

1. 计算

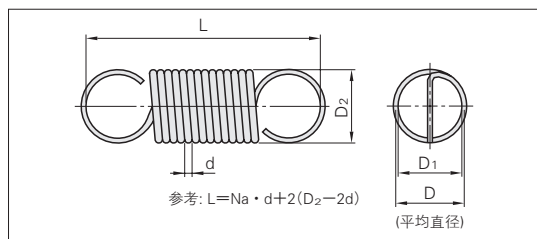
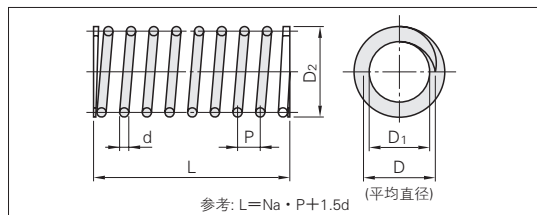
1.1 弹簧设计公式中使用的符号

弹簧设计公式中使用的符号如表1所示。

表1 符号的意义

符号	符号的意义	单位
d	材料的直径	mm
D_1	螺旋内径	mm
D_2	螺旋外径	mm
D	螺旋平均直径 = $\frac{D_1+D_2}{2}$	mm
N_i	总卷数	—
N_a	有效卷数	—
L	自由高度(长度)	mm
H_s	压紧高度	mm
p	节距	mm
P_i	初始张力	N(kgf)
c	弹簧指数 $c = \frac{D}{d}$	—
G	剪切弹性模量	N/mm ² (kgf/mm ²)
P	施加在弹簧上的负载	N(kgf)
δ	弹簧的挠曲量	mm
k	弹簧常数	N/mm(kgf/mm)
τ_o	扭曲应力	N/mm ² (kgf/mm ²)
τ	扭曲修正应力	N/mm ² (kgf/mm ²)
τ_i	初始应力	N/mm ² (kgf/mm ²)
χ	应力修正系数	—
f	振动数	Hz
U	弹簧蓄积的能量	N·mm(kgf·mm)
ω	单位体积的材料重量	N/mm ³ (kgf/mm ³)
W	弹簧运动部分的重量	N(kgf)
g	重力加速度 (1)	mm/s ²

注 (1) 计量法将重力加速度定为9806.65mm/s²。



1.2 弹簧设计使用的基本公式

1.2.1 压缩弹簧与没有初始张力的拉伸弹簧时

$$\delta = \frac{8N_a D^3 P}{Gd^4} \dots\dots(1) \quad \tau = \chi \tau_o \dots\dots(5)$$

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{Gd^4}{8N_a D^3} \dots\dots(2) \quad d = \sqrt[3]{\frac{8DP}{\pi \tau_o}} = \sqrt[3]{\frac{8\chi DP}{\pi \tau}} \dots\dots(6)$$

$$\tau_o = \frac{8DP}{\pi d^3} \dots\dots(3) \quad N_a = \frac{Gd^4 \delta}{8D^3 P} = \frac{Gd^4}{8D^3 k} \dots\dots(7)$$

$$\tau_o = \frac{Gd \delta}{\pi N_a D^2} \dots\dots(4) \quad U = \frac{P \delta}{2} = \frac{k \delta^2}{2} \dots\dots(8)$$

1.2.2 有初始张力的拉伸弹簧时 (但 $P > P_i$)

$$\delta = \frac{8N_a D^3 (P - P_i)}{Gd^4} \dots\dots(1') \quad \tau = \chi \tau_o \dots\dots(5')$$

$$k = \frac{P - P_i}{\delta} = \frac{Gd^4}{8N_a D^3} \dots\dots(2') \quad d = \sqrt[3]{\frac{8DP}{\pi \tau_o}} = \sqrt[3]{\frac{8\chi DP}{\pi \tau}} \dots\dots(6')$$

$$\tau_o = \frac{8DP}{\pi d^3} \dots\dots(3') \quad N_a = \frac{Gd^4 \delta}{8D^3 (P - P_i)} \dots\dots(7')$$

$$\tau_o = \frac{Gd \delta}{\pi N_a D^2} + \tau_i \dots\dots(4') \quad U = \frac{(P + P_i) \delta}{2} \dots\dots(8')$$

1.3 设计弹簧时应考虑的事项

1.3.1 剪切弹性模量 弹簧设计使用的剪切弹性模量G值依据表2较为理想。

表2 剪切弹性模量 (G值)

材料	G值 N/mm ² (kgf/mm ²)	符号
弹簧钢	78×10^3 (8×10^3)	SUP6, 7, 9, 9A, 10, 11A, 12, 13
硬钢丝	78×10^3 (8×10^3)	SW-B, SW-C
钢琴丝	78×10^3 (8×10^3)	SWP
油回火钢丝	78×10^3 (8×10^3)	SWO, SWO-V, SWOC-V, SWOSC-V, SWOSM, SWOSC-B
不锈钢丝	SUS 302	SUS 302
	SUS 304	SUS 304
	SUS 304N1	SUS 304N1
	SUS 316	SUS 316
	SUS 631 J1	SUS 631 J1

1.3.2 有效圈数 弹簧设计使用的有效圈数取决于下式。

(1) 压缩弹簧时

$$N_a = N_i - (X_1 + X_2)$$

式中, X_1, X_2 : 分别表示螺旋两端的端部磨平圈数

(a) 仅螺旋前端连接下一个自由螺旋时(相当于图2的(a)~(c))

$$X_1 = X_2 = 1$$

因此, $N_a = N_i - 2$

(b) 螺旋前端不连接下一个弹簧, 端部磨平圈数长度 $\frac{3}{4}$ 卷时(相当于图2的(e)和(f))

$$X_1 = X_2 = 0.75$$

因此, $N_a = N_i - 1.5$

(2) 拉伸弹簧时 拉伸弹簧的有效圈数取决于下式。但挂钩部除外。

$$N_a = N_i$$

1.3.3 应力修正系数

相对于弹簧指数c的应力修正系数取决于下式或图1。

$$\chi = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0.615}{c} \dots\dots(9)$$

图1 应力修正系数: χ

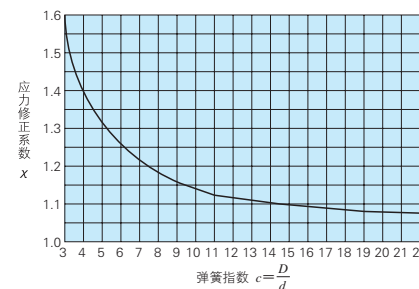
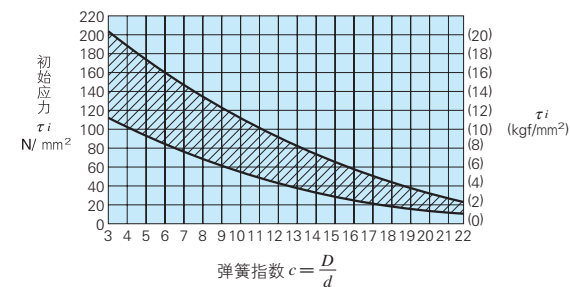


图3 初始应力: τ_i (钢丝成形压缩弹簧卷退火前的值)



- (1) 不锈钢丝时, 钢丝的初始应力减少15%。
- (2) 成形后实施低温退火时, 钢琴丝、硬钢丝等钢丝相对于上述计算值减少20~35%, 不锈钢丝相对于上述计算值减少15~25%。

参考 除了从图3读取低温退火前的初始应力值之外, 也可以通过下述经验公式进行计算。

$$\tau_i = \frac{G}{100c}$$

另外, 下面示出了用该式计算初始张力的计算公式例子。

(1) 钢琴丝与硬钢丝时 [$G = 78 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ($8 \times 10^3 \text{ kgf/mm}^2$)]

$$\text{初始应力 } \tau_i = \frac{G}{100c} \times 0.75 \text{ (0.75表示因实施低温退火而减少25\%)} \\ \text{初始张力 } P_i = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_i = \frac{Gd^4}{255D^2} \times 0.75 = \frac{229d^4}{D^2} \left\{ \frac{24d^4}{D^2} \right\}$$

(2) 不锈钢丝时 [$G = 69 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ($7 \times 10^3 \text{ kgf/mm}^2$)]

$$\text{初始应力 } \tau_i = \frac{G}{100c} \times 0.8 \text{ (0.8表示因实施低温退火而减少20\%)} \\ \text{初始张力 } P_i = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_i = \frac{Gd^4}{255D^2} \times 0.8 = \frac{216d^4}{D^2} \left\{ \frac{22d^4}{D^2} \right\}$$

1.3.4 压紧高度

弹簧的压紧高度一般由下述简算式计算。但一般说来, 订货方并不指定压缩弹簧的压紧高度。

$$H_s = (N_i - 1)d + (t_1 + t_2) \dots\dots(10)$$

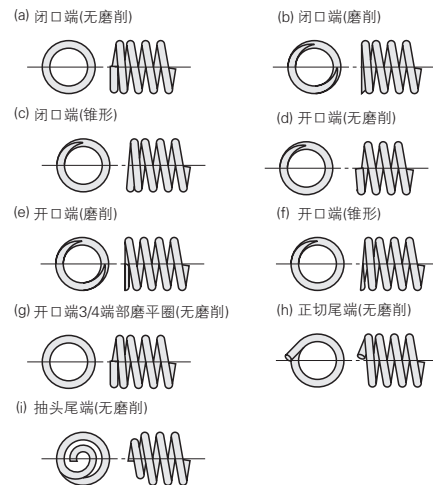
式中, $(t_1 + t_2)$: 螺旋两端部厚度之和

另外, 两端部为图2(b)、(c)、(e)与(f)所示的压缩弹簧并且必须特别指定压紧高度时, 可将由下式求出的值指定为压紧高度的最大值, 但需要注意, 有时会因弹簧的形状而大于该值。

$$H_s = N_i \times d_{\text{max}} \dots\dots(11)$$

式中, d_{max} : 取d公差最大值的直径

图2 螺旋端部形状



1.3.5 拉伸弹簧的初始张力

压紧弹簧卷的冷卷拉伸弹簧会产生初始张力 P_i 。此时的初始张力由下式计算。

$$P_i = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_i \dots\dots(12)$$

另外, 用钢琴丝、硬钢丝等钢丝成形为压紧弹簧卷, 但未进行低温退火时的初始应力 τ_i 处在图3所示的斜线范围内。但使用钢丝以外的材质并实施低温退火时, 应对从图3斜线范围内读取的初始应力值进行如下修正。

1.3.6 脉动

为了避免脉动, 必须选择弹簧固有振动频率以避免与作用在弹簧上的所有起振源振动形成共振。另外, 弹簧的固有振动频率由下式得出。

$$f = a \sqrt{\frac{kg}{W}} = a \sqrt{\frac{70d}{\pi N_a D^2} \frac{G}{\omega}} \dots\dots(13)$$

式中, $a = \frac{i}{2}$: 两端自由或固定时

$$a = \frac{2i-1}{4}: \text{一端固定另一端自由时 } i=1, 2, 3 \dots\dots$$

设钢的 $G = 78 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ($8 \times 10^3 \text{ kgf/mm}^2$)、 $W = 76.93 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^3$ ($7.85 \times 10^{-6} \text{ kgf/mm}^3$), 弹簧两端为自由或固定时, 弹簧的1次固有振动频率由下式得出。

$$f_1 = 3.56 \times 10^5 \frac{d}{N_a D^2} \dots\dots(13')$$

1.3.7 其他应考虑的事项

在弹簧的设计计算中, 也必须考虑下述事项。

- (1) 弹簧指数 弹簧指数减小会导致局部应力过大。另外, 弹簧指数较大或较小时, 加工性也成问题。因此, 热轧成形时, 弹簧指数可在4~15的范围内选择。冷轧成形时, 弹簧指数可在4~22的范围内选择。
- (2) 纵横比 为了确保有效卷数, 压缩弹簧的纵横比(自由高度与螺旋平均直径之比)可设定为0.8以上, 另外, 在考虑到端部磨平圈的情况下, 一般可在0.8~4的范围内选择。
- (3) 有效圈数 如果有效圈数为3以下, 弹簧特性则会变得不稳定, 因此应将弹簧指数设定为3以上。
- (4) 节距 节距超过0.5D时, 由于螺旋直径通常会随着挠曲量(负载)的增加而发生变化, 需要对利用基本公式求出的挠曲量与扭转应力进行修正, 因此应将节距设定为0.5D以下。一般说来, 节距利用下述简算式进行推算。

$$p = \frac{L - H_s}{N_a} + d \dots\dots(14)$$