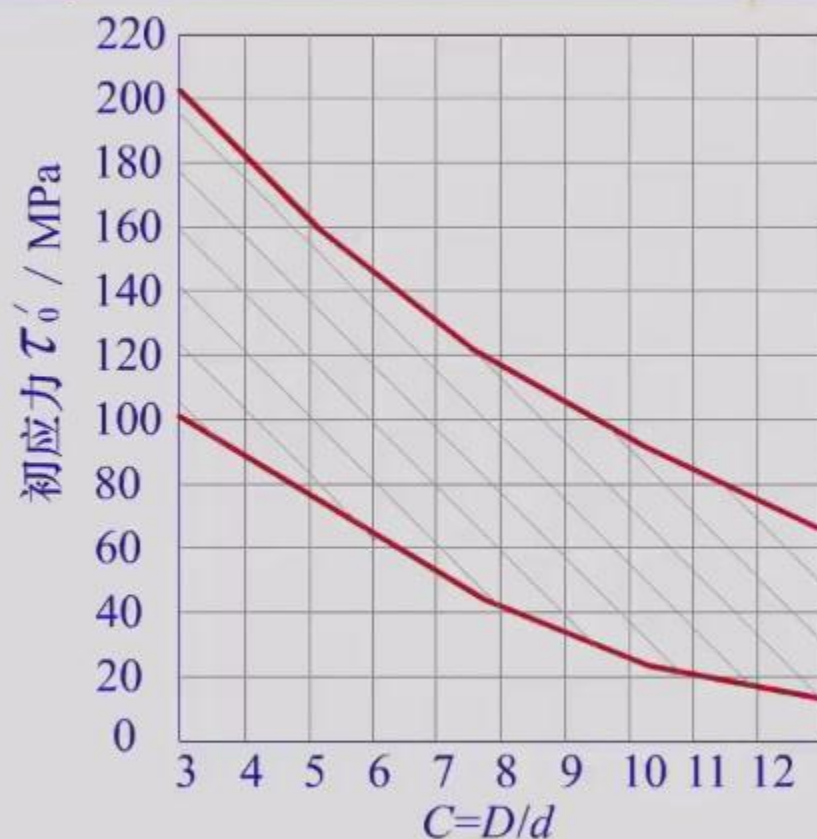
有预应力的拉伸弹簧最大变形量为

$$\lambda_{\max} = \frac{8(F_{\max} - F_0)C^3n}{Gd}$$

其中初拉力 $F_0 = \frac{\pi d^3 \tau_0'}{8KD}$

τ_0' 为初应力, 可在右图阴影区内选取。

弹簧的刚度为 $k_F = \frac{F}{\lambda} = \frac{Gd}{8C^3n} = \frac{Gd^4}{8D^3n}$



弹簧初应力的选择范围

符号说明

圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算

四、圆柱螺旋压缩（拉伸）弹簧的设计计算

设计方法和步骤:

已知弹簧的最大载荷、最大变形、以及结构要求, 包括安装空间对弹簧尺寸的限制等。

- 1) 根据工作情况及具体条件选定材料;
- 2) 选择旋绕比 C , 通常可取 $C \approx 5 \sim 8$, 并算出补偿系数 K 值;
- 3) 根据安装空间初设弹簧中径 D , 由 C 值估取弹簧丝直径 d , 并查取弹簧丝的许用应力;

4) 试算弹簧丝直径 d'

$$d' \geq 1.6 \sqrt{\frac{F_{\max} KC}{[\tau]}}$$

5) 根据变形条件求出弹簧工作圈数:

对于有预应力的拉伸弹簧

$$n = \frac{Gd}{8(F_{\max} - F_0)C^3} \lambda_{\max}$$

对于压缩弹簧或无预应力的拉伸弹簧

$$n = \frac{Gd}{8F_{\max} C^3} \lambda_{\max}$$

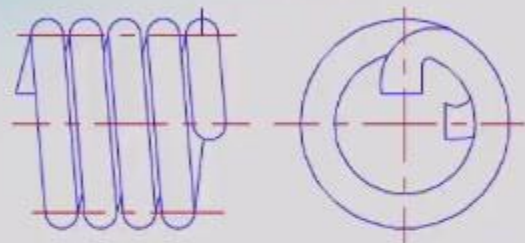
6) 检查 D_2 、 D_1 、 H_0 是否符合安装要求等;

7) 验算: 疲劳强度验算 振动验算 稳定性验算

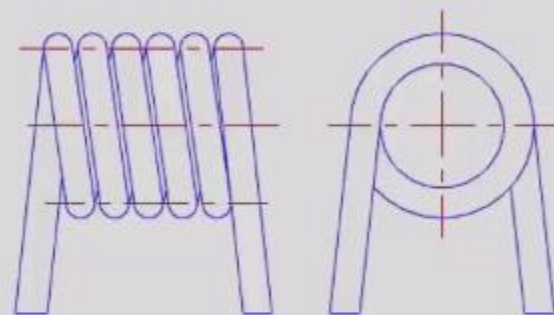
圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算

扭转弹簧主要用于压紧、储能或传递扭矩。

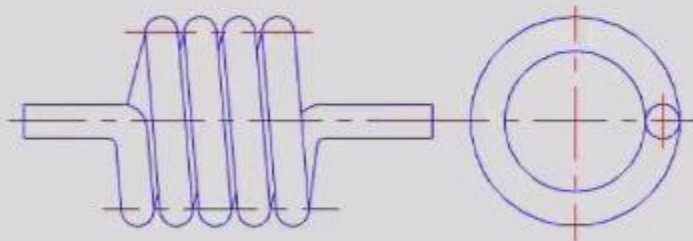
扭簧的两端带有杆臂或挂钩，用于固定或加载。常见的扭簧结构如下：



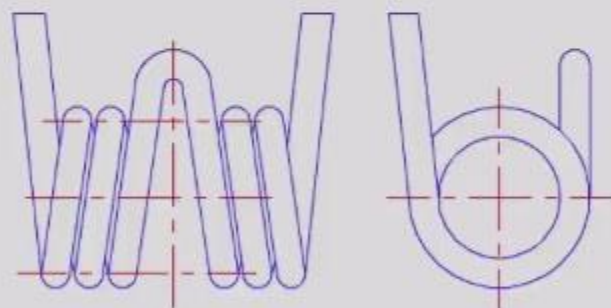
NI型 内臂扭转弹簧



NII型 外臂扭转弹簧



NIII型 中心臂扭转弹簧



NIV型 双扭转弹簧

扭转弹簧的轴向长度 $H_0 = n(d + \delta_0) + H_h$

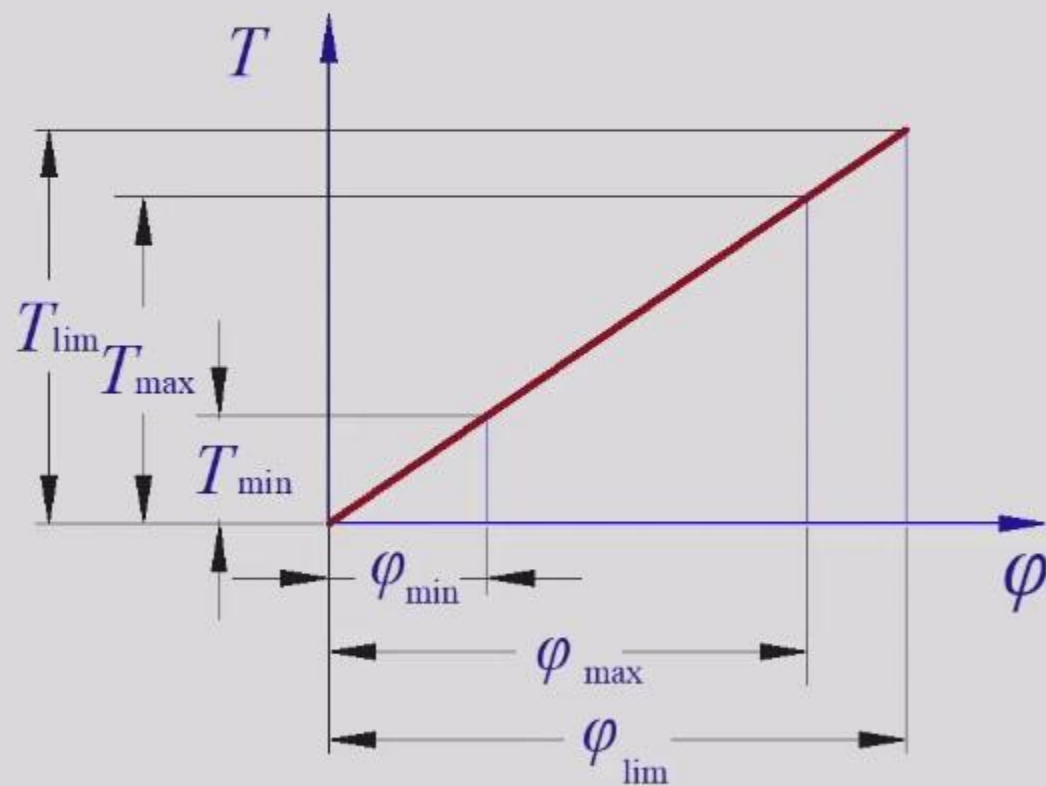
式中： H_0 —挂钩或杆臂沿弹簧轴向的长度； n —弹簧的有效圈数；

δ_0 —弹簧相邻两圈的轴向间距，一般取 $\delta_0 = 0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ ； d —弹簧丝直径；

一、圆柱螺旋扭转弹簧的结构

圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算

二、圆柱螺旋扭转弹簧的特性曲线



圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算

三、圆柱螺旋扭转弹簧受载时的应力及变形

分析弹簧丝的任意截面B-B，在扭矩T作用下，B-B截面上的载荷为：

$$\text{弯矩 } M = T \cos \alpha \quad \text{扭矩 } T' = T \sin \alpha$$

因 α 很小，故 $M \approx T$ ， $T' \approx 0$

弹簧丝截面上的应力可近似按受弯矩的梁来计算，最大应力及强度条件为

$$\sigma_{\max} = \frac{K_1 M}{W} \approx \frac{K_1 T_{\max}}{0.1 d^3} \leq [\sigma_b]$$

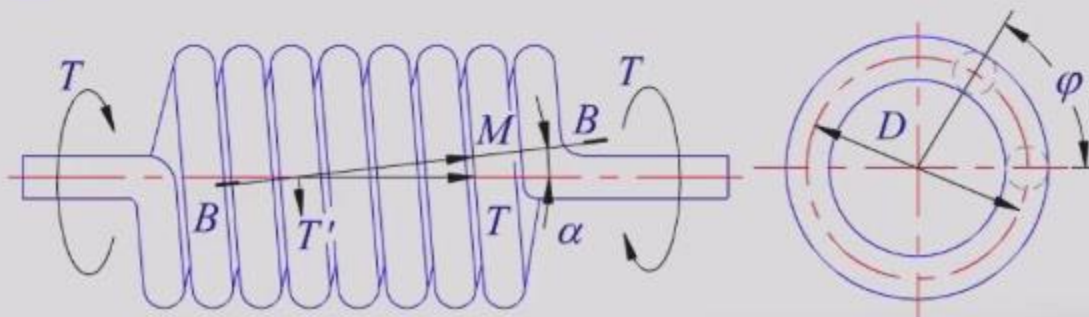
式中， K_1 为扭转弹簧的曲度系数， $K_1 = \frac{4C-1}{4C-4}$ ，常用的C值为4~16。

扭转弹簧的变形以其角位移 φ 来测量，由材料力学的公式可得：

$$\varphi \approx \frac{180 T D n}{E I}$$

扭转弹簧的刚度为：

$$k_T = \frac{T}{\varphi} = \frac{E I}{180 D n}$$



圆柱螺旋
扭转弹簧工作
时，弹簧丝主
要承受弯曲应
力作用。

圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算

三、圆柱螺旋扭转弹簧的设计

- 已知弹簧的最大载荷、最大变形、以及结构要求，包括安装空间对弹簧尺寸的限制等。
- 确定弹簧丝直径、弹簧中径、工作圈数、弹簧的螺旋升角和长度等。
- 设计方法和步骤:

1) 根据工作情况及具体条件选定材料及许用应力；

2) 选择旋绕比 C ，并算出补偿系数 K_1 值；

3) 试算弹簧丝直径 d'
$$d' \geq \sqrt{\frac{K_1 T_{\max}}{0.1[\sigma_b]}}$$

检查各尺寸是否合适；

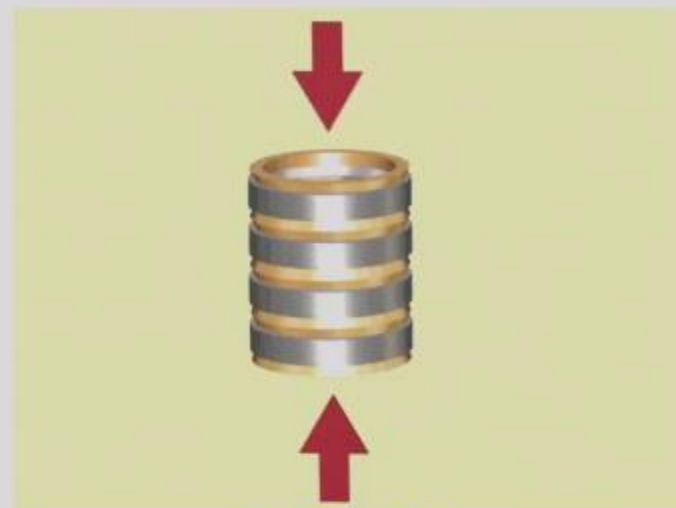
4) 根据变形条件求出弹簧工作圈数：
$$n = \frac{EI\varphi}{180TD}$$

5) 计算弹簧丝长度：
$$L \approx \pi Dn + L_h$$

其它类型弹簧简介



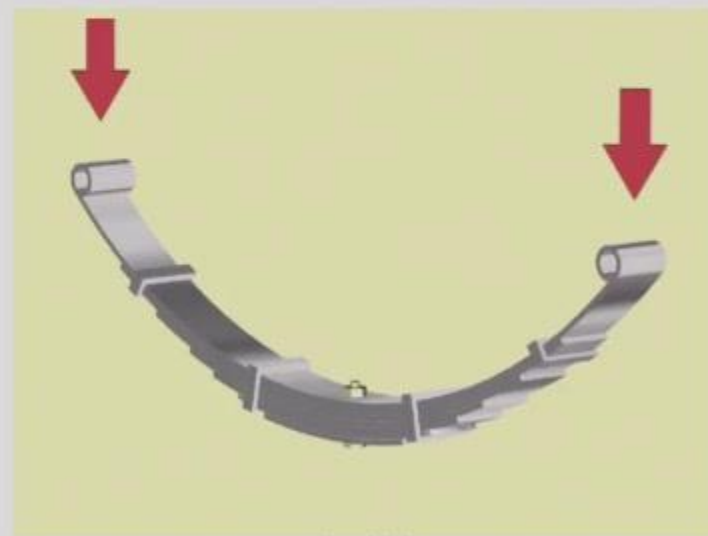
碟形弹簧



环形弹簧

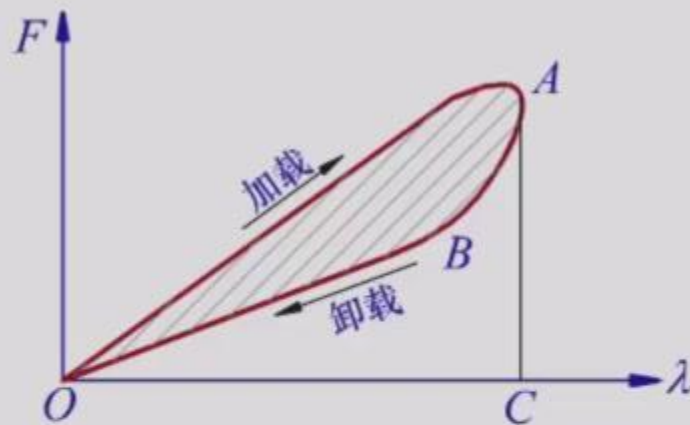
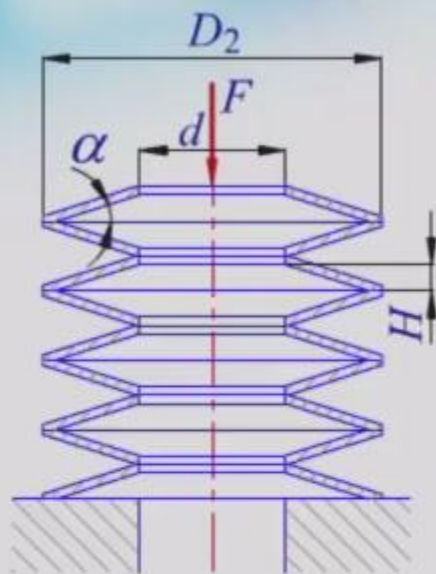


涡卷弹簧



板簧

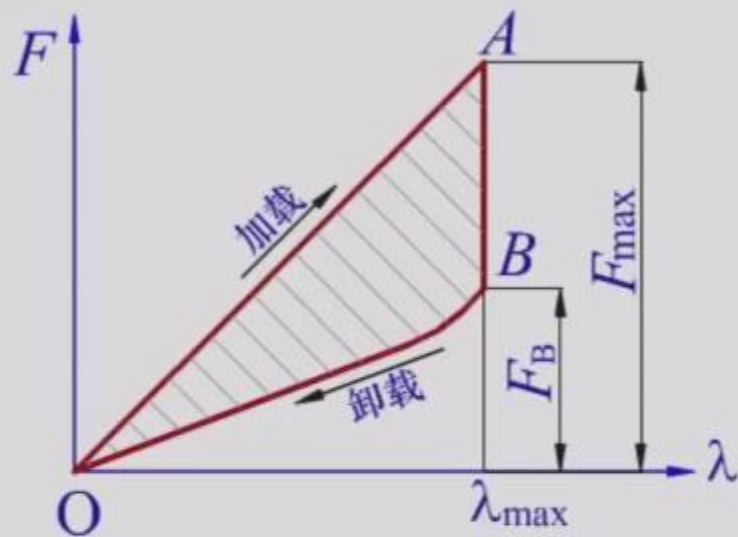
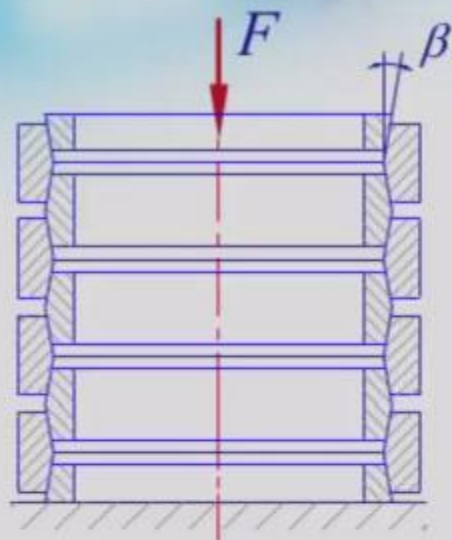
碟形弹簧



碟形弹簧是由用薄钢板冲压而成的无底碟形弹簧片构成。使用中将若干碟形弹簧片组合起来，装在导杆上或导套中工作。在轴向力 F 作用下，弹簧片的 α 角将减小，从而产生轴向变形。

由于随着 α 角的变化弹簧的刚度也变化，因此，载荷与变形不再是线性关系，但工程应用中常近似采用线性关系。这种弹簧在工作过程中有能量消耗，加载与卸载特性曲线不重合，因此缓冲减振能力强。

碟性弹簧常用在空间尺寸小，外载荷较大的缓冲减震装置中。



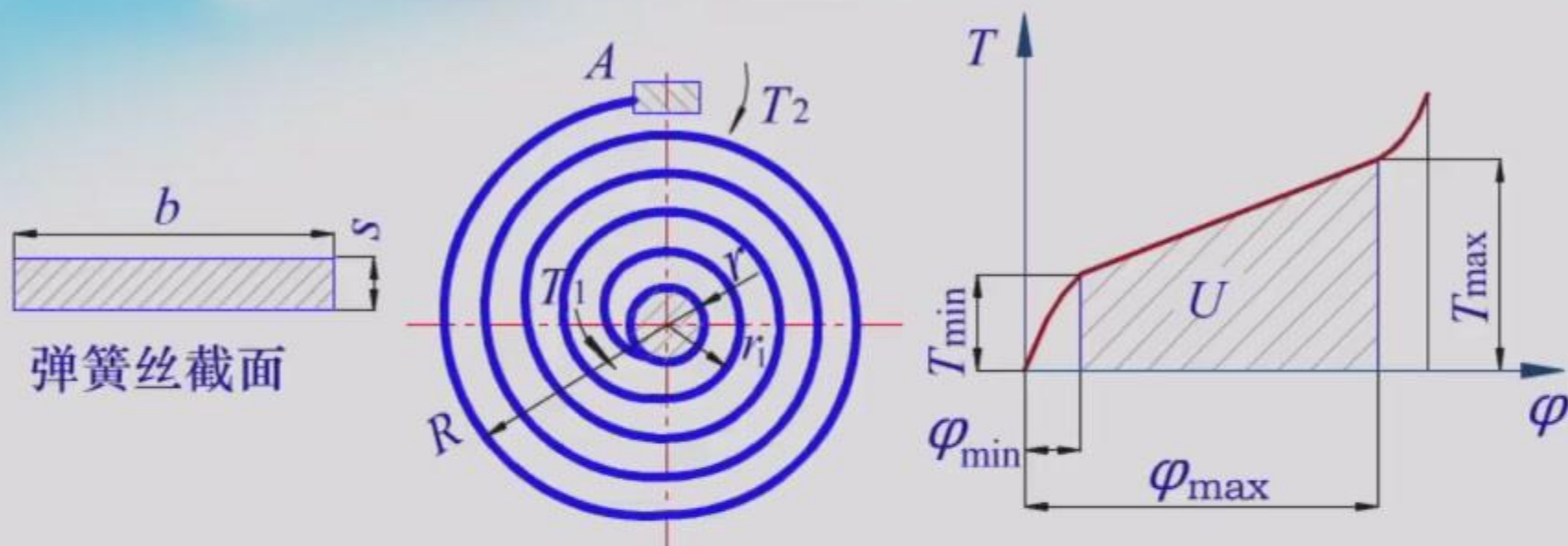
环形弹簧是由若干个带锥面的内外圆环组合而成的一种压缩弹簧。在载荷作用下，内外环的接触面间将产生很大的法向压力，使内环直径减小，外环直径增大，从而使弹簧产生轴向变形。当外力卸去后，由于环的锥角 β 大于摩擦角，弹簧在弹性内力的作用下而恢复原来尺寸。

环形弹簧工作时内外环接触面上有很大的摩擦力，工作中要因克服摩擦力而消耗很多能量。所以加载过程和卸载过程的特性曲线不重合，两段曲线所围的面积代表弹簧的内摩擦功。

环形弹簧是一种强力弹簧，具有很强的缓冲吸振作用。



平面涡卷弹簧



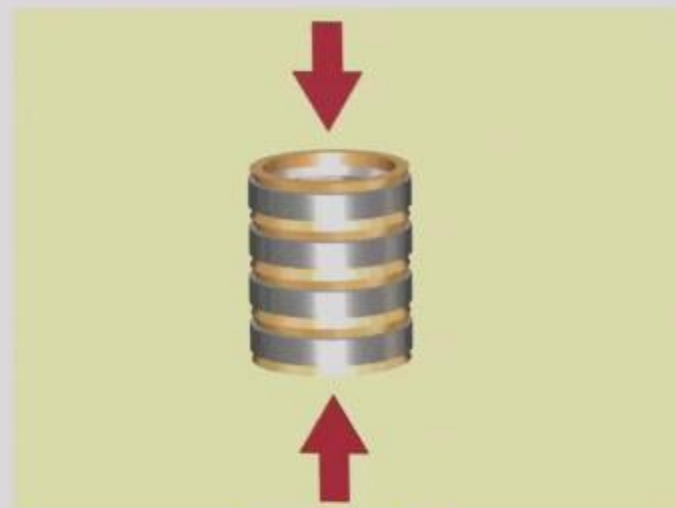
平面涡卷弹簧也即发条弹簧，主要用作仪表机构的发条及武器的发射弹簧。涡簧所受的外载荷是扭矩，但弹簧丝的每一截面都受着相同的弯矩。涡簧由于结构上的原因，特性曲线两端不是直线而是曲线。

在应用时，弹簧的外端固定在活动构件上，内端固定在心轴上。涡卷弹簧通常用作仪表机构的发条及武器的发射弹簧，其主要作用是积蓄能量，带动活动构件运动，完成机构所需要的动作。

其它类型弹簧简介



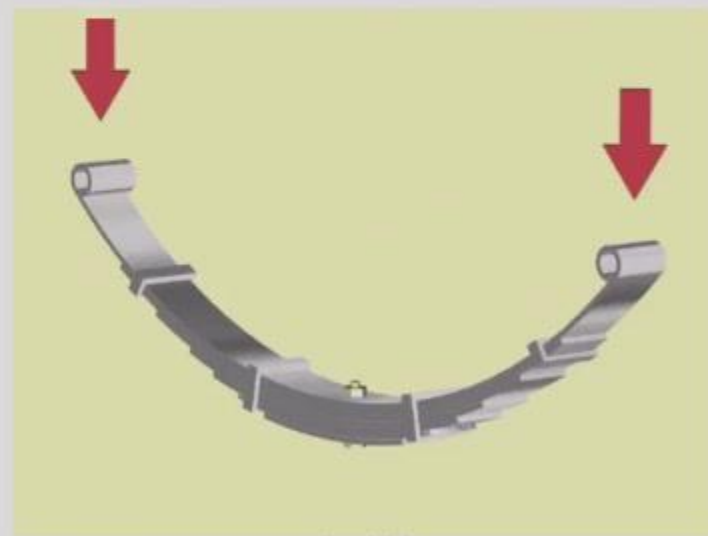
碟形弹簧



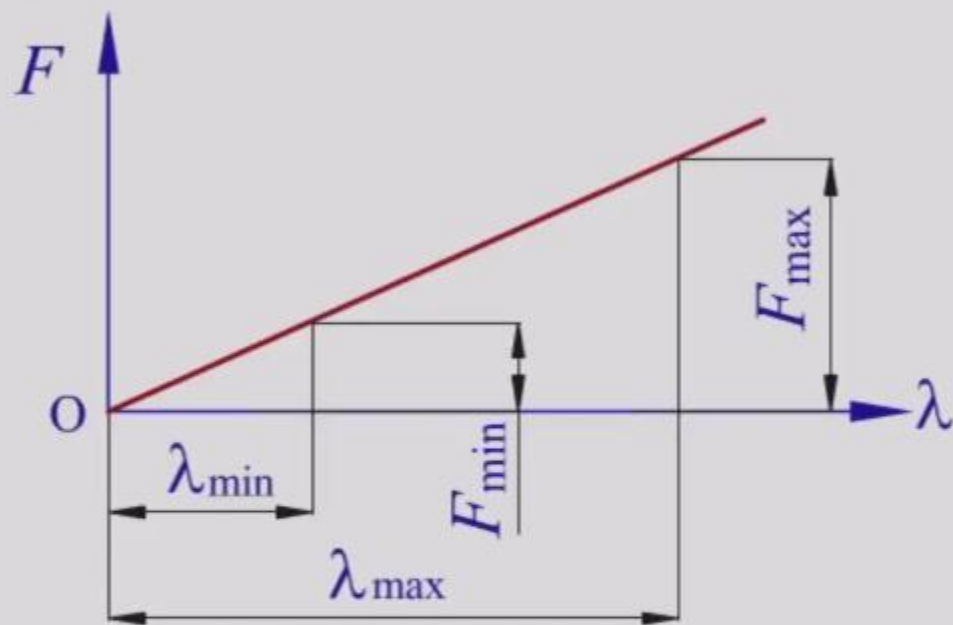
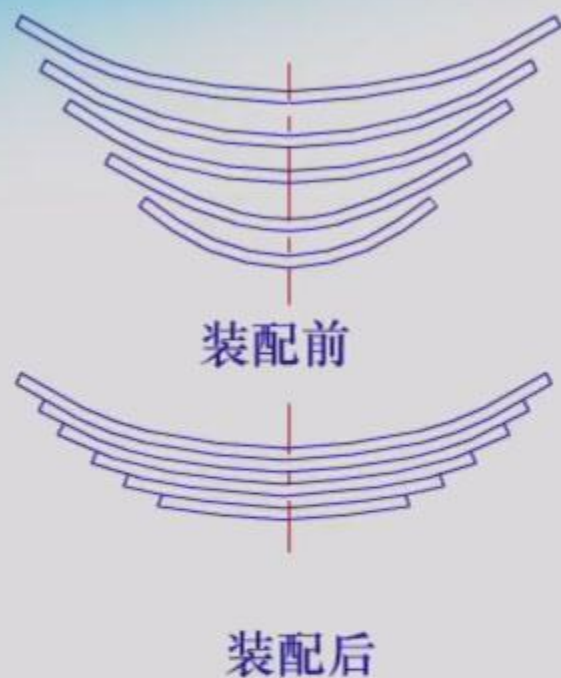
环形弹簧



涡卷弹簧



板簧



板簧一般是由若干片长度不等、曲率不同的弹簧钢板重叠起来，并加装弹簧夹等而组成。板簧受力后，产生弯曲变形，其力与变形成正比。但由于板与板之间在工作时有摩擦力，所以加载与卸载特性线不重合。板簧多用于车辆的悬挂装置等。