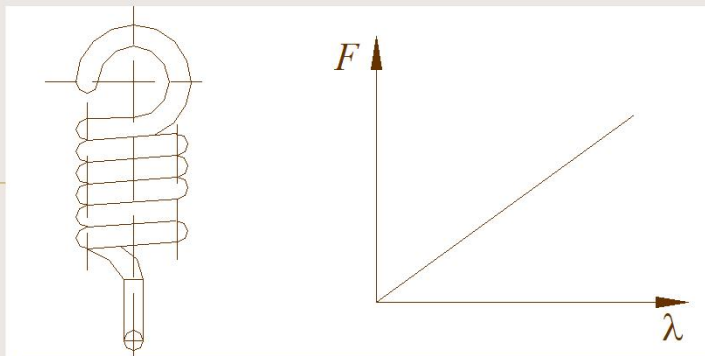
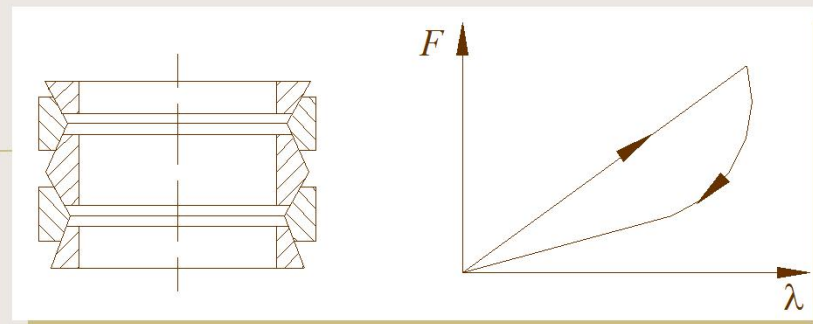


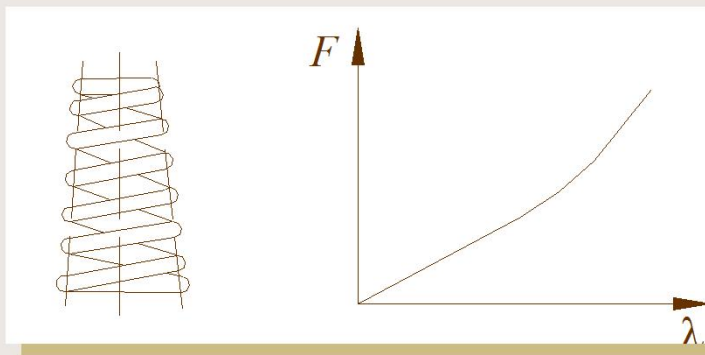
圆柱螺旋弹簧



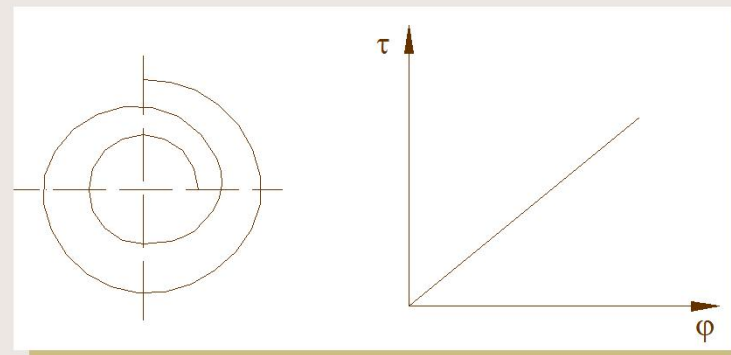
环形弹簧



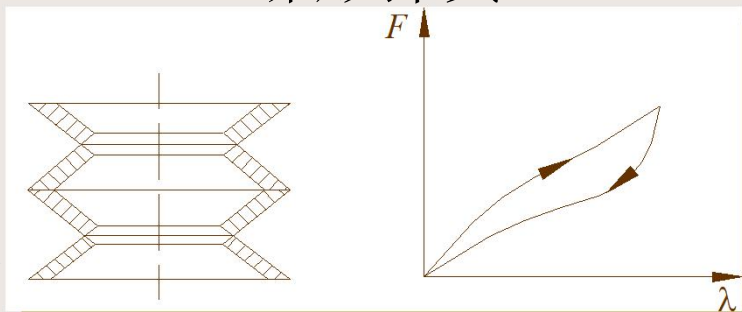
圆锥螺旋弹簧



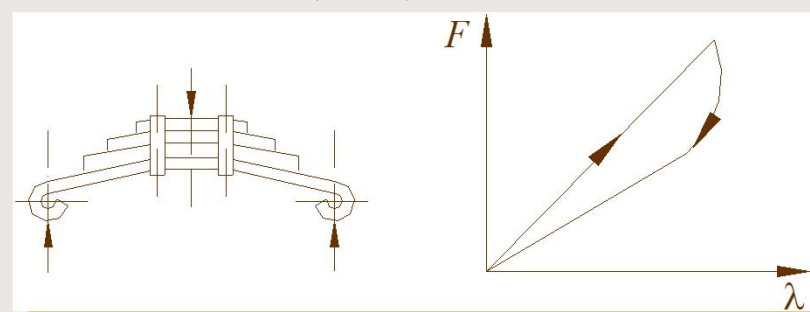
盘弹簧

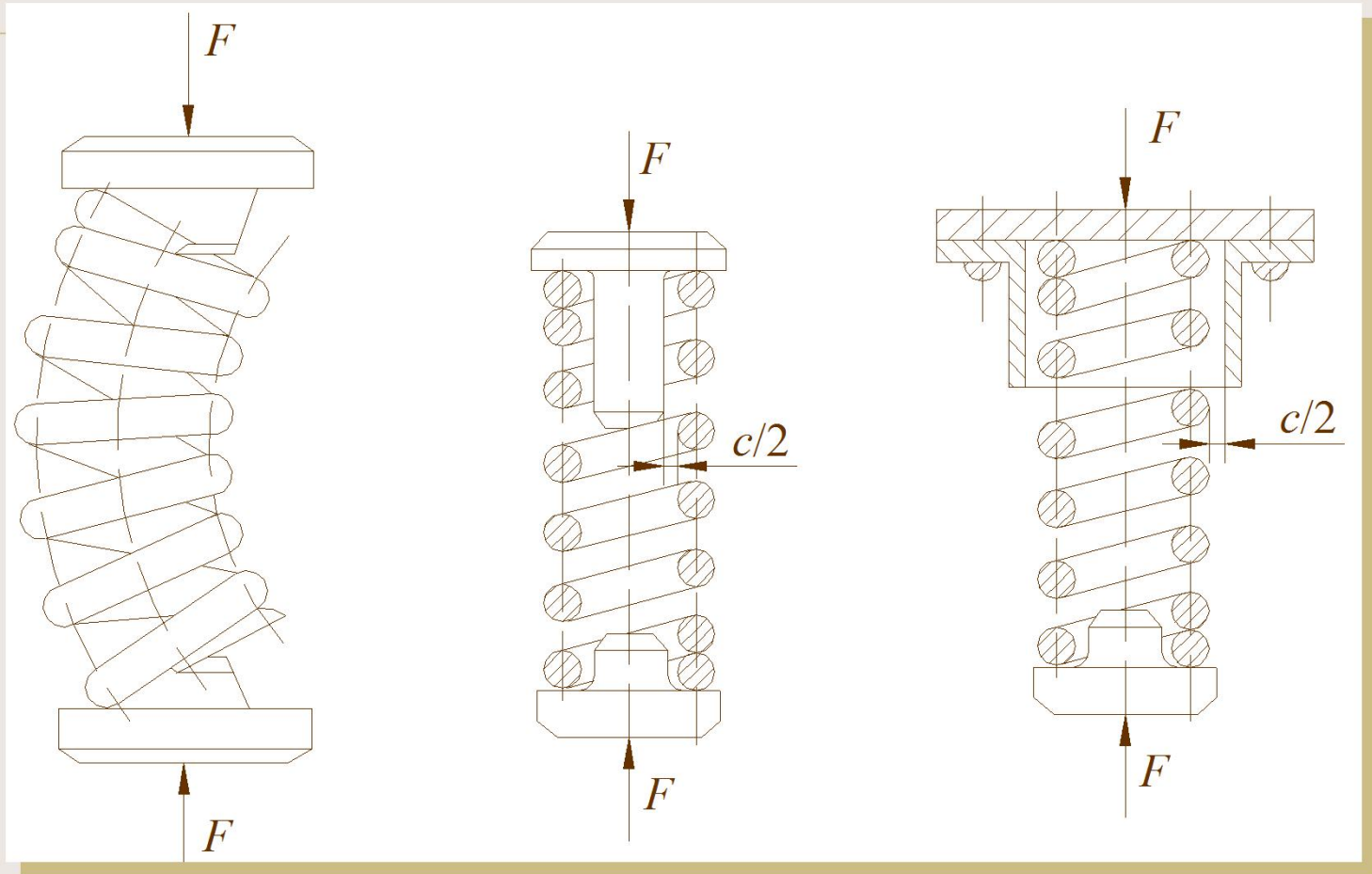


碟形弹簧



板弹簧





第11章 弹 簧

§ 11—1 概 述

一、弹簧的功用

- (1) 控制机构的位置和运动
- (2) 缓冲及吸振
- (3) 储存能量
- (4) 测量力和力矩

二、弹簧的类型

按照受力性质不同可分为：压缩弹簧、拉伸弹簧、扭转弹簧和弯曲弹簧

按外形不同又可分为：螺旋弹簧、碟形簧、环形簧、盘弹簧和板簧

按照材料不同可分为：金属和非金属

三、弹簧设计的基本概念

1、弹簧特性线和刚度

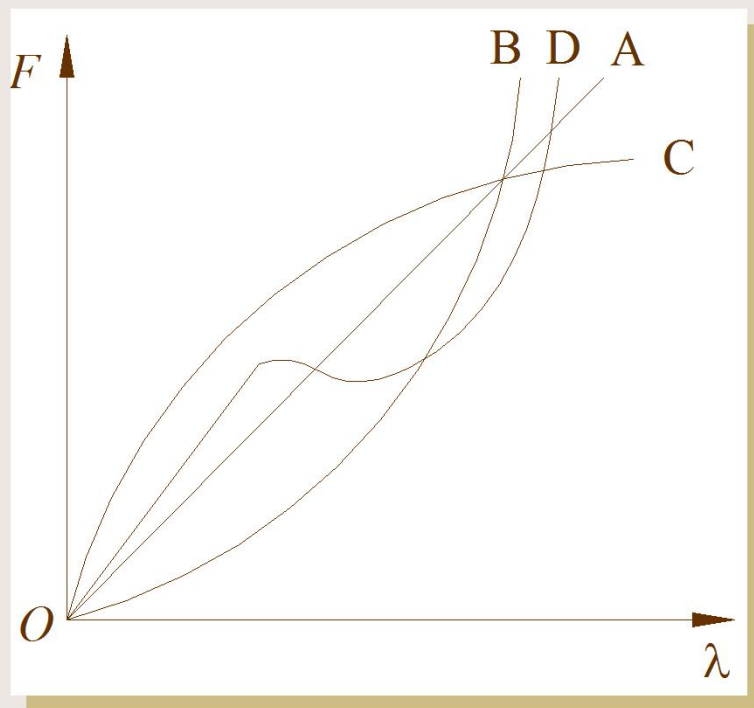
弹簧特性线——表示弹簧载何与变形量之间的关系曲线
弹簧的刚度——弹簧的载荷变化量与变形变化量之比，
以 k 表示， k 越大弹簧越硬

拉压弹簧 $k = \frac{dF}{d\lambda}$

扭转弹簧 $k_{\varphi} = \frac{dT}{d\varphi}$

弹簧刚度为特性线上
某一点的斜率

弹簧特性线呈直线的，
其刚度为常数，称为定刚度
弹簧；当特性线呈折线或曲
线时，其刚度是变化的，称
为变刚度弹簧。



常见弹簧的种类及特性曲线表10-1

2、变形能

加载过程中弹簧所吸收的能量称为变形能

对于拉、压弹簧

$$U = \int_0^{\lambda} F(\lambda) d\lambda$$

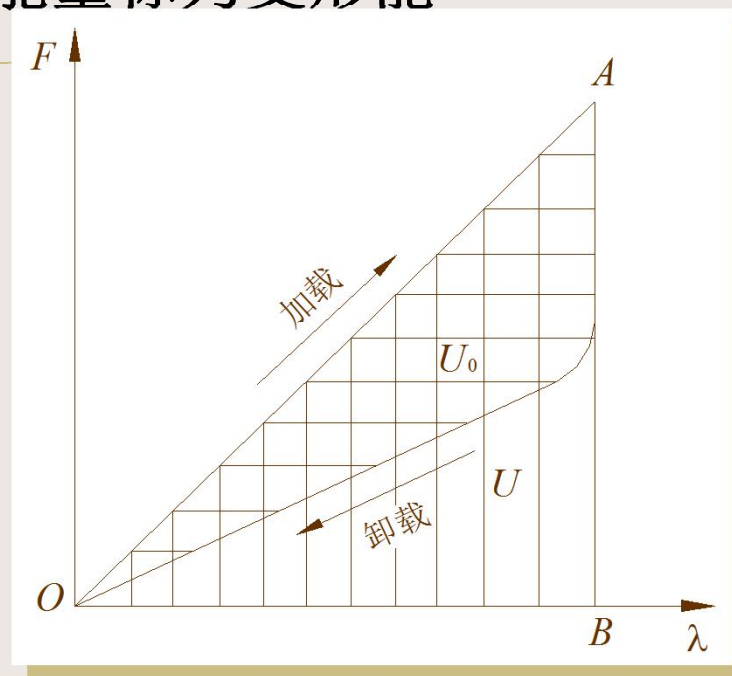
对于扭转弹簧

$$U = \int_0^{\varphi} T(\varphi) d\varphi$$

当特性线为直线时

$$U = \frac{1}{2} F\lambda = \frac{1}{2} k\lambda^2$$

$$U = \frac{1}{2} T\varphi = \frac{1}{2} k_{\varphi}\varphi^2$$



弹簧工作过程中有阻尼时，加载与卸载特性线不重合，加载与卸载特性线所包围的面积即代表消耗的能量 U_0 ， U_0 越大，说明弹簧的吸振能力越强。 U_0 与 U 之比值称为阻尼系数 k

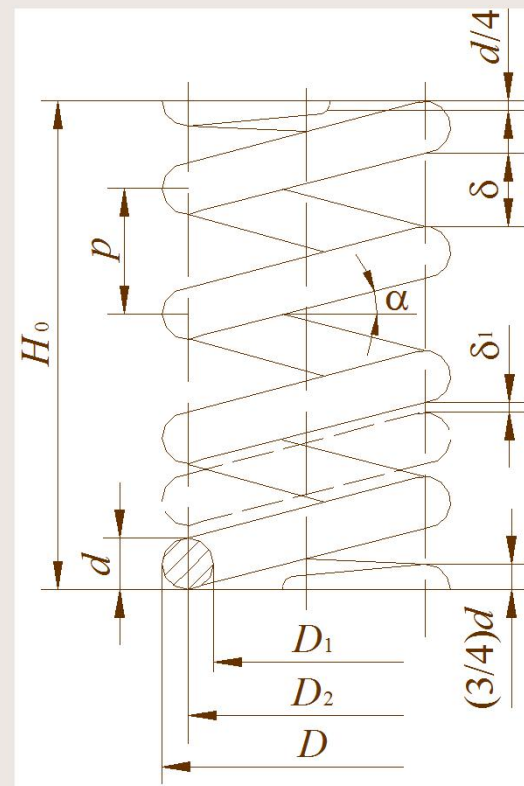
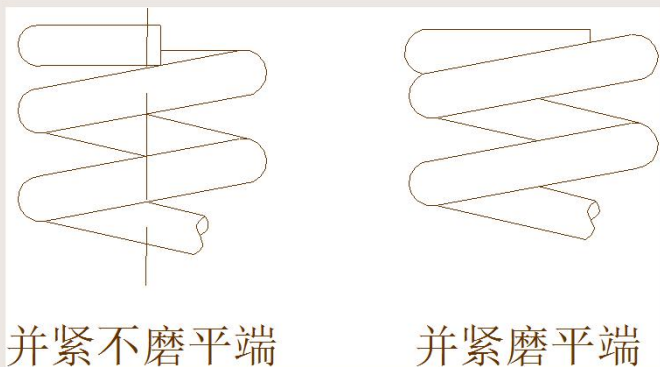
环形弹簧、叠合碟形弹簧、多层板弹簧就是利用弹簧片之间摩擦把动能转化为热能，用做吸振弹簧

§ 11—2 圆柱螺旋弹簧的结构、制造及材料

一、圆柱螺旋弹簧的结构

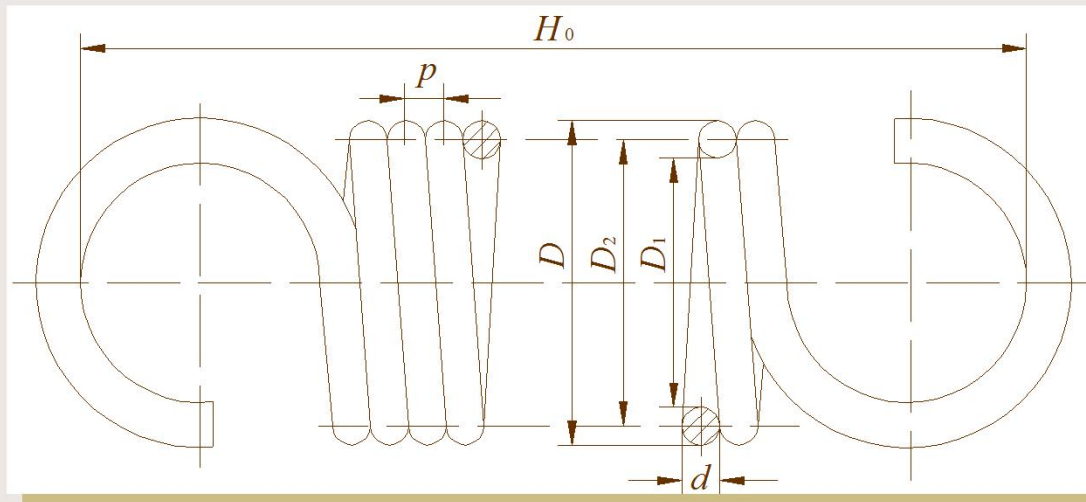
1、压缩弹簧

弹簧两端的端面圈与邻圈并紧，不参与弹簧变形，只起支承的作用，俗称死圈。



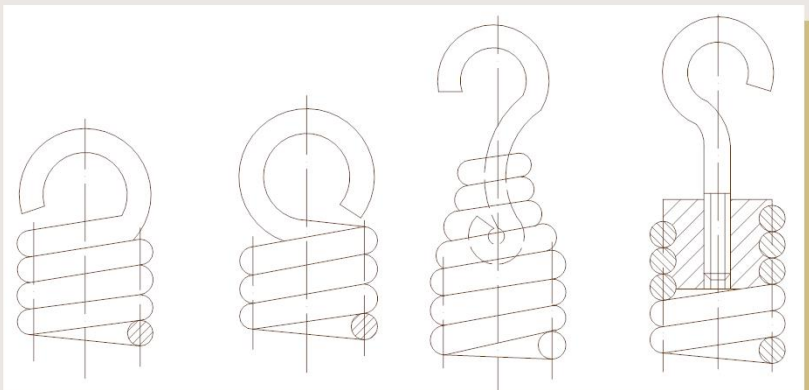
2、拉伸弹簧

如图，圆柱螺旋拉伸弹簧不受外力的自由状态，此时弹簧各圈应互相并拢。拉伸弹簧分无初拉力和有初拉力两种。



拉伸弹簧的端部结构形式

半圆
圆形
可转钩
可调式



具体端部结构及代号见p337表10-9

二、圆柱螺旋弹簧的制造p330

弹簧的卷制方法有冷卷法和热卷法

当簧丝直径 $d < 8 \sim 10$ 用冷卷法，直径大的用热卷法

冷卷下的弹簧多用冷拉，优质碳素弹簧钢丝，预先热处理，卷制后低温回火

热卷下的弹簧必须热处理

重要的弹簧必须经表面处理：

强压和喷丸

三、圆柱螺旋弹簧的材料及许用应力

1、弹簧的材料p328

要求弹簧材料应具有高的弹性极限和疲劳极限，足够的韧性和塑性，良好的热处理性能。

常用的弹簧材料有：碳素弹簧钢（如60、75、65Mn等）、硅锰弹簧钢（如60Si2MnA）、铬钒弹簧钢（如50Cr-VA）、不锈钢（如1Cr18Ni9）及青铜（如QBe2）等，常见弹簧材料见表10—3。

（p326）

2、弹簧的许用应力

弹簧材料的许用应力与弹簧的受载循环次数有关

I类——受循环载荷次数 N 在 10^6 以上

II类——受循环载荷次数 N 在 $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^6$ 范围内

III类——受循环载荷次数 N 在 1×10^3 以下

弹簧的许用应力见表10—6

§ 11—3 圆柱螺旋压缩（拉伸）弹簧的设计计算

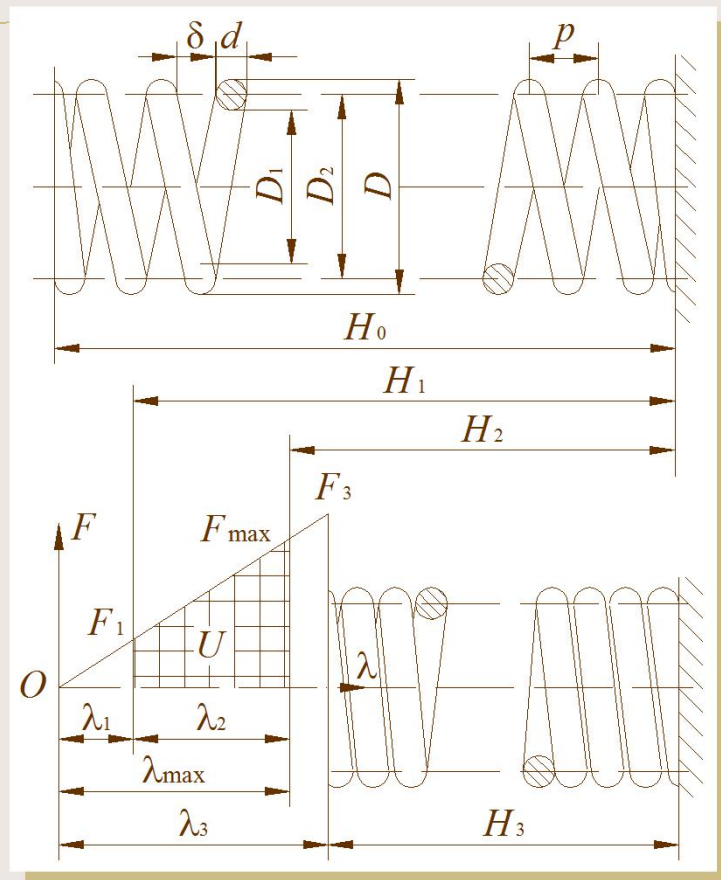
一、弹簧特性线

弹簧工作应在弹性极限范围内，
此时载荷和变形成直线关系

预紧力 F_1 称为弹簧的最小载荷，安装时预加的。 F_{\max} 为弹簧所承受的**最大工作载荷**，此时，弹簧高度压缩到 H_2 ，相应变形为 λ_{\max} ，此时刻弹簧各圈之间仍应保留 δ_1 的间隙，欲称余隙。

F_3 为弹簧的**极限载荷**。

λ_{\max} 与 λ_1 之差或 H_2 与 H_1 之差，称为弹簧的工作行程 λ_0



二、基本参数和设计公式

圆柱螺旋弹簧的主要参数有：

弹簧丝直径 d 、弹簧圈外径 D 、内径 D_1 、中径 D_2 、弹簧节距 p 和螺旋升角 α 、弹簧指数 C （旋绕比）

基本几何尺寸p331表10-7

弹簧丝直径 d 、中径 D_2

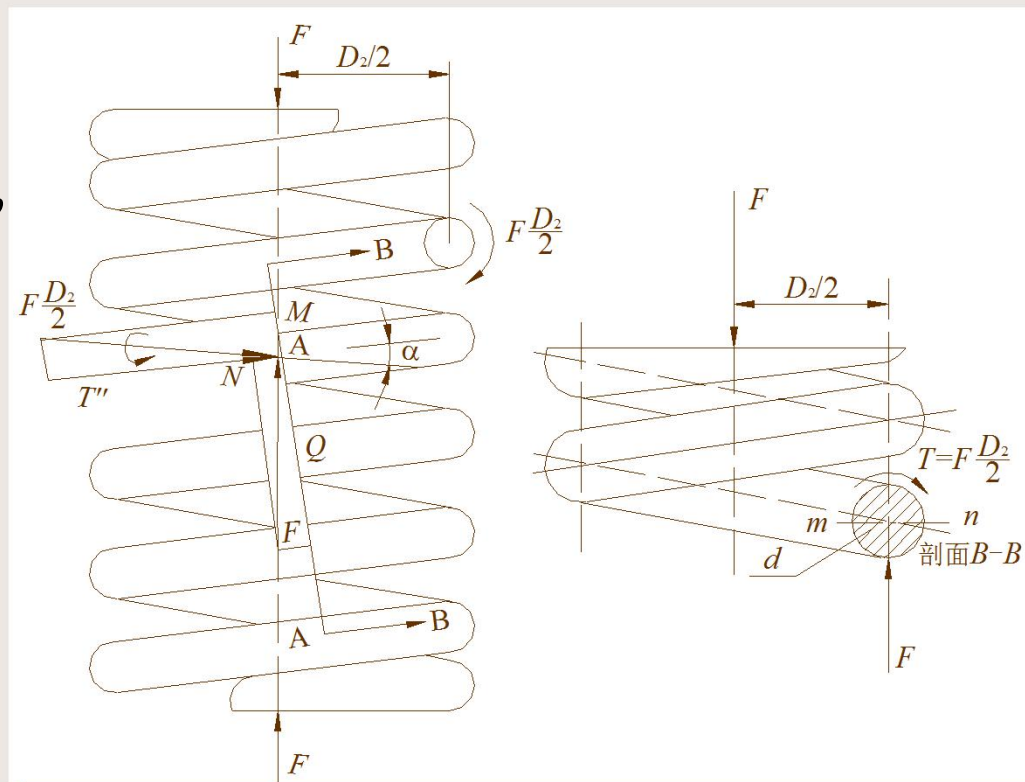
常用值p329

$$C = \frac{D_2}{d}$$

三、圆柱螺旋拉压弹簧的强度计算

1、弹簧受力

当压缩弹簧承受轴向载荷 F 的作用时，钢丝剖面A-A上作用着**横向力 F 和扭矩 T** ，A-A剖面呈椭圆形，现取垂直于钢丝轴线的剖面B-B近似代替A-A。



2、弹簧应力

压缩弹簧最大切应力

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_T} + \frac{F}{A} = K \frac{8FD_2}{\pi d^3}$$

K ——曲度系数

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \quad C \text{——旋绕比取} 5 \sim 10$$

设计公式 $d = 1.6 \sqrt{\frac{KFC}{[\tau]}}$ C 太大太小的利弊

四、弹簧的刚度计算 G ——切变模量表10-3

确定弹簧丝的有效圈数

1、弹簧的变形

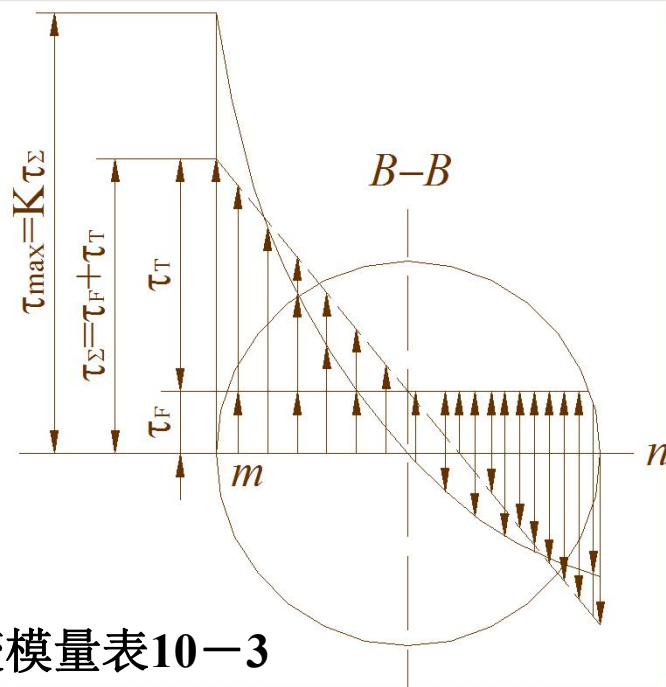
由材力中圆柱螺旋弹簧的变形量公式

$$\lambda = \frac{8FD_2^3 n}{Gd^4} = \frac{8FC^3 n}{Gd}$$

2、弹簧刚度和圈数

$$k = \frac{F}{\lambda} = \frac{Gd}{8C^3 n} \quad n = \frac{G\lambda d}{8FC^3} = \frac{G\lambda d^4}{8FD_2^3}$$

对于拉伸弹簧总圈数 $n_1 > 20$ 时圆整为整数圈, $n_1 < 20$ 圆整为 $1/2$ 圈
对于压缩弹簧 n_1 的尾数宜取 $1/4$, $1/2$ 或整数圈, 常用 $1/2$, 弹簧的工作圈数 $n \geq 2$, 才能保证弹簧具有稳定的性能



3、弹簧的稳定性验算

压缩弹簧的自由高度 H_0 与中径 D_2 之比称为长细比（高径比），以 b 表示

$$b = \frac{H_0}{D_2}$$

当弹簧两端固定时， $b < 5.3$ ；当弹簧一端固定，一端可转时， $b < 3.7$ ；当弹簧两端都可转动时， $b < 2.6$ 。

若长细比不满足要求，结构上又不允许加装导杆或导套，则必须进行稳定性计算，计算其临界稳定载荷

$$F_c = C_B k H_0$$

F_c ——临界稳定载荷

C_B ——不稳定系数

k ——弹簧刚度

为保证弹簧的稳定性必须满足 $F_c \geq (2 \sim 2.5) F_{\max}$

五、圆柱螺旋弹簧的设计方法

设计条件：设计时一般给出最大载荷 F_{\max} 和所要求的变形量及结构要求

设计方法：设计时一般根据条件首先选标准弹簧，若选不出合适的可自行设计，按载荷条件和工作要求选择簧丝材料，确定许用切应力

通常用试算法先假定簧丝直径 d 和初选旋绕比 C 进行计算把主要参数（ d ，中径 D_2 、有效圈数 n 等）尽量圆整到符合标准弹簧。初步确定主要参数后，再计算其他几何参数如内径 D_1 、外径 D 、自由高度 H_0 等，必要时进行疲劳强度、静强度和稳定性等验算

p337例题10-1

六、受变载荷的圆柱螺旋弹簧的强度计算

承受变载荷，作用次数 $N > 10^3$ 圆柱螺旋弹簧要进行疲劳强度验算

受稳定（随时间作周期性变化，而应力大多保持为常数）变应力的弹簧，其应力为

$$\tau_{\max} = K \frac{8 D_2}{\pi d^3} F_{\max} \quad \tau_{\min} = K \frac{8 D_2}{\pi d^3} F_{\min}$$

实际工作情况，工作应力多数为最小应力（安装应力）保持不变的循环变应力

$$s_c = \frac{\tau_0 + 0.75 \tau_{\min}}{\tau_{\max}} \geq [s]_F$$

τ_0 根据 N 由表10-10查

$[s]_F$ 根据弹簧实验和设计计算数据精确度确定

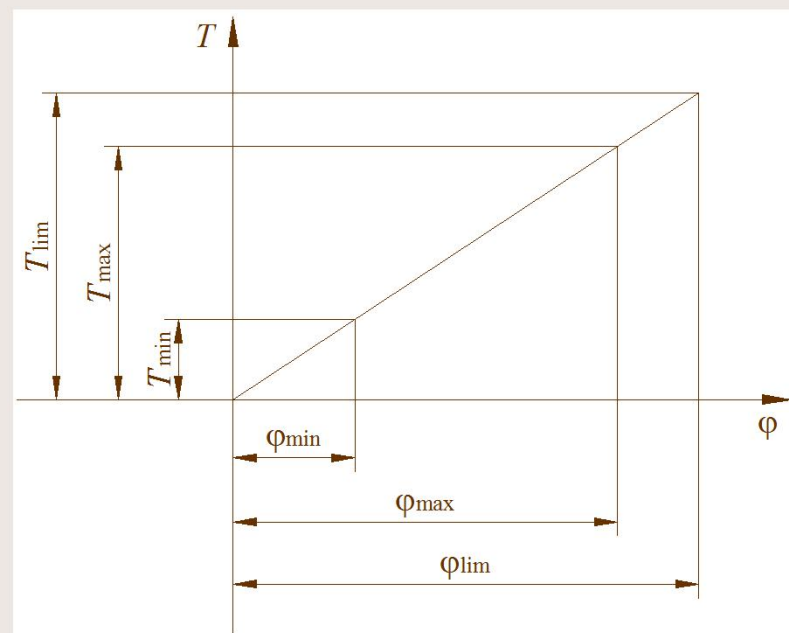
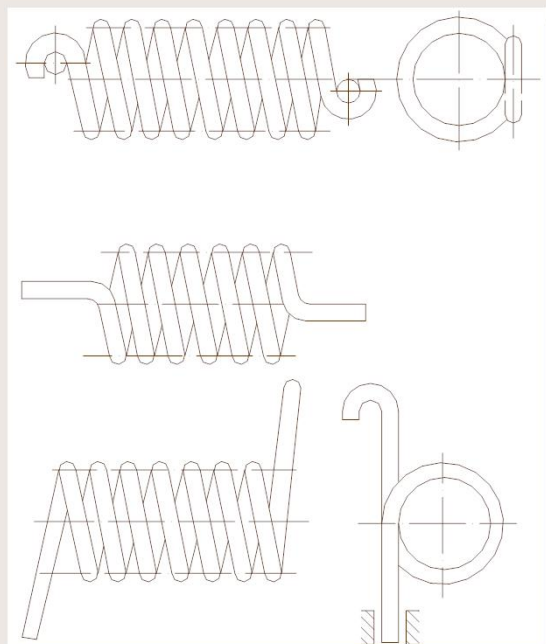
高时取1.3~1.7;低时取1.8~2.2

静强度安全系数计算公式为

$$s'_c = \frac{\tau_s}{\tau_{\max}} \geq [s]_s \quad [s]_s \text{ 与 } [s]_F \text{ 相同}$$

§ 11—4 圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算

一、圆柱螺旋扭转弹簧的结构及特性曲线



扭转弹簧的形状如左图，呈螺旋形，两端带有杆臂或挂钩，自由状态下，各弹簧圈间留有少量间隙。扭转弹簧的特性线见右图。

二、圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算

圆柱螺旋扭转弹簧钢丝剖面中的应力，可近似地看作弯曲梁进行计算

$$\sigma_b = \frac{K' M_{\max}}{W} = \frac{K' T_{\max}}{0.1d^3} \leq [\sigma]_b$$

$[\sigma]_b$ 许用弯曲应力，表10-6查得

扭转弹簧曲度系数 K' $K' = \frac{4C-1}{4C-4}$ 常取 $C = 4 \sim 8$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{K' T_{\max}}{0.1[\sigma]_b}}$$

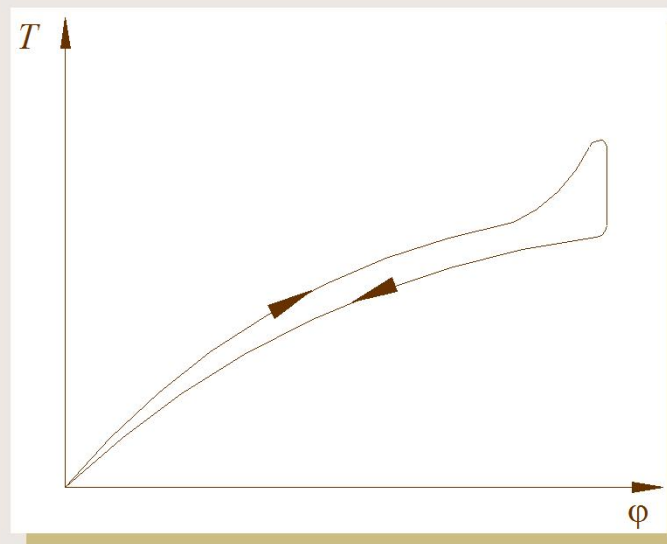
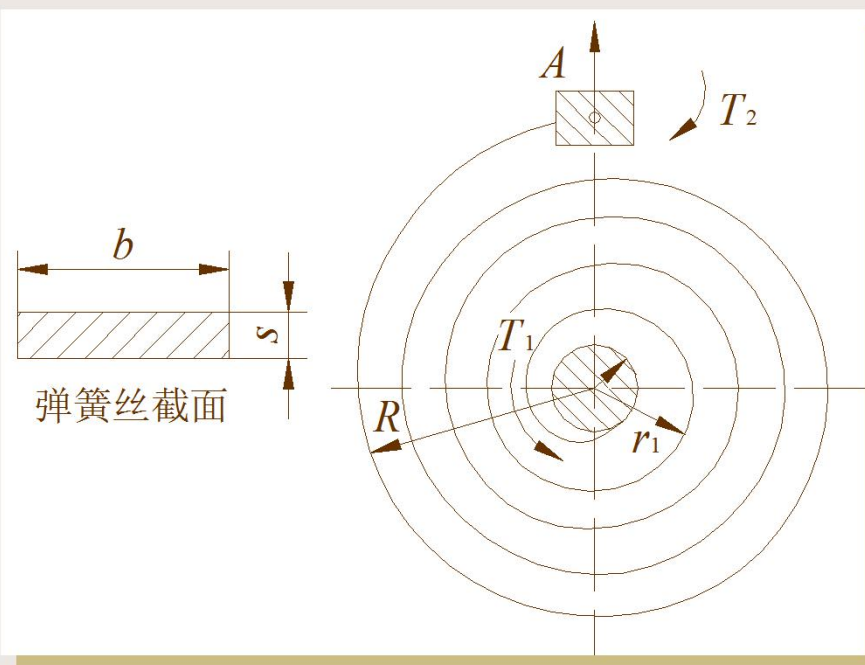
最大扭转角 $\varphi_{\max} = \frac{T_{\max} L}{EI} = \frac{\pi T_{\max} D_2 n}{EI}$ $I = \frac{\pi d^4}{64}$

扭转刚度 $k_{\varphi} = \frac{T_{\max}}{\varphi_{\max}} = \frac{EI}{\pi D_2 n}$

工作圈数 $n = \frac{EI \varphi_{\max}}{\pi T_{\max} D_2} = \frac{EI}{\pi k_{\varphi} D_2}$

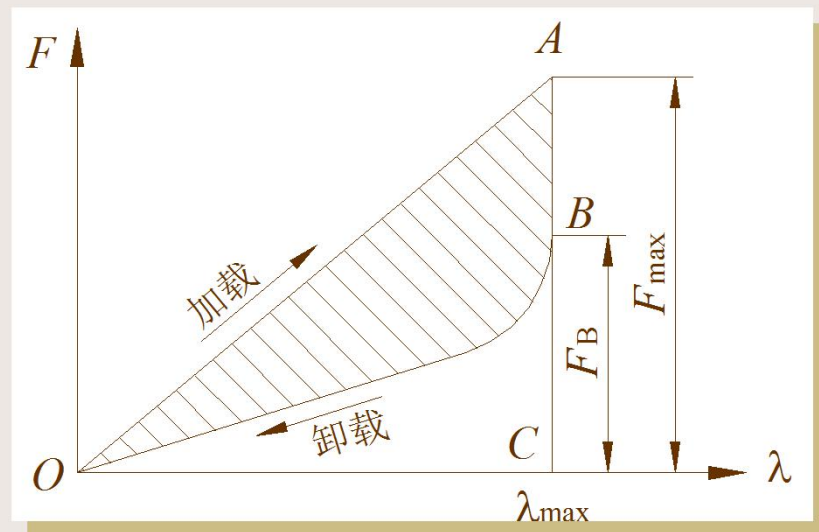
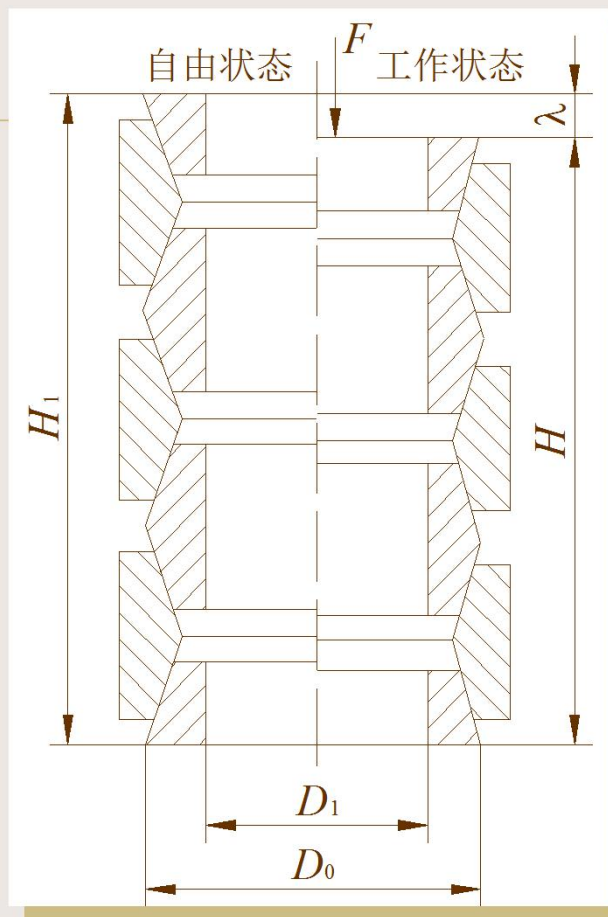
§ 11—5 其它类型弹簧简介

一、平面蜗卷形盘簧



平面蜗卷形盘簧又称蜗卷簧，它的结构是按阿基米德螺线形成的，如左图。平面蜗卷形盘簧特性曲线如右图

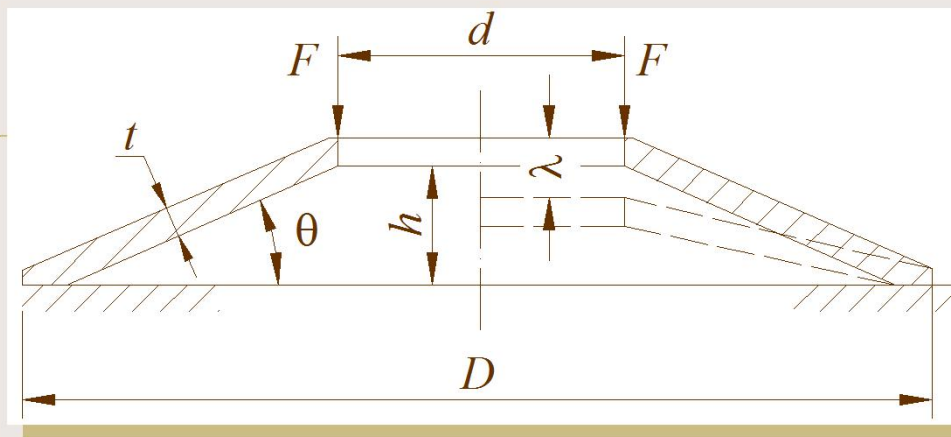
二、环形弹簧



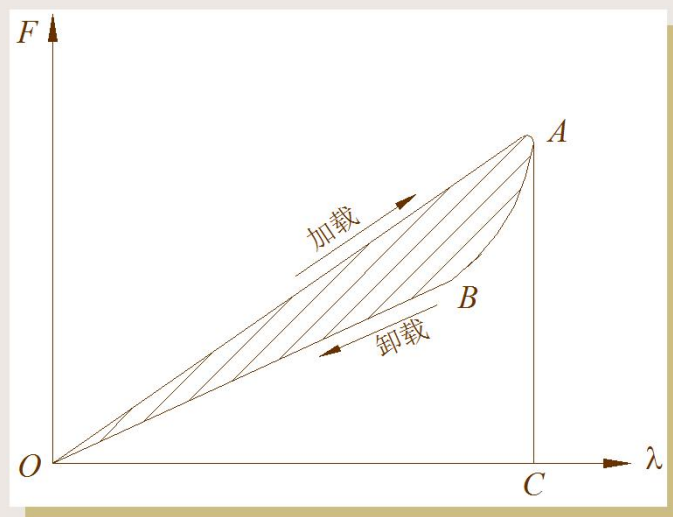
环形弹簧的特性曲线图

环形弹簧是由若干具有配合锥面的内、外圆环相互叠合而组成的一种压缩弹簧，如左图。

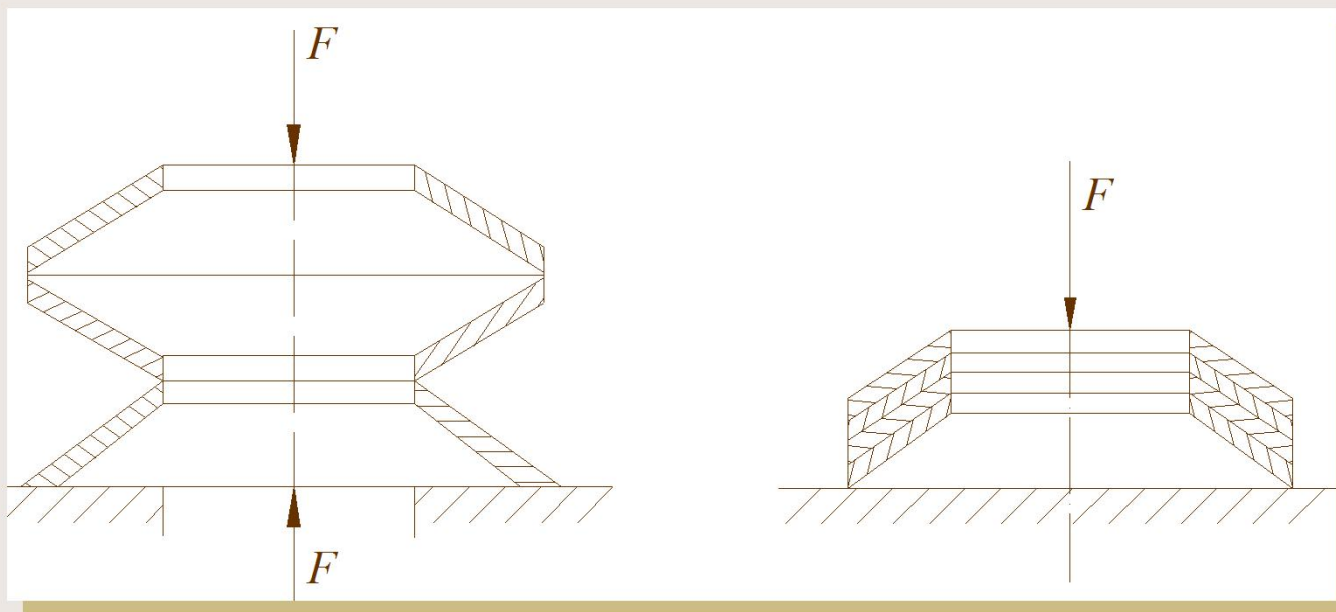
三、碟形弹簧



碟形弹簧呈截锥形碟形，只能承受轴向载荷，如上图。碟形弹簧的特性曲线如下图



碟形弹簧一般成组使用。碟形弹簧的组合方式有两种，如左图——对合式碟形弹簧，右图——叠合式碟形弹簧



橡胶弹簧、空气弹簧（自学）