

# 第6章 弹 簧

王 织 曹木根<sup>⊖</sup>

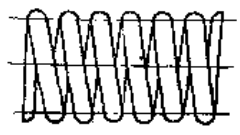
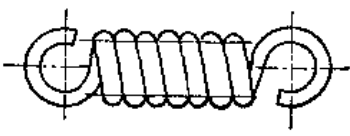
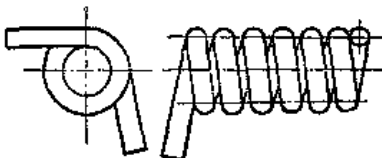
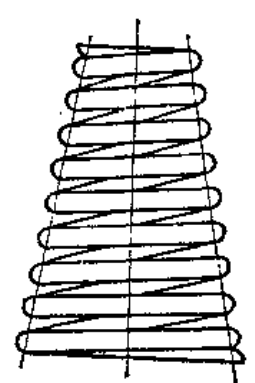
## 第1节 弹簧的种类及其应用

同样一个弹簧可以根据各种不同的出发点而有不同的名称。例如图 6-3-2 的弹簧按形状可称为截

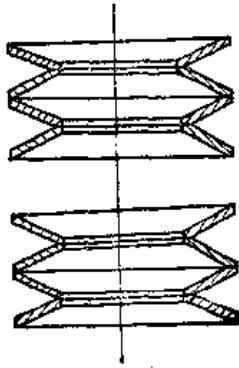
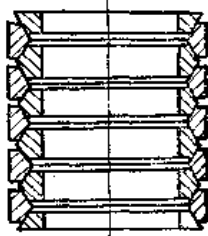
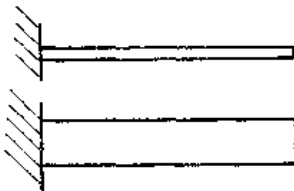
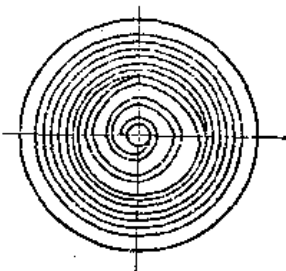
锥螺旋弹簧，按应力可称为扭转弹簧，按力的作用可称为压缩弹簧，按用途可称为缓冲弹簧，按材料可称为钢弹簧。

最常用的是按形状命名，或者按形状和应力命名，见表6-1-1。

表6-1-1 弹簧种类及其用途

弹簧名称	简 图	特 点 及 用 途
圆柱螺旋压缩弹簧		结构简单、制造容易，特性线呈直线，刚度较稳定，应用最广泛
圆柱螺旋拉伸弹簧		性能与特点与压缩弹簧相同，主要承受拉伸载荷
圆柱螺旋扭转弹簧		具有线性特性线。主要用于压紧和储能
截锥压缩弹簧		稳定性好，多用于较大载荷和减振场合

<sup>⊖</sup> 本章第1节，第2节(十二)，第4节，第5节(一)，第6节为曹木根编写，其余为王织编写。

弹簧名称	简 图	特 点 及 用 途
碟形弹簧		<p>加载与卸载的特性线不重合，在工作过程中消耗部分能量，因此缓冲和减振能力强</p> <p>可采用不同的组合方式，从而可以得到不同类型的特性线</p>
环形弹簧		<p>由钢材制成的具有圆锥面的内外环组成。在承受载荷时，圆锥面之间产生较大的摩擦力，因而减振能力强，多用于要求缓冲能力强的场合</p>
片弹簧		<p>弹簧材料厚度一般不超过4 mm。根据特定的要求，确定其形状。用于作仪表的弹性元件</p>
平面涡卷弹簧		<p>有非接触型和接触型两种，前者特性线为直线型，后者由于簧圈之间有摩擦，因而特性线为非线性</p> <p>这种弹簧圈数多，扭转角大，储存能量大，多用作压紧及仪器钟表的储能装置元件</p>

在弹簧设计计算中，起决定性作用的是弹簧的应力类型。因此，根据弹簧的主要应力不同，可进一步分成诸如拉伸弹簧、压缩弹簧、扭转弹簧等不同类型。还有根据用途不同而命名的，如用于液压

元件中的液压力圆柱螺旋弹簧，简称为液压力弹簧。螺旋弹簧材料的截面形状大部分为圆形，也有正方形、矩形和椭圆形，本手册只介绍圆形截面螺旋弹簧，其它截面只提供设计计算的基本公式。

## 第2节 圆柱螺旋弹簧

### (一) 圆柱螺旋弹簧的型式和分类

圆柱螺旋弹簧有三种型式，即压缩弹簧、拉伸弹簧和扭转弹簧。按其所承受的负荷性质分为下列三类（GB1239—76）。

负荷性质分类	负荷性质及其作用次数 $N$
I类	变负荷 $N > 10^6$ 次
II类	变负荷 $N = (10^3 \sim 10^6)$ 次及冲击负荷
III类	变负荷 $N < 10^3$ 次

### (二) 圆柱螺旋弹簧的标记方法

#### 1. 圆柱螺旋弹簧端部结构型式（表6-2-1）

表6-2-1 圆柱螺旋弹簧端部结构型式

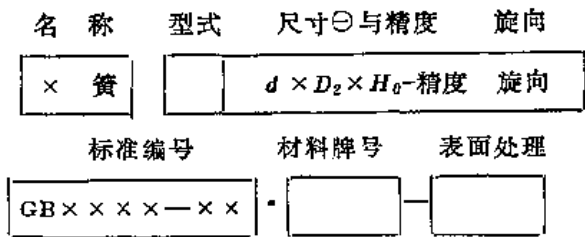
种类	端部结构型式	弹簧标准编号	简图
压缩弹簧	两端圈并紧磨平 A型	GB2089—80	
	两端圈并紧磨平 B型	GB2089—80	
	两端圈并紧不磨		
	两端圈不并紧		
拉伸弹簧	圆钩环 A型	GB4142—84	
	圆钩环 B型	GB4142—84	
	半圆钩环 A型	GB2087—80	
	半圆钩环 B型	GB2087—80	

(续)

种类	端部结构型式	弹簧标准编号	简图
拉 伸 弹 簧	圆钩环压中心 A型	GB2088-80	
	圆钩环压中心 B型	GB2088-80	
	偏心圆钩环		
扭 转 弹 簧	内臂		
	外臂		
	中心臂		

2. 圆柱螺旋弹簧的标记方法

圆柱螺旋弹簧的标记按国家标准规定由名称、型式与尺寸、标准编号、材料牌号以及表面处理组成，规定如下：



名称——压缩弹簧为压簧，拉伸弹簧为拉簧。

型式——见表6-2-1，采用B型制造时应在标记中注明。

精度——弹簧的负荷、外径、自由长度按GB1239-76《普通圆柱螺旋弹簧》规定的3级精度制造。如需按2级精度制造时，加注符号2。

旋向——弹簧的旋向规定为右旋，左旋应在标

记中注明。

标准编号——见表6-2-1。

材料牌号——对于压簧，GB2089-80规定弹簧材料直径为0.5~50mm；当材料直径小于或等于8mm时用碳素弹簧钢丝B组；当材料直径大于8mm时，用60Si2MnA，亦可采用60Si2Mn。如采用碳素弹簧钢丝C组和60Si2Mn时，需在标记中注明。对于拉簧，GB2087-80、GB2088-80、GB4142-84规定弹簧材料直径为0.5~8mm时，用碳素弹簧钢丝B组。如采用碳素弹簧钢丝C组时，需在标记中注明。

表面处理——采用碳素弹簧钢丝B组制造的弹簧，表面应氧化处理；采用60Si2MnA、60Si2Mn制造的弹簧，表面涂漆处理。如果要求镀锌、镀铬、磷化等金属镀层及化学处理时，应在标记中注明。其标记方法按GB1238-76《金属镀层及化学处

$\ominus$  对于压簧，当要求检查弹簧内径时，在 $D_2$ 的数值后加“ $D_1$ ”符号。

(续)

理表示方法》的规定。

标记示例:

1. 材料直径 3 mm, 弹簧中径 20 mm, 自由高度 80 mm, 负荷、内径、自由高度及轴心线与两端圈垂直度精度均为 3 级, 材料为碳素弹簧钢丝 B、表面氧化处理的 A 型右旋压缩弹簧。

压簧 3×20D<sub>1</sub>×80 GB2089—80·B

2. 材料直径 1 mm, 弹簧中径 5 mm, 自由长度 16.7 mm, 材料为碳素弹簧钢丝 B 组, 表面镀锌处理的圆钩压环中心 B 型, 负荷、外径、自由长度为 2 级精度的左旋拉伸弹簧。

拉簧 B 1.0×5×16.7 左 GB2088—80-D·Zn

(三) 圆柱螺旋弹簧常用术语名称及代号 (表6-2-2)

表6-2-2 圆柱螺旋弹簧常用术语名称及代号 (GB1805—86, JB3338—83)

代号	术语名称
a	拉簧钩环开口宽度
b	高径比(细长比)
C	旋绕比(弹簧指数)
d	材料直径
D	弹簧外径
D'	弹簧压并后外径
D <sub>1</sub>	弹簧内径
D <sub>2</sub>	弹簧中径
E	弹性模量
f	弹簧自振频率
f <sub>1000</sub>	弹簧产生应力 $\tau = 1000 \text{ N/mm}^2$ 时的单圈变形量
f <sub>j</sub>	工作极限负荷下的单圈变形量
f <sub>n</sub>	最大工作负荷下的单圈变形量
F'	弹簧柔度(单位工作负荷下的变形量)
F <sub>1,2,...,n</sub>	工作负荷下的变形量(挠度)
F <sub>j</sub>	工作极限负荷下的变形量
F <sub>s</sub>	极限负荷下的变形量
G	切变模量
h	工作行程
H <sub>0</sub>	自由高度(长度)
H <sub>1,2,...,n</sub>	工作高度(长度)
H <sub>s</sub>	压并高度
H <sub>j</sub>	工作极限负荷下的高度
H <sub>s</sub>	极限[负荷下的]高度
K, K <sub>1</sub>	曲度系数(旋绕比对应力影响的修正系数)

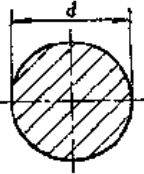
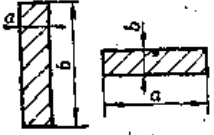

代号	术语名称
L	展开长度
M'	弹簧刚度(产生单位变形量的弹簧负荷)
M <sub>1,2,...,n</sub>	工作负荷(扭矩)
M <sub>s</sub>	极限负荷(扭矩)
n	有效圈数
n <sub>1</sub>	总圈数
n <sub>2</sub>	支承圈数
(nP')	单圈刚度
P'	弹簧刚度(产生单位变形量的弹簧负荷)
P <sub>0</sub>	初拉力
P <sub>1,2,...,n</sub>	工作负荷(力)
P <sub>1000</sub>	弹簧产生应力 $\tau = 1000 \text{ N/mm}^2$ 时的负荷
P <sub>b</sub>	压并负荷
P <sub>j</sub>	工作极限负荷(弹簧工作中可能出现的最大负荷或指试验弹簧时所施加的负荷)
P <sub>s</sub>	极限负荷(对应于材料达到屈服限 $\tau_s$ 的负荷)
Q	弹簧单件重量
l	节距
$\alpha$	弹簧螺旋角
$\delta$	间距(两相邻有效圈的轴向内侧间距)
$\sigma_b$	抗拉强度极限
$\sigma_j$	工作极限弯曲应力
$\tau_0$	初应力
$\tau_{1,2,...,n}$	工作切应力
$\tau_b$	压并应力
$\tau_e$	扭转弹性极限
$\tau_j$	工作极限切应力
$\tau_s$	扭转屈服极限
$\varphi'$	弹簧柔度(单位工作负荷下的变形量)
$\varphi_0$	自由角度(扭转弹簧无负荷时两臂的夹角)
$\varphi_{1,2,...,n}$	工作扭转角
$\varphi_j$	工作极限扭转角
$\varphi_s$	极限扭转角

注: ( ) 同义词或代用词, 或者是术语名称的解释。

[ ] 在不引起误解、混淆的情况下可以省略, 去掉时即为其简称。

(四) 圆柱螺旋弹簧计算的基本公式 (表6-2-3, 表6-2-6)

表6-2-3 圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧计算的基本公式

通用基本公式	基本公式		
	圆形截面弹簧	矩形截面弹簧	方形截面弹簧
			
旋绕比(弹簧指数) C	$C = \frac{D_2}{d}$	$C = \frac{D_2}{a}$	$C = \frac{D_2}{a}$
变形量 $F = \frac{\pi P D_2^3 n}{4 \cos \alpha} \left( \frac{\cos^2 \alpha}{G I_p} + \frac{\sin^2 \alpha}{E I} \right)$ 当 $\alpha < 10^\circ$ 时, $\cos \alpha \approx 1$ , $\sin \alpha \approx 0$ 则 $F = \frac{\pi P D_2^3 n}{4 G I_p}$	$F = \frac{8 P D_2^3 n}{G d^4}$ $= \frac{8 P C^3 n}{G d}$	$F = \nu \frac{P D_2^3 n}{G a^2 b^2}$ $= \nu \frac{P C^3 n D_2}{G b^2}$ * 见图6-2-1	$F = \frac{5.57 P D_2^3 n}{G a^4}$ $= \frac{5.57 P C^3 n}{G a}$
应力 $\tau = K_p \frac{P D_2}{2 Z_t}$	$\tau = K \frac{8 P D_2}{\pi d^3}$ $= K \frac{8 P C}{\pi d^2}$	$\tau = \beta \frac{P D_2}{a b \sqrt{ab}}$ $= \beta \frac{P C}{b \sqrt{ab}}$ * 见图6-2-2	$\tau = K' \frac{2.4 P D_2}{a^2}$ $= K' \frac{2.4 P C}{a^2}$ $= \beta \frac{P C}{a^2}$
刚度 $P' = \frac{P}{F}$	$P' = \frac{G d^4}{8 D_2^3 n}$ $= \frac{G d}{8 C^3 n}$	$P' = \frac{G a^2 b^2}{\nu D_2^3 n}$	$P' = \frac{G a^4}{5.57 D_2^3 n}$ $= \frac{G a}{5.57 C^3 n}$
有效圈数 $n = \frac{G d^4 F}{8 P D_2^3} = \frac{G d F}{8 P C^3}$	$n = \frac{G d^4 F}{8 P D_2^3}$ $= \frac{G d F}{8 P C^3}$	$n = \frac{G a^2 b^2 F}{\nu P D_2^3}$ $= \frac{G F a \left(\frac{b}{a}\right)^2}{\nu P C^3}$	$n = \frac{G a^4 F}{5.57 P D_2^3}$ $= \frac{G F a}{5.57 P C^3}$
截面惯性矩 I	$I = \frac{\pi d^4}{64}$	$I_x = \frac{a b^3}{12}, I_y = \frac{a^3 b}{12}$	$I = \frac{a^4}{12}$
极惯性矩 $I_p$	$I_p = \frac{\pi d^4}{32}$	$I_p = k_1 \textcircled{3} a^3 b$	$I_p = 0.141 a^4$
抗扭截面系数 $Z_t$	$Z_t = \frac{\pi d^3}{16}$	$Z_t = k_2 \textcircled{3} a^2 b$	$Z_t = 0.203 a^3$

①  $K_p = 2 \cos \alpha \left[ 0.5 + (0.308 + 0.318 \cos^2 \alpha) \frac{1}{C} + (0.356 + 0.082 \cos^2 \alpha) \frac{\cos^2 \alpha}{C^2} \right]$ , 见表6-2-5。

②  $K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$ , 见表6-2-25。

③  $4 \geq \frac{b}{a} \geq 1$  时,  $k_1 = \frac{1}{3} \left[ 1 - 0.63 \frac{a}{b} + 0.052 \left( \frac{a}{b} \right)^5 \right]$ ,  $k_2 \approx 1 / \left( 3 + 1.8 \frac{a}{b} \right)$ ,

$\frac{b}{a} > 4$  时,  $k_1 = k_2 \approx \frac{1}{3} \left( 1 - 0.63 \frac{a}{b} \right)$ ,

$k_1, k_2$  见表6-2-4。

④  $K' = 1 + \frac{1.2}{C} + \frac{0.56}{C^2} + \frac{0.5}{C^3}$ ,  $K' \approx K_{ps}$

表6-2-4 系数 $k_1$ 及 $k_2$

$\frac{b}{a}$ (或 $a/b$ ) ①	$k_1$	$k_2$	$\frac{b}{a}$ (或 $a/b$ ) ①	$k_1$	$k_2$
1.0	0.1406	0.2082	1.75	0.2143	0.2390
1.05	0.1474	0.2112	1.80	0.2174	0.2404
1.10	0.1540	0.2139	1.90	0.2233	0.2432
1.15	0.1602	0.2165	2.00	0.2287	0.2459
1.20	0.1661	0.2189	2.25	0.2401	0.2520
1.25	0.1717	0.2212	2.50	0.2494	0.2576
1.30	0.1771	0.2236	2.75	0.2570	0.2626
1.35	0.1821	0.2254	3.00	0.2633	0.2672
1.40	0.1869	0.2273	3.50	0.2733	0.2751
1.45	0.1914	0.2289	4.00	0.2808	0.2817
1.50	0.1958	0.2310	4.50	0.2866	0.2870
1.60	0.2037	0.2343	5.00	0.2914	0.2915
1.70	0.2109	0.2375	10.00	0.3123	0.3123

① 当  $b \geq a$  时取  $\frac{b}{a}$ , 当  $a > b$  时取  $\frac{a}{b}$ .

表6-2-5 系数 $K_p$

$C = \frac{D_2}{d}$	$K_p$		
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 30^\circ$
3	1.514	1.438	1.240
4	1.366	1.304	1.134
6	1.232	1.180	1.036
8	1.168	1.120	0.982
10	1.134	1.088	0.966

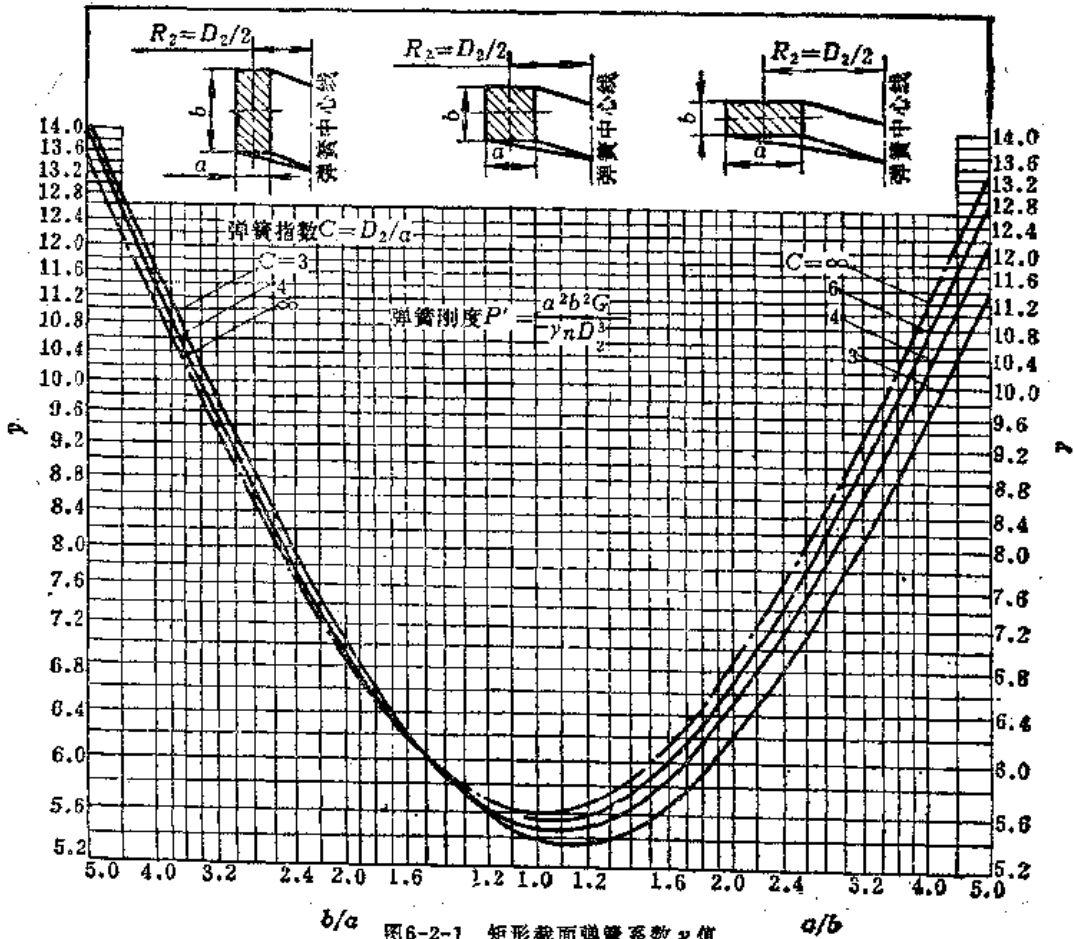


图6-2-1 矩形截面弹簧系数 $P$ 值

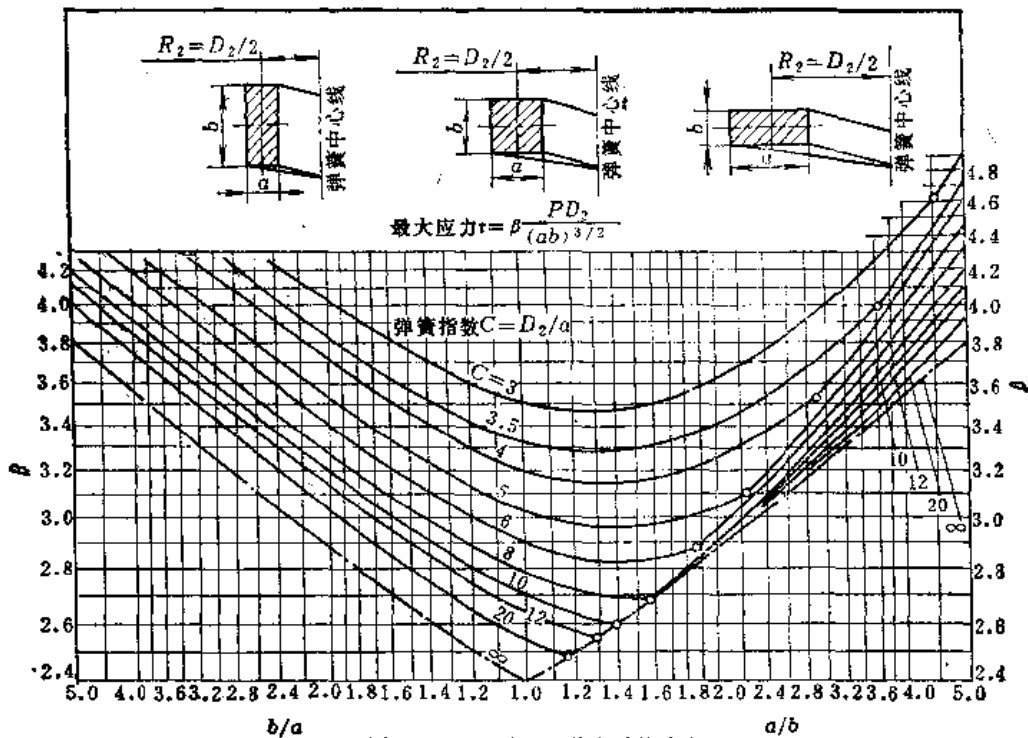
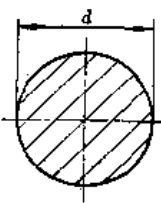
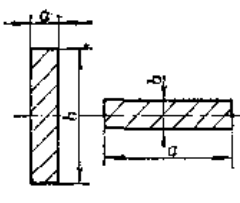
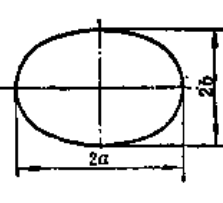


图6-2-2 矩形截面弹簧系数β值

表6-2-6 圆柱螺旋扭转弹簧计算的基本公式

通用基本公式	基本公式		
	圆形截面弹簧	矩形截面弹簧	椭圆形截面弹簧
扭转角 $\varphi = \frac{180^\circ M D_2 n}{EI}$	 $\varphi = \frac{3667 M D_2 n}{E d^4}$	 $\varphi = \frac{2160 M D_2 n}{E a^3 b}$	 $\varphi = \frac{3667 M D_2 n}{E a^3 b}$
弯曲应力 $\sigma = K_1 \textcircled{1} \frac{M}{Z_n}$	$\sigma = K_1 M \frac{32}{\pi d^3}$	$\sigma = K_1' \textcircled{2} M \frac{6}{a^2 b}$	$\sigma = K_1 M \frac{32}{\pi a^2 b}$
弹簧刚度 $M' = \frac{M}{\varphi} = \frac{E \textcircled{3} I}{180^\circ D_2 n}$	$M' = \frac{E d^4}{3667 D_2 n}$	$M' = \frac{E a^3 b}{2160 D_2 n}$	$M' = \frac{E a^3 b}{3667 D_2 n}$
圈数 $n = \frac{EI \varphi}{180^\circ M D_2}$	$n = \frac{EK_1 d \varphi}{360 D_2 [\sigma]}$ $= \frac{E d^4 \varphi}{3667 D_2 M}$	$n = \frac{EK_1' a \varphi}{360 D_2 [\sigma]}$ $= \frac{E a^3 b \varphi}{2160 D_2 M}$	$n = \frac{EK_1 \sigma \varphi}{360 D_2 [\sigma]}$ $= \frac{E a^3 b \varphi}{3667 D_2 M}$
截面惯性矩	$I = \frac{\pi d^4}{64}$	$I = \frac{a^3 b}{12}$	$I = \frac{\pi a^3 b}{64}$
抗弯截面系数	$Z_n = \frac{\pi d^3}{32}$	$Z_n = \frac{a^2 b}{6}$	$Z_n = \frac{\pi a^2 b}{32}$

①  $K_1 = \frac{4C-1}{4C-4}$ , 见表6-2-25,  $C = \frac{D_2}{d}$  或  $\frac{D_2}{a}$  (用于矩形、椭圆形截面)。

②  $K_1' = \frac{3C-1}{3C-3}$ 。

③ E值见表6-2-13。



(五) 圆柱螺旋弹簧参数选择

这些尺寸系列也可用于液压件圆柱螺旋压缩弹簧。

表6-2-17示出了圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧参数的计算公式。

表6-2-7~表6-2-11弹簧尺寸系列用于圆柱螺旋弹簧(GB1358-78)。按照JB3338-83的规定,

表6-2-7 弹簧材料截面直径 $d$ 尺寸(GB1358-78) (mm)

0.1 (0.7)	0.15 (2.2)	0.2 (2.8)	0.25 (3)	0.3 (3.2)	0.35 (3.5)	0.4 (3.8)	0.45 (4)	0.5 (4.2)	0.6 (4.5)
5 (18)	20 (38)	6 (42)	3 (7)	8 (27)*	10 (28)	12 (30)	16 (32)	20 (35)	25 (36)*
0.8 (2.2)	1 (2.8)	1.2 (3.2)	1.5* (3.8)	1.6 (4.2)	2 (4.5)	3 (3.8)	4 (4.2)	5 (5.5)	6 (6.5)
1 (2.8)	3 (7)	4 (10)	5 (14)	6 (16)	8 (22)	10 (28)	12 (32)	16 (42)	20 (55)

注:表中数值带( )者为第二系列,(\*)为老产品采用过的,其余为应优先采用的第一系列。

表6-2-8 弹簧中径 $D_2$ 系列尺寸(GB1358-78) (mm)

0.4 (1.8)	0.5 (4.2)	0.6 (4.8)	0.7 (8.5)	0.8 (2.8)	0.9 (5.5)	1 (3.2)	1.2 (6.5)	(1.4) (3.8)	1.6 (7.5)	2 (4.5)	3 (3.2)	4 (4.2)	5 (5.5)	6 (6.5)	8 (22)	10 (28)	12 (32)	16 (42)	20 (48)	25 (58)	30 (85)	35 (105)	40 (115)	50 (125)	60 (135)	70 (145)	80 (155)	90 (170)	100 (180)	120 (190)	150 (200)	200 (210)	250 (220)	300 (230)	350 (240)	400 (250)	450 (260)	500 (270)	600 (280)	700 (290)	800 (300)	900 (310)	1000 (320)
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	------------	--------------	----------------	--------------	------------	------------	------------	------------	------------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	---------------

注:表中括弧( )内数值系第二系列,其余为第一系列,应优先采用。

表6-2-9 压缩弹簧有效圈数 $n$ (GB1358-78)

2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75
5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5
11.5	12.5	13.5	14.5	15	16	18	20	22	25	28	30

表6-2-10 拉伸弹簧有效圈数 $n$ (GB1358-78)

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	22	25	28	30	35
40	45	50	55	60	65	70	80	90	110		

表6-2-11 压缩弹簧自由高度 $H_0$ 尺寸(GB1358-78) (mm)

4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	22	24	26
28	30	32	35	38	40	42	45	48	50
52	55	58	60	65	70	75	80	85	90
95	100	105	110	115	120	130	140	150	160
170	180	190	200	220	240	260	280	300	320
340	360	380	400	420	450	480	500	520	550
580	600	620	650	680	700	720	750	780	800
850	900	950	1000						

表6-2-12 圆柱螺旋弹簧极限应力与极限负荷(GB1239-76)

工作负荷种类	压 缩、拉 伸 弹 簧		扭 转 弹 簧
	工作极限切应力 $\tau_j$	工作极限负荷 $P_j$	工作极限弯曲应力 $\sigma_j$
I 类	$\leq 1.67[\tau]$		
II 类	$\leq 1.25[\tau]$	$\geq 1.25P_n$	$0.625\sigma_s$
III 类	$\leq 1.12[\tau]$	$\geq P_n$	$0.8\sigma_s$

注:  $P_n$ ——最大工作负荷。

$[\tau]$ ——弹簧材料的应用应力,见表6-2-13。

$\sigma_s$ ——弹簧材料的抗拉强度,见表6-8-2。

表6-2-13 弹簧材料的许

类别	牌 号	代 号	标准号	许用切应力 [ $\tau$ ](N/mm <sup>2</sup> )			许用弯曲应力 [ $\sigma$ ](N/mm <sup>2</sup> )	
				I类 弹簧	II类 弹簧	III类 弹簧	II类 弹簧	III类 弹簧
钢 丝	碳素弹簧钢丝	A, B, C	—	0.3 $\sigma_s$	0.4 $\sigma_s$	0.5 $\sigma_s$	0.5 $\sigma_s$	0.625 $\sigma_s$
	特殊用途弹簧钢丝	甲, 乙, 丙						
	重要用途弹簧钢丝	65Mn						
	60硅2锰	60Si2Mn						
	60硅2锰高	60Si2MnA						
	60硅2铬高	60Si2CrA						
	70硅3锰高	70Si3MnA						
	65硅2锰钨高	65Si2MnWA						
	60硅2铬钒高	60Si2CrVA						
	50铬钒高	50CrVA						
30钨4倍2钒高	30W4Cr2VA							
不 锈 钢 丝	1铬18镍9	1Cr18Ni9	GB1220—75	480	640	800	800	1000
	1铬18镍9钛	1Cr18Ni9Ti						
	2铬18镍9	2Cr18Ni9						
	4铬13	4Cr13						
	0铬17镍7铝	0Cr17Ni7Al						
	0铬15镍7钼铝	0Cr15Ni7MoAl						
	镍36铬钛铝	Ni36CrTiAl						
	镍42铬钛	Ni42CrTi						
钴40镍镍钼	Co40CrNiMo							
青 铜 线	硅青铜	QS13-1	—	270	360	450	450	560
	锡青铜	QS14-3 QS16.5-0.1						
	铍青铜	QB12						
轧 材	65锰	65Mn	GB1222—75	420	560	700	700	880
	55硅2锰	55Si2Mn						
	60硅2锰	60Si2Mn						
	60硅2锰高	60Si2MnA						
	60硅2铬高	60Si2CrA						
	70硅3锰高	70Si3MnA						
	65硅2锰钨高	65Si2MnWA						
	60硅2铬钒高	60Si2CrVA						
	50铬锰	50CrMn						
	55硅锰钒硼	55SiMnVB						
	50铬钒高	50CrVA						
	30钨4倍2钒高	30W4Cr2VA						

注: 表中[ $\tau$ ]、[ $\sigma$ ]、G和E值, 是在常温下按表中推荐硬度范围的下限值时的数值。当弹簧工作温度 $>60^{\circ}\text{C}$ 时, 应  
 $G_1 = K_1 \cdot G$

式中  $K_1$  值见表6-2-14。

用应力 (GB1239—76)

切变模量 G (N/mm <sup>2</sup> )	弹性模量 E (N/mm <sup>2</sup> )	推荐硬度范围	推荐 使用温度 (°C)	特 性 及 用 途
0.5 ≤ d ≤ 4 83000~80000 d > 4 80000	0.5 ≤ d ≤ 4 207500~205000 d > 4 200000	—	-40~120	强度高, 性能好, 适用于做小弹簧
80000	200000	HRC45~50	-40~200	弹性好, 回火稳定性好, 易脱碳, 用于制造受高负荷弹簧
		HRC47~52	-40~250	有较好弹性淬透性和回火稳定性
			-40~200	强度高, 易脱碳, 有较好的弹性和回火稳定性
			-40~250	强度高, 耐高温, 弹性好
		HRC45~50	-40~210	有高的疲劳性能, 淬透性和回火稳定性好
HRC43~47	-40~500	高温时强度高, 淬透性好		
73000	197000	—	-250~300	耐腐蚀、耐高温适用于做小弹簧
77000	219000	HRC48~53	-40~300	耐腐蚀、耐高温适用于做大弹簧
75000	187000	—	300	耐腐蚀, 加工性能好
77000	200000		-40~250	耐腐蚀, 弱磁性, 高弹性
67000	190000		-60~100	耐腐蚀, 加工性能好, 恒弹性
78000	200000		-40~400	耐腐蚀, 高强度, 无磁, 低后效, 高弹性
41000	95000		HB90~100	-40~120
40000				
43000	132000	HRC37~40		耐腐蚀, 防震, 导电性和弹性好
80000	200000	HRC45~50	-40~120	弹性和回火稳定性好, 易脱碳用于制造受高负荷弹簧
			-40~200	
			-40~250	有较好的弹性, 淬透性和回火稳定性
		HRC47~52	-40~200	强度高, 易脱碳, 有较好的弹性和回火稳定性
			-40~250	强度高, 耐高温, 弹性好
			HRC45~50	-40~210
HRC43~47	-40~500	有高的疲劳性能, 淬透性和回火稳定性。高温时强度高, 淬透性好		

对 G 值进行修正, 其公式为:

表6-2-14 系数 $K_t$  (GB1239—76)

材料牌号	弹 簧 工 作 温 度 (°C)			
	≤60	150	200	250
	$K_t$			
50CrVA	1	0.96	0.95	0.94
60Si2Mn	1	0.99	0.98	0.98
1Cr18Ni9Ti	1	0.98	0.94	0.9
0Cr17Ni7Al	1	0.95	0.94	0.92
QBc 2	1	0.95	0.94	0.92

注：表内各温度之间的 $K_t$ 值，用插入法求出。

表6-2-15 旋绕比 $C$ 的选取范围

$d$ (mm)	0.2~0.4	0.45~1	1.1~2.2	2.5~6	7~16	18~50
$C$	7~14	5~12	5~10	4~9	4~8	4~6

表6-2-16 脉动疲劳极限 $\tau_0$  (GB1239—76)

变负荷作用次数 $N$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$
$\tau_0$	$0.45\sigma_b^*$	$0.35\sigma_b$	$0.33\sigma_b$	$0.3\sigma_b$

注：1. 表值适用于高优质钢丝、不锈钢丝、镀锌钢丝和硅青铜丝。但对于不锈钢丝、硅青铜丝，带\*的取值 $0.35\sigma_b$ 。  
2. 对喷丸处理的弹簧，表值可提高20%。

表6-2-17 圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧参数的计算公式  
(GB1239—76, GB2087—80, GB2089—80)

	压 缩 弹 簧	拉 伸 弹 簧
压并高度 $H_b$	两端圈并紧磨平 $H_b = (n_1 - 0.5)d$ 两端圈不磨 $H_b \approx (n_1 + 1)d$ $H_b = H_0 - 1.1F_j$	
自由高度 $H_0$	两端圈并紧磨平 $H_0 = nt + (1 \sim 2)d$ 两端圈不磨 $H_0 = nt + (3 \sim 3.5)d$ 或 $H_0 = H_b + 1.1F_j = H_b + F_b$ $H_0 = H_n + \frac{P_n}{P'}$	半圆钩环型 $H_0 = (n + 1)d + 2D_2$ 圆钩环型 $H_0 = (n + 1)d + D_2$ 圆钩环压中心型 $H_0 = (n + 1.5)d + 2D_2$ 或 $H_0 = H_j - F_j + \frac{P_0}{P'}$
支承圈数 $n_2$	$d \leq 8$ $n_2 = 2$ $d > 8$ $n_2 = 1.5$	
节距 $f$	两端圈并紧磨平 $f = \frac{H_0 - (1 \sim 2)d}{n}$ 两端圈不磨 $f = \frac{H_0 - (3 \sim 3.5)d}{n}$ 或 $f = d + \delta = d + f_j = d + \frac{F_j}{n}$	

(续)

	压 缩 弹 簧	拉 伸 弹 簧
高径比 $b$	两端固定 $b < 5.3$ $b = \frac{H_0}{D_2}$ 两端回转 $b < 2.6$ 一面一转 $b < 3.7$ 当 $b$ 大于上述数值时, 要进行稳定性验算 (见表6-2-18)	
螺旋角 $\alpha$	$\alpha > 9^\circ$ 时, 须对变形公式进行修正, $F = \eta \frac{8PD_2^3 n}{Gd^4}$ 式中, $\eta = \cos \alpha + \frac{2G \sin^2 \alpha}{E \cos \alpha}$	
压并变形量 压并负荷 工作极限变形量 钩环开口尺寸	$F_b = F_n / 0.65$ $P_b = P_n / F_n = P_n / 0.65$	$F_j \geq 1.25 \left( F_n + \frac{F_0}{P'} \right)$ $a = D_2 / 3$

### (六) 圆柱螺旋压缩弹簧的设计计算

圆柱压缩弹簧设计时, 由于已知的设计条件不同, 其设计计算方法亦稍有不同。表6-2-18的已知设计条件有: 最小工作负荷  $P_1$ , 最大工作负荷  $P_n$ , 工作行程  $h$ , 弹簧外径  $D$ , 弹簧芯轴直径  $D_s$  和负荷

性质; 表6-2-20的已知设计条件有: 最大工作负荷  $P_n$ , 最大工作负荷下的变形量  $F_n$  和负荷性质; 表6-2-21的已知设计条件为: 最小工作负荷  $P_1$ , 最大工作负荷  $P_n$ , 弹簧中径  $D_2$ , 安装高度  $H$ , 最大负荷下的变形量。读者可根据具体情况选用一种方法进行计算。

表6-2-18 压缩弹簧设计计算之一 (GB2089—80)

已 知 条 件		选 用 弹 簧 类 别 及 其 材 料	
最小工作负荷	$P_1 = 40\text{N}$	弹簧类别	按负荷性质选用 II 类弹簧
最大工作负荷	$P_n = 240\text{N}$	弹簧端部结构	两端并紧并磨平
工作行程	$h = 40\text{mm}$	材料	碳素弹簧钢丝 C 组 (GB4357—84)
弹簧芯轴直径	$D_s = 30\text{mm}$		
弹簧外径	$D \leq 45\text{mm}$		
负荷性质	冲击负荷		

### 计 算 部 分

序号	名 称	代号	单 位	计 算 公 式	举 例 计 算
1	弹簧要求的刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{P}{h} = \frac{P_n - P_1}{h}$	$P' = \frac{240 - 40}{40} = 5$
2	工作极限负荷	$P_i$	N	因受冲击负荷, 按表6-2-12选取 $P_i \geq 1.25P_n$	$P_i \geq 1.25 \times 240 = 300$

(续)

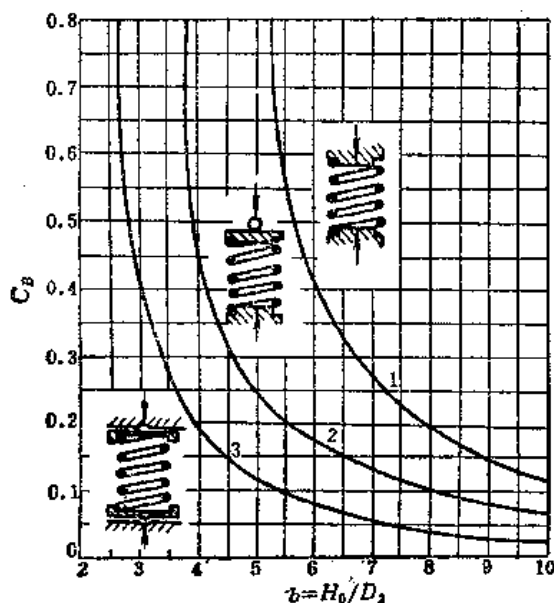
序号	名称	代号	单位	计算公式	举例计算																								
3	材料直径及弹簧中径	$d, D_2$	mm	根据 $P_j, D_x, D$ 三个条件从表6-2-22选取。	符合条件的弹簧规格有多种, 比较接近的有下列几种。其中以 $d = 3.5, D_2 = 38$ 较为合适 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th><math>d</math></th> <th><math>D_2</math></th> <th><math>P_j</math></th> <th><math>D_{xmax}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">3.5</td> <td>35</td> <td>326</td> <td>27.5</td> </tr> <tr> <td>38</td> <td>303</td> <td>30.5</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>290</td> <td>32.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">4</td> <td>38</td> <td>430</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>461</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>498</td> <td>24</td> </tr> </tbody> </table> 选取 $d = 3.5, D_2 = 38$	$d$	$D_2$	$P_j$	$D_{xmax}$	3.5	35	326	27.5	38	303	30.5	40	290	32.5	4	38	430	30	35	461	27	32	498	24
$d$	$D_2$	$P_j$	$D_{xmax}$																										
3.5	35	326	27.5																										
	38	303	30.5																										
	40	290	32.5																										
4	38	430	30																										
	35	461	27																										
	32	498	24																										
4	有效圈数	$n$	圈	$n = \frac{(nP')}{P'}$ $(nP')$ 查表6-2-22	$(nP') = 27.35$ $n = \frac{27.35}{5} = 5.47$ 按表6-2-9取标准值 $n = 5.5$																								
5	工作极限负荷下的变形量	$F_j$	mm	$F_j = n f_j$ $f_j$ 见表6-2-22	$f_j = 11.08$ $F_j = 5.5 \times 11.08 = 61$																								
6	总圈数	$n_1$	圈	$n_1 = n + n_2$ $n_2$ —支承圈数, 见表6-2-17	$n_2 = 2$ $n_1 = 5.5 + 2 = 7.5$																								
7	压并高度	$H_b$	mm	见表6-2-17 $H_b = (n_1 - 0.5) d$	$H_b = (7.5 - 0.5) \times 3.5 = 24.5$																								
8	自由高度	$H_0$	mm	按表6-2-17 $H_0 = H_b + 1.1 F_j$	$H_0 = 24.5 + 1.1 \times 61 = 91.6$ 按表6-2-11取标准值 $H_0 = 95$																								
9	弹簧外径	$D$	mm	$D = D_2 + d$	$D = 38 + 3.5 = 41.5 < 45$																								
10	弹簧内径	$D_1$	mm	$D_1 = D_2 - d$	$D_1 = 38 - 3.5 = 34.5 > D_x(30)$																								
11	节距	$t$	mm	$t = \frac{F_j}{n} + d$	$t = \frac{61}{5.5} + 3.5 = 14.59$																								
12	螺旋角	$\alpha$	(°)	$\alpha = \arctg \frac{t}{\pi D_2}$	$\alpha = \arctg \frac{14.59}{\pi \times 38} = 6.97^\circ$																								
13	展开长度	$L$	mm	$L = \frac{\pi D_2 n_1}{\cos \alpha}$	$L = \frac{\pi \times 38 \times 7.5}{\cos \alpha} = 902$																								
14	单件重量	$Q$	kg	$Q = \frac{\pi d^2 L}{4} \times 7.85 \times 10^{-5}$	$Q = \frac{\pi \times 3.5^2 \times 902}{4} \times 7.85 \times 10^{-5} = 0.68$																								

## 验算部分

1	选用弹簧的实际刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{(nP')}{n}$	$P' = \frac{27.35}{5.5} = 4.97 \approx 5$ 与要求刚度相接近
2	最小工作负荷下的高度	$H_1$	mm	$H_1 = H_0 - \frac{P_1}{P'}$	$H_1 = 95 - \frac{40}{4.97} = 86.95$

(续)

序号	名称	代号	单位	计算公式	举例计算
3	最大工作负荷下的高度	$H_n$	mm	$H_n = H_0 - \frac{P_n}{P'}$	$H_n = 95 - \frac{240}{4.97} = 46.71$
4	实际工作行程	$h$	mm	$h = H_1 - H_n$	$h = 86.95 - 46.71 = 40.24 > 40$ 满足要求
5	选用弹簧的实际工作极限负荷	$P_j$	N	查表6-2-22	$P_j = 303$
6	工作区范围			下限为 $0.2P_j < P_1$ 上限为 $0.8P_j > P_n$	$0.2P_j = 0.2 \times 303 = 60.6 > P_1$ $0.8P_j = 0.8 \times 303 = 242.4 > P_n$
7	高径比(细长比)	$b$		$b = \frac{H_0}{D_2}$ 见表6-2-17	$b = \frac{95}{38} = 2.5$ $b < 2.6$ 可不必进行稳定性验算
必要时作以下各项计算					
8	稳定性临界负荷	$P_c$	N	$P_c = C_B P' H_0$ $C_B$ ——不稳定性系数, 图6-2-3	
9	稳定性条件	$P_n < P_c$ , $P_n$ ——最大工作负荷 如 $P_n > P_c$ , 并受结构限制, 不能改变参数时, 可设置导杆或导套。导杆(导套)与弹簧的直径差按表6-2-19规定			
10	强度验算	见表6-2-21			
11	压并时弹簧外径	$D'$	mm	两端固定的弹簧 $D' = D + 0.05 \frac{t^2 - d^2}{D_2}$ 两端回转的弹簧 $D' = D + 0.1 \frac{t^2 - 0.8td - 0.2d^2}{D_2}$	

图6-2-3 不稳定性系数  $C_B$  与稳定性指标  $b$  的关系 (GB1239—76)

1—两端固定 2—一端固定, 一端回转 3—两端回转

表6-2-19 导杆与弹簧的(直径)间隙(GB1239—76)

(mm)

$D_2$	$\leq 5$	$>5\sim 10$	$>10\sim 18$	$>18\sim 30$	$>30\sim 50$	$>50\sim 80$	$>80\sim 120$	$>120\sim 150$
间隙	0.6	1	2	3	4	5	6	7

表6-2-20 压缩弹簧设计计算之二

已知条件		选用弹簧种类及其材料
最大工作负荷	$P_n = 900\text{N}$	弹簧类别 II类压缩弹簧
最大工作负荷下的变形量	$F_n = 20\text{mm}$	端部结构 两端圆并紧并磨平
负荷性质	冲击负荷	材料 50CrVA (GB2271—84)
		从表6-2-12得 $\tau_j \leq 1.25[\tau]$
		从表6-2-13知, 对50CrVA, $[\tau] = 600\text{N/mm}^2$
		则 $\tau_j \leq 1.25 \times 600 = 750$ , 取 $\tau_j = 700\text{N/mm}^2$

## 计算部分

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算																				
1	初定弹簧产生应力为 $\tau = 1000\text{N/mm}^2$ 时的极限负荷	$P_{1000}^*$	N	$P_{1000}^* = \frac{1000 \times P_n}{\tau_j}$	$P_{1000}^* = \frac{1000 \times 900}{700} = 1286$																				
2	初选钢丝直径和弹簧中径	$d$ $D_2$	mm	从表6-2-22选取 $P_{1000}$ 比较接近于 $P_{1000}^*$ 的弹簧	<table border="1"> <thead> <tr> <th>方案</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>d</math>(mm)</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td><math>D_2</math>(mm)</td> <td>25</td> <td>40</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td><math>P_{1000}</math>(N)</td> <td>1500</td> <td>1733.3</td> <td>1570.4</td> </tr> <tr> <td><math>f_{1000}</math>(mm)</td> <td>3.75</td> <td>8.56</td> <td>11.042</td> </tr> </tbody> </table>	方案	A	B	C	$d$ (mm)	5	6	6	$D_2$ (mm)	25	40	45	$P_{1000}$ (N)	1500	1733.3	1570.4	$f_{1000}$ (mm)	3.75	8.56	11.042
方案	A	B	C																						
$d$ (mm)	5	6	6																						
$D_2$ (mm)	25	40	45																						
$P_{1000}$ (N)	1500	1733.3	1570.4																						
$f_{1000}$ (mm)	3.75	8.56	11.042																						
3	工作极限负荷	$P_j$	N	$P_j = \frac{P_{1000} \times \tau_j}{1000} \geq 1.25P_n$	<p><math>\tau_j</math> 值从表6-8-8GB2271—84一栏中查取, <math>d=5\sim 6, \sigma_b=1500\text{N/mm}^2</math></p> <p><math>\tau_j = 0.5\sigma_b = 0.5 \times 1500 = 750\text{N/mm}^2</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>方案</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>P_j</math></td> <td>1125</td> <td>1300</td> <td>1177.8</td> </tr> </tbody> </table> <p><math>1.25P_n = 1.25 \times 900 = 1125</math></p> <p><math>P_j &gt; 1.25P_n</math></p>	方案	A	B	C	$P_j$	1125	1300	1177.8												
方案	A	B	C																						
$P_j$	1125	1300	1177.8																						
4	最大工作负荷下的单圈变形量	$f_n$	mm	$f_n = \frac{f_{1000}}{P_{1000}} \times P_n$ $f_{1000}$ 查表6-2-22	<p><math>f_n = \frac{f_{1000}}{P_{1000}} \times 900</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>方案</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>f_{1000}</math></td> <td>3.75</td> <td>8.56</td> <td>11.042</td> </tr> <tr> <td><math>f_n</math></td> <td>2.25</td> <td>4.44</td> <td>6.33</td> </tr> </tbody> </table>	方案	A	B	C	$f_{1000}$	3.75	8.56	11.042	$f_n$	2.25	4.44	6.33								
方案	A	B	C																						
$f_{1000}$	3.75	8.56	11.042																						
$f_n$	2.25	4.44	6.33																						
5	有效圈数	$n$	圈	$n = \frac{F_n}{f_n}$ 按表6-2-9取标准值	<p><math>n = \frac{20}{f_n}</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>方案</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>n</math> 计算值</td> <td>8.88</td> <td>4.5</td> <td>3.16</td> </tr> <tr> <td>按标准取值</td> <td>9</td> <td>4.5</td> <td>3.25</td> </tr> </tbody> </table>	方案	A	B	C	$n$ 计算值	8.88	4.5	3.16	按标准取值	9	4.5	3.25								
方案	A	B	C																						
$n$ 计算值	8.88	4.5	3.16																						
按标准取值	9	4.5	3.25																						



(续)

序号	参数名称	代号	单位	计 算 公 式	举 例 计 算			
6	总圈数	$n_1$	圈	$n_1 = n + n_2 = n + 2$ $n_2$ —支承圈数, 见表6-2-17	方 案	A	B	C
					$n_1$	11	6.5	5.25
7	压并高度	$H_b$	mm	按表6-2-17取	$H_b = (n_1 - 0.5) d$			
					方 案	A	B	C
					$H_b$	52.5	36	28.5
8	工作极限负荷下的 单圈变形量	$f_j$	mm	$f_j = \frac{f_{1000}}{P_{1000}} \times P_j$	方 案	A	B	C
					$f_j$	2.81	6.42	8.28
9	工作极限负荷下的 变形量	$F_j$	mm	$F_j = n \times f_j$	方 案	A	B	C
					$F_j$	25.29	28.89	26.91
10	自由高度	$H_0$	mm	$H_0 = H_b + 1.1F_j$ 按表6-2-11取标准值	方 案	A	B	C
					计算值	80.32	67.8	58.1
					按标准取值	80	70	58
11	节距	$t$	mm	按表6-2-17 $t = d + f_j$	方 案	A	B	C
					$t$	7.81	12.42	14.28
12	高径比	$b$		$b = \frac{H_0}{D_2} < 2.6$	方 案	A	B	C
					$b$	3.2	1.75	1.29

从以上计算结果可知, 上述B、C两种规格的弹簧均能满足设计要求, 其中以B种规格较好, 故选定

$d = 6\text{mm}$ ,  $D_2 = 40\text{mm}$ ,  $H_0 = 65\text{mm}$ 的弹簧。其它各项计算包括验算部分可参考表6-2-18, 这里从略。

表6-2-21 压缩弹簧设计计算之三 (GB1239—76)

已 知 条 件			选用弹簧种类及材料	
气门弹簧, 中径	$D_2 = 32\text{mm}$	弹簧种类	Ⅱ类弹簧	
安装高度	$H = 54\text{mm}$	材料	阀门用油淬火回火碳素	
最小工作负荷	$P_1 = 200\text{N}$		弹簧钢丝65Mn (GB4359—84)	
最大工作负荷	$P_2 = 420\text{N}$		$\sigma_b = 1400\text{N/mm}^2$ (表6-8-7)	
最大工作负荷下的变形量	$F_2 - F_1 = 10\text{mm}$		$[\tau] = 0.4\sigma_b = 0.4 \times 1400 = 560\text{N/mm}^2$	
负荷作用次数	$N > 10^6$ 次		(表6-2-13)	
凸轮轴转速	$v_{\max} = 1400 \text{ r/min}$	端部结构	两端圈并紧并磨平	

## 计 算 部 分

序号	参数名称	代号	单位	计 算 公 式	举 例 计 算
1	初定旋绕比和曲度 系数	C K		$\frac{8}{\pi} KC^3 = \frac{[\tau] D_2^3}{P_2}$	$\frac{8}{\pi} KC^3 = \frac{560 \times 32^3}{420} = 1365$ 查表6-2-25得 $C = 7.7$ $K = 1.192$
2	材料直径	d	mm	$d = \frac{D_2}{C}$	$d = \frac{32}{7.7} = 4.16$ 取 $d = 4.5$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
3	旋绕比	$C$		$C = \frac{D_2}{d}$	$C = \frac{32}{4.5} = 7.1$
4	曲度系数	$K$		$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$ 或查表6-2-25	$K = 1.21$
5	弹簧刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{P_n - P_1}{F_n - F_1}$	$P' = \frac{420 - 200}{10} = 22$
6	最小工作负荷下的变形量	$F_1$	mm	$F_1 = \frac{P_1}{P'}$	$F_1 = \frac{200}{22} = 9.1$
7	最大工作负荷下的变形量	$F_n$	mm	$F_n = \frac{P_n}{P'}$	$F_n = \frac{420}{22} = 19.1$
8	压并时变形量	$F_b$	mm	$F_b = \frac{F_n}{0.65}$ ①	$F_b = \frac{19.1}{0.65} = 29.4$
9	压并负荷	$P_b$	N	$P_b = \frac{P_n}{0.65}$ ①	$P_b = \frac{420}{0.65} = 646$
10	有效圈数	$n$	圈	$n = \frac{Gd^4 F_b}{8 P_b D_2^3}$	$n = \frac{80000 \times 4.5^4 \times 29.4}{8 \times 646 \times 32^3} = 5.7$ 按标准取 $n = 6$ (表6-2-9)
11	总圈数	$n_1$	圈	$n_1 = n + n_2$ $n_2$ —支承圈数, 见表6-2-17	$n_2 = 2$ $n_1 = 6 + 2 = 8$
12	并紧高度	$H_b$	mm	$H_b = (n_1 - 0.5) d$	$H_b = (8 - 0.5) 4.5 = 33.75$
13	自由高度	$H_0$	mm	$H_0 = H_b + F_b$ 按表6-2-11取标准值	$H_0 = 33.75 + 29.4 = 63.15$ 按标准取 $H_0 = 65$
14	节距	$t$	mm	按表6-2-17 $t = \frac{H_0 - 1.5d}{n}$	$t = \frac{65 - 1.5 \times 4.5}{6} = 9.71$
15	螺旋角	$\alpha$	(°)	$\alpha = \arctg \frac{t}{\pi D_2}$	$\alpha = \arctg \frac{9.71}{\pi \times 32} = 5.5169^\circ$ $= (5^\circ 31')$
16	展开长度	$L$	mm	$L = \frac{\pi D_2 n_1}{\cos \alpha}$	$L = \frac{\pi \times 32 \times 8}{\cos \alpha} = 808$

## 验算部分 (强度验算)

1	脉动疲劳极限	$\tau_0$	N/mm <sup>2</sup>	按表6-2-16取	$N = 10^7$ 时, $\tau_0 = 0.3\sigma_0 = 0.3 \times 1400 = 420$
2	最小循环变切应力	$\tau_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{min} = \frac{8 K D_2 P_1}{\pi d^3}$	$\tau_{min} = \frac{8 \times 1.21 \times 32 \times 200}{\pi \times 4.5^3} = 216$
3	最大循环变切应力	$\tau_{max}$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{max} = \frac{8 K D_2 P_n}{\pi d^3}$	$\tau_{max} = \frac{8 \times 1.21 \times 32 \times 420}{\pi \times 4.5^3} = 454$
4	疲劳安全系数	$S_1$		$S_1 = \frac{\tau_0 + 0.75\tau_{min}}{\tau_{max}}$ $S_1 = [S]$	$S_1 = \frac{420 + 0.75 \times 216}{454} = 1.28$ $S_1 = [S]$
5	许用安全系数	$[S]$		$[S] = 1.3 \sim 1.7$	

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
6	静强度安全系数	$S_2$		$S_2 = \frac{\tau_s}{\tau_{max}}$ $S_2 = [S]$	查有关材料手册 $\tau_s = 0.6\sigma_s = 0.34\sigma_s = 0.34 \times 1400 = 476$ $S_2 = \frac{476}{454} = 1.05, S_2 < [S]$
7	弹簧自振频率	$f$	1/s	对于减震弹簧, $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P'g}{W}}$ $f \leq 0.5f_r$ $g = 9800 \text{ mm/s}^2$ $W \text{——负载(N)}$ 对于气门弹簧机构, $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Gg}{2Y} \cdot \frac{d}{nD_2^2}}$ $g = 9800 \text{ mm/s}^2$ $Y = 7.85 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$	对气门弹簧机构取 $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{80000 \times 9800}{2 \times 7.85 \times 10^{-5}}}$ $\times \frac{4.5}{6 \times 32^2} = 260$
8	强迫振动频率	$f_r$	1/s	$f_r = \frac{n_{max}}{60}$	$f_r = \frac{1400}{60} = 23.3$
9	共振验算			$f > 10f_r$	$f > 10f_r$

① 根据弹簧的工作区应在全变形量的20~80%的条件,取 $P_s = 0.65P_b$ ,  $P_x = 0.65P_b$ 。

从以上计算可知,此例采用的材料65Mn,在因之改为65Si2MnA(GB4361-84),该材料的 $\sigma_b =$ 强度验算方面稍感不足( $S_1 \approx [S]$ ,  $S_2 < [S]$ ),  $1600 \text{ N/mm}^2$ ,则 $S_1 = 1.41$ ,  $S_2 = 1.20$ 。

表6-2-22 圆柱螺旋压缩弹簧尺寸参数

1 材料直径 $d$ (mm)	2 弹簧中径 $D_2$ (mm)	3 节距 $f$ (mm)	4 工作极限 负 荷 $P_f$ (N)	5 最大 心轴 直径 $D_{xmax}$ (mm)	6 最小 套筒 直径 $D_{ymin}$ (mm)	7 单圈刚度 ( $nP'$ ) (N/mm)	8 工作极限负 荷下的单圈 变形量 $f_f$ (mm)	9 弹簧产生应力 $\tau$ 为 $1000 \text{ N/mm}^2$ 时		10 初拉力 $P_0$ (N)
								负 荷 $P_{1000}$ (N)	单圈变形量 $f_{1000}$ (mm)	
0.5	3	1.19	14.4	1.9	4.1	23.15	0.622	13.1	0.665	1.64
	3.5	1.48	12.7	2.4	4.6	14.58	0.871	11.5	0.793	1.2
	4	1.81	11.4	2.9	5.1	9.77	1.167	10.4	1.061	0.92
	4.5	2.18	10.3	3.4	5.6	6.86	1.502	9.4	1.365	—
	5	2.61	9.43	3.9	6.1	5.00	1.886	8.6	1.714	0.589
	6	3.61	8.04	4.5	7.5	2.89	2.782	7.3	2.529	0.409
	7	4.8	7	5.5	8.5	1.82	3.846	6.4	3.497	—
0.6①	3	1.14	23.7	1.8	4.2	48.00	0.494	21.5	0.449	3.39
	3.5	1.36	21.2	2.3	4.7	30.23	0.700	19.3	0.637	2.49
	4	1.63	19.05	2.8	5.2	20.25	0.941	17.3	0.855	1.91
	4.5	1.93	17.32	3.3	5.7	14.22	1.218	15.7	1.107	—
	5	2.27	15.86	3.8	6.2	10.37	1.530	14.4	1.390	1.22
	6	3.08	13.58	4.4	7.6	6.00	2.263	12.3	2.058	0.848
	7	4.4	11.86	5.4	8.6	3.78	3.138	10.8	2.852	0.623
	8	5.15	10.54	6.4	9.6	2.53	4.166	9.6	3.787	—

(续)

1	2	3	4	5	6	7	8	9		10									
								材料直径 $d$ (mm)	弹簧中径 $D_2$ (mm)		节距 $t$ (mm)	工作极限 负 荷 $P_j$ (N)	最大 心轴 直径 $D_{xmax}$ (mm)	最小 套筒 直径 $D_{rmin}$ (mm)	单圈刚度 ( $nP'$ ) (N/mm)	工作极限负 荷下的单圈 变形量 $f_j$ (mm)	弹簧产生应力 $\tau$ 为 $1000 \text{ N/mm}^2$ 时		初拉力 $P_0$ (N)
																	负 荷 $P_{1000}$ (N)	单圈变形量 $f_{1000}$ (mm)	
0.7	3.5	1.33	31.6	2.2	4.8	56.00	0.564	29.4	0.525	—									
	4	1.55	28.6	2.7	5.3	37.52	0.762	26.6	0.709										
	4.5	1.81	26.1	3.2	5.8	26.35	0.991	24.3	0.921										
	5	2.1	24	3.7	6.3	19.21	1.249	22.3	1.162										
	6	2.78	20.6	4.3	7.7	11.12	1.853	19.2	1.723										
	7	3.59	18.1	5.3	8.7	7.00	2.586	16.8	2.405										
	8	4.54	16.1	6.3	9.7	4.69	3.433	15.0	3.193										
	9	5.62	14.5	7.3	10.7	3.29	4.407	13.5	4.100										
0.8	4	1.52	41.2	2.6	5.4	64.00	0.644	38.3	0.599	6.03									
	4.5	1.74	37.8	3.1	5.9	44.95	0.841	35.2	0.782	—									
	5	1.99	34.8	3.6	6.4	32.77	1.062	32.4	0.988	3.87									
	6	2.58	30.1	4.2	7.8	18.96	1.588	28.0	1.477	2.68									
	7	3.28	26.5	5.2	8.8	11.94	2.219	24.6	2.065	1.97									
	8	4.1	23.6	6.2	9.8	8.00	2.950	22.0	2.744	1.51									
	9	5.04	21.3	7.2	10.8	5.62	3.790	19.8	3.526	1.19									
	10	6.1	19.4	8.2	11.8	4.10	4.732	18.1	4.402	—									
0.9	4	1.51	55.4	2.5	5.5	102.52	0.540	52.8	0.515	—									
	4.5	1.69	51	3②	6	72.00	0.708	48.6	0.675										
	5	1.91	47.2	3.5	6.5	52.49	0.899	45.0	0.856										
	6	2.41	40.9	4.1	7.9	30.38	1.346	39.0	1.282										
	7	3.01	36.1	5.1	8.9	19.13	1.887	34.4	1.797										
	8	3.72	32.3	6.1	9.9	12.81	2.519	30.7	2.401										
	9	4.53	29.2	7.1	10.9	9.00	3.244	27.8	3.090										
	10	5.44	26.6	8.1	11.9	6.56	4.055	25.3	3.863										
1	4.5	1.68	66.2	2.9	6.1	109.74	0.603	64.6	0.588	—									
	5	1.86	61.4	3.4	6.6	80.00	0.768	59.9	0.749	9.42									
	6	2.3	53.6	4	8	46.30	1.158	52.3	1.128	6.54									
	7	2.82	47.4	5	9	29.15	1.626	46.2	1.586	4.81									
	8	3.44	42.5	6	10	19.53	2.176	41.5	2.123	3.68									
	9	4.14	38.5	7	11	13.72	2.806	37.6	2.737	2.91									
	10	4.94	35.2	8	12	10.00	3.515	34.3	3.430	2.36									
	12	6.8	30	9	15	5.79	5.181	29.2	5.055	1.64									
	14	9.02	26.1	11	17	3.64	7.167	25.5	6.993	—									
1.2	6	2.18	84.1③	3.8	8.2	96.00	0.876	86.3	0.899	13.57									
	7	2.59	75	4.8	9.2	60.45	1.241	76.9	1.272	9.97									
	8	3.07	67.5	5.8	10.2	40.50	1.668	69.3	1.709	7.63									
	9	3.62	61.4	6.8	11.2	28.44	2.159	63.0	2.215	6.03									
	10	4.24	56.3	7.8	12.2	20.74	2.715	57.7	2.784	4.89									
	12	5.69	48.2	8.8	15.2	12.00	4.012	49.4	4.119	3.39									
	14	7.44	42.1	10.8	17.2	7.56	5.563	43.1	5.716	2.49									
	16	9.46	37.4	12.8	19.2	5.06	7.383	38.3	7.574	—									

(续)

1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
材料直径 $d$ (mm)	弹簧中径 $D_2$ (mm)	节距 $t$ (mm)	工作极限 负 荷 $P_i$ (N)	最大 心轴 直径 $D_{smax}$ (mm)	最小 套筒 直径 $D_{Tmin}$ (mm)	单圈刚度 ( $\pi P'$ ) (N/mm)	工作极限负 荷下的单圈 变形量 $f_i$ (mm)	弹簧产生应力 $\tau$ 为1000N/mm <sup>2</sup> 时		初拉力 $P_0$ (N)
								负 荷 $P_{1000}$ (N)	单圈变形量 $f_{1000}$ (mm)	
1.4	7	2.52	112	4.6	9.4	112.00	1.000	117.9	1.053	—
	8	2.91	101	5.6	10.4	75.03	1.346	106.3	1.417	
	9	3.36	92.2	6.6	11.4	52.70	1.750	97.1	1.841	
	10	3.87	84.7	7.6	12.4	38.42	2.205	89.2	2.321	
	12	5.07	72.9	8.6	15.4	22.23	3.278	76.7	3.452	
	14	6.51	63.9	10.6	17.4	14.00	4.561	67.3	4.800	
	16	8.18	56.8	12.6	19.4	9.38	6.059	59.8	6.374	
	18	10.1	51.2	14.6	21.4	6.59	7.765	53.9	8.178	
	20	12.6	46.6	15.6	24.4	4.80	9.702	49.1	10.219	
1.6	8	2.84	142	5.4	10.6	128.00	1.109	153.4	1.199	24.1
	9	3.22	130	6.4	11.6	89.90	1.446	140.5	1.563	19.1
	10	3.65	120	7.4	12.6	65.54	1.829	129.7	1.979	15.4
	12	4.66	104	8.4	15.6	37.93	2.731	112.0	2.952	10.7
	14	5.87	91.1	10.4	17.6	23.88	3.814	98.5	4.123	7.87
	16	7.29	81.2	12.4	19.6	16.00	5.075	87.8	5.487	6.03
	18	8.91	73.3	14.4	21.6	11.24	6.522	79.3	7.051	4.77
	20	10.7	66.8	15.4	23.6	8.19	8.154	72.2	8.815	—
	22	12.8	61.3	17.4	26.6	6.16	9.966	66.3	10.773	—
1.8	9	3.16	175	6.2	11.8	144.00	1.213	194.1	1.348	—
	10	3.52	162	7.2	12.8	104.98	1.539	179.5	1.710	
	12	4.39	140	8.2	15.8	60.75	2.309	155.9	2.566	
	14	5.42	124	10.2	17.8	38.26	3.234	137.5	3.594	
	16	6.64	111	12.2	19.8	25.63	4.318	123.0	4.797	
	18	8.02	100	14.2	21.8	18.00	5.556	111.1	6.173	
	20	9.59	91.2	15.2	24.8	13.12	6.953	101.4	7.725	
	22	11.3	83.9	17.2	26.8	9.86	8.510	93.2	9.454	
	25	14.3	74.8	20.2	29.8	6.72	11.132	83.1	12.370	
2	10	3.51	216	7	13	160.00	1.350	239.6	1.497	37.7
	12	4.28	188	8	16	92.59	2.030	208.9	2.256	26.2
	14	5.2	166	10	18	58.31	2.847	184.4	3.152	19.2
	16	6.28	149	12	20	39.06	3.820	165.6	4.232	14.7
	18	7.52	135	14	22	27.43	4.922	150.0	5.468	11.6
	20	8.92	123	15	25	20.00	6.173	136.7	6.835	9.42
	22	10.5	114	17	27	15.03	7.560	126.2	8.400	7.79
	25	13.1	101	20	30	10.24	9.912	112.8	11.013	—
	28	16.1	91.7	23	33	7.29	12.579	101.8	13.970	—
2.5	12	4.08	318	7.5	16.5	226.06	1.408	385.9	1.707	63.9
	14	4.73	284	9.5	18.5	142.36	1.995	344.3	2.418	47
	16	5.51	256	11.5	20.5	95.37	2.686	310.5	3.256	36
	18	6.4	233	13.5	22.5	66.98	3.481	282.7	4.220	28.4
	20	7.4	214	14.5	25.5	48.83	4.378	259.1	5.306	23
	22	8.52	197	16.5	27.5	36.69	5.379	239.2	6.519	19

(续)

1	2	3	4	5	6	7	8	9		10									
								材料直径 $d$ (mm)	弹簧中径 $D_2$ (mm)		节距 $t$ (mm)	工作极限 负 荷 $P_j$ (N)	最大 心轴 直径 $D_{xmax}$ (mm)	最小 套筒 直径 $D_{Tmin}$ (mm)	单圈刚度 ( $nP'$ ) (N/mm)	工作极限负 荷下的单圈 变形量 $f_j$ (mm)	弹簧产生应力 $\tau$ 为1000N/mm <sup>2</sup> 时		初拉力 $P_0$ (N)
																	负 荷 $P_{1000}$ (N)	单圈变形量 $f_{1000}$ (mm)	
2.5	25	10.4	177	19.5	30.5	25.00	7.074	214.4	8.574	14.7									
	28	12.6	160	22.5	33.5	17.79	9.000	194.3	10.920	—									
	30	14.2	151	24.5	35.5	14.47	10.412	182.6	12.620	—									
	32	15.9	142	25.5	38.5	11.92	11.934	172.4	14.466	—									
3	14	4.77	468	9	19	295.19	1.584	567.3	1.922	97.4									
	16	5.4	424	11	21	197.75	2.144	513.9	2.600	74.6									
	18	6.13	388	13	23	138.89	2.794	470.3	3.386	58.9									
	20	6.95	357	14	26	101.25	3.526	432.7	4.274	47.7									
	22	7.87	331	16	28	76.07	4.351	401.2	5.274	39.4									
	25	9.43	298	19	31	51.84	5.748	361.2	6.968	30.5									
	28	11.2	270	22	34	36.90	7.317	327.5	8.875	24.3									
	30	12.5	255	24	36	30.00	8.490	309.1	10.303	—									
	32	13.9	241	25	39	24.72	9.749	292.1	11.817	—									
	35	16.2	223	28	42	18.89	11.805	270.3	14.309	—									
38	18.7	207	31	45	14.76	14.024	250.9	17.000	—										
3.5	16	5.35	607	10.5	21.5	366.36	1.657	783.2	2.138	—									
	18	5.93	557	12.5	23.5	257.31	2.165	718.7	2.793	109									
	20	6.58	515	13.5	26.5	187.58	2.745	664.5	3.543	88.5									
	22	7.3	478	15.5	28.5	140.93	3.392	616.8	4.376	73.1									
	25	8.54	432	18.5	31.5	96.04	4.498	557.4	5.804	56.6									
	28	9.95	394	21.5	34.5	68.36	5.764	508.4	7.437	45.1									
	30	11	372	23.5	36.5	55.58	6.693	480.0	8.636	—									
	32	12.1	352	24.5	39.5	45.80	7.686	454.2	9.917	34.5									
	35	13.9	326	27.5	42.5	35.00	9.314	420.6	12.018	28.9									
	38	15.9	303	30.5	45.5	27.35	11.079	391.0	14.295	—									
40	17.3	290	32.5	47.5	23.45	12.367	374.2	15.957	22.1										
4	20	6.52	719	13	27	320.00	2.247	958.7	2.996	151									
	22	7.12	670	15	29	240.42	2.787	893.3	3.716	125									
	25	8.15	607	18	32	163.84	3.705	809.3	4.940	96.5									
	28	9.33	555	21	35	116.62	4.759	740.0	6.345	76.9									
	30	10.2	625	23	37	94.81	5.537	700.0	7.383	—									
	32	11.1	498	24	40	78.12	6.375	664.0	8.500	58.9									
	35	12.3	461	27	43	59.71	7.721	614.7	10.294	49.2									
	38	14.3	430	30	46	46.65	9.218	573.3	12.290	—									
	40	15.5	412	32	48	40.00	10.300	550.7	13.767	37.7									
	45	18.8	371	37	53	28.09	13.208	494.7	17.610	29.8									
50	22.5	338	42	58	20.48	16.504	450.7	22.005	—										
4.5	22	7.01	863	14.5	29.5	385.11	2.241	1232.9	3.201	200									
	25	7.85	786	17.5	32.5	262.44	2.995	1122.9	4.279	155									
	28	8.81	720	20.5	35.5	186.80	3.854	1028.6	5.506	123									
	30	9.52	682	22.5	37.5	151.88	4.490	974.3	6.415	—									
	32	10.3	647	23.5	40.5	125.14	5.170	924.3	7.386	94.4									

(续)

1	2	3	4	5	6	7	8	9		10									
								材料直径 $d$ (mm)	弹簧中径 $D_2$ (mm)		节距 $s$ $t$ (mm)	工作极限 负 荷 $P_j$ (N)	最大 心轴 直径 $D_{xmax}$ (mm)	最小 套筒 直径 $D_{Tmin}$ (mm)	单圈刚度 $(nP')$ (N/mm)	工作极限负 荷下的单圈 变形量 $f_j$ (mm)	弹簧产生应力 $\tau$ 为1000N/mm <sup>2</sup> 时		初拉力 $P_0$ (N)
																	负 荷 $P_{1000}$ (N)	单圈变形量 $f_{1000}$ (mm)	
4.5	35	11.5	602	26.5	43.5	95.64	6.294	860.0	8.992	78.9									
	38	12.9	562	29.5	46.5	74.73	7.520	802.9	10.743	—									
	40	13.9	538	31.5④	48.5	64.07	8.397	768.6	11.996	60.4									
	45	16.6	486	36.5	53.5	45.00	10.800	694.3	15.429	47.7									
	50	19.6	444	41.5	58.5	32.81	13.532	634.3	19.332	38.6									
	55	23	408	45.5	64.5	24.65	16.552	582.9	23.645	31.9									
5	25	7.93	1050	17	33	400.00	2.625	1500.0	3.750	236									
	28	8.79	964	20	36	284.71	3.386	1377.1	4.837	188									
	30	9.42	914	22	38	231.48	3.948	1305.7	5.641	154									
	32	10.1	869	23	41	190.73	4.556	1241.4	6.510	144									
	35	11.2	809	26	44	145.77	5.550	1155.7	7.928	120									
	38	12.4	757	29	47	113.90	6.646	1081.4	9.495	—									
	40	13.3	726	31	49	97.66	7.434	1037.1	10.620	92									
	45	15.7	657	36	54	68.59	9.579	938.6	13.684	72.7									
	50	18.5	600	41	59	50.00	12.000	857.1	17.143	58.9									
	55	21.5	552	45	65	37.57	14.693	788.6	20.990	48.7									
60	24.8	512	50	70	28.94	17.692	731.4	25.274	40.9										
6	30	9.4	1460	21	39	480.00	3.042	2163.0	4.506	339									
	32	9.93	1390	22	42	395.51	3.514	2059.3	5.207	298									
	35	10.8	1300	25	45	302.27	4.301	1925.9	6.372	249									
	38	11.8	1220	28	48	236.19	5.165	1807.4	7.652	—									
	40	12.5	1170	30	50	202.50	5.778	1733.3	8.560	191									
	45	14.4	1060	35	55	142.22	7.453	1570.4	11.042	151									
	50	16.5	974	40	60	103.88	9.394	1443.0	13.917	122									
	55	18.9	898	44	66	77.90	11.528	1330.4	17.078	101									
	60	21.6	834	49	71	60.00	13.900	1235.6	20.593	84.8									
	65	24.5	777	54	76	47.19	16.465	1151.1	24.393	72.3									
70	27.6	728	59	81	37.78	19.269	1078.5	28.547	62.3										
8	32	10.5	2800	20	44	1250.00	2.240	4485	3.584	—									
	35	11.1	2630	23	47	955.34	2.753	4208	4.405	—									
	38	11.7	2490	26	50	746.46	3.336	3984	5.337	—									
	40	12.2	2400	28	52	640.00	3.750	3840	6.000	603									
	45	13.5	2200	33	57	449.49	4.894	3520	7.831	477									
	50	14.9	2030	38	62	327.68	6.195	3248	9.912	386									
	55	16.5	1880	42	68	246.19	7.636	3008	12.218	319									
	60	18.3	1750	47	73	189.63	9.228	2800	14.766	268									
	65	20.3	1640	52	78	149.15	10.996	2624	17.593	228									
	70	22.4	1540	57	83	119.42	12.896	2464	20.633	197									
	75	24.7	1450	62	88	97.09	14.935	2320	23.895	—									
	80	27.2	1370	67	93	80.00	17.125	2192	27.400	151									
	85	29.9	1300	71	99	66.70	19.490	2080	31.184	—									
90	32.7	1240	76	104	56.19	22.068	1984	35.309	—										

(续)

1	2	3	4	5	6	7	8	9		10						
								工作极限 负 荷 $P_j(N)$	最大 心轴 直径 $D_{rmax}$ (mm)		最小 套筒 直径 $D_{Tmin}$ (mm)	单圈刚度 ( $nP'$ ) (N/mm)	工作极限负 荷下的单圈 变形量 $f_j(mm)$	弹簧产生应力 $\tau$ 为1000N/mm <sup>2</sup> 时		初拉力 $P_0(N)$
														负 荷 $P_{1000}(N)$	单圈变形量 $f_{1000}(mm)$	
10	40	14	5600	26	54	1562.5	3.584	7000	4.480							
	45	15.3	5170	31	59	1097.39	4.710	6462.5	5.889							
	50	16.7	4790	36	64	800.00	5.988	5987.5	7.484							
	55	18.3	4470	40	70	601.05	7.437	5587.5	9.296							
	60	20.1	4180	45	75	462.98	9.029	5225	11.286							
	65	22.1	3930	50	80	364.13	10.793	4912.5	13.491							
	70	24.2	3700	55	85	291.55	12.691	4625	15.683							
	75	26.5	3500	60	90	237.04	14.765	4375	18.457							
	80	29	3320	65	95	195.31	16.999	4150	21.248							
	85	31.7	3150	69	101 <sup>⑤</sup>	162.83	19.345	3937.5	24.182							
	90	34.5	3000	74	106	137.17	21.871	3750	27.338							
95	37.5	2870	79	111	116.64	24.606	3587.5	30.757								
100	40.7	2740	84	116	100.00	27.400	3425	34.250								
12	50	17.3	7840	34	66	1658.88	4.726	9800	6.908							
	55	18.6	7350	38	72	1246.34	5.897	9187.5	7.372							
	60	20.1	6900	43	77	960.00	7.188	8625	8.984							
	65	21.7	6510	48	82	755.07	8.622	8137.5	10.777							
	70	23.4	6150	53	87	604.65	10.173	7687.5	12.716							
	75	25.3	5830	58	92	491.52	11.861	7287.5	14.826							
	80	27.3	5540	63	97	405.00	13.679	6925	17.099							
	85	29.5	5280	67	103	337.65	15.637	6600	19.647							
	90	31.8	5040	72	108	284.44	17.719	6300	22.149							
	95	34.3	4820	77	113	241.85	19.930	6025	24.912							
	100	36.9	4620	82	118	207.36	22.280	5775	27.850							
	110	42.6	4260	92	128	155.79	27.345	5325	34.181							
120	48.9	3950	102	138	120	32.917	4937.5	41.146								
14	60	20.6	10470	41	79	1778.52	5.887	13087.5	7.359							
	65	21.9	9910	46	84	1398.85	7.084	12387.5	8.855							
	70	23.4	9400	51	89	1120	8.393	11750	10.491							
	75	25.0	8930	56	94	910.60	9.807	11162.5	12.258							
	80	26.7	8510	61	99	750.31	11.342	10637.5	14.177							
	85	28.5	8120	65	105	625.54	12.981	10150	16.226							
	90	30.5	7760	70	110	526.97	14.726	9700	18.407							
	95	32.6	7440	75	115	448.07	16.605	9300	20.756							
	100	34.8	7140	80	120	384.16	18.586	8925	23.233							
	110	39.6	6600	90	130	288.63	22.867	8250	28.583							
	120	44.9	6140	100	140	222.31	27.619	7675	34.524							
130	50.7	5730	109	151	174.86	32.769	7162.5	40.961								
16	65	22.7	14180	44	86	2386.38	5.942	17725	7.428							
	70	23.9	13490	49	91	1910.67	7.060	16862.5	8.825							
	75	25.3	12860	54	96	1553.45	8.273	16075	10.348							
	80	26.7	12270	59	101	1280	9.586	15337.5	11.982							



(续)

1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
材料直径 $d$ (mm)	弹簧中径 $D_2$ (mm)	节距 $t$ (mm)	工作极限 负 荷 $P_f(N)$	最大 心轴 直径 $D_{xmax}$ (mm)	最小 套筒 直径 $D_{Tmin}$ (mm)	单圈刚度 ( $nP'$ ) (N/mm)	工作极限负 荷下的单圈 变形量 $f_f(mm)$	弹簧产生应力 $\tau$ 为1000N/mm <sup>2</sup> 时		初拉力 $P_0(N)$
								负 荷 $P_{1000}(N)$	单圈变形量 $f_{1000}(mm)$	
16	85	28.3	11740	63	107	1067.14	11.001	14675	13.752	
	90	30	11250	68	112	898.98	12.514	14062.5	15.643	
	95	31.8	10790	73	117	764.38	14.116	13487.5	17.645	
	100	33.7	10370	78	122	655.36	15.823	12962.5	19.779	
	110	37.9	9610	88	132	492.38	19.517	12012.5	24.397	
	120	42.5	8960	98	142	379.26	23.625	11200	29.531	
	130	47.5	8380	107	153	298.30	28.093	10475	35.116	
	140	52.9	7880	117	163	238.83	32.994	9850	41.243	
	150	58.8	7410	127	173	194.18	38.160	9282.5	47.701	
18	75	25.9	17650	52	98	2488.32	7.093	22062.5	8.866	
	80	27.2	16890	57	103	2050.31	8.238	21112.5	10.297	
	85	28.6	16190	61	109	1709.36	9.471	20237.5	11.839	
	90	30.1	15530	66	114	1440	10.785	19412.5	13.481	
	95	31.7	14930	71	119	1224.39	12.194	18662.5	15.242	
	100	33.3	14370	76	124	1049.76	13.689	17962.5	17.111	
	110	36.9	13350	86	134	788.70	16.927	16687.5	21.158	
	120	41	12470	96	144	607.50	20.527	15587.5	25.688	
	130	45.4	11690	105	155	477.82	24.465	14612.5	30.582	
	140	50.2	11000	115	165	382.57	28.753	13750	35.941	
	150	55.4	10390	125	175	311.04	33.404	12987.5	41.755	
	160	61	9840	134	186	256.29	38.394	12300	47.993	
	170	67	9340	143	197	213.67	43.712	11675	54.640	
20	80	28	22380	55	105	3125	7.162	27975	8.952	
	85	29.2	21500	59	111	2605.33	8.252	26875	10.315	
	90	30.6	20670	64	116	2194.79	9.418	25837.5	11.772	
	95	31.9	19900	69	121	1866.16	10.664	24875	13.330	
	100	33.4	19180	74	126	1600	11.987	23975	14.984	
	110	36.7	17870	84	136	1202.10	14.866	22337.5	18.582	
	120	40.2	16720	94	146	925.93	18.508	20900	22.572	
	130	44.2	15710	103	157	728.27	21.572	19637.5	26.966	
	140	48.4	14800	113	167	583.09	25.382	18500	31.728	
	150	53.1	13980	123	177	474.07	29.510	17487.5	36.888	
	160	58	13270	132	188	390.63	33.971	16857.5	42.463	
	170	63.4	12610	141	199	325.67	38.720	15762.5	48.400	
	180	69.1	12080	151	209	274.35	44.031	15100	55.039	
	190	75.1	11470	160	220	233.27	49.170	14337.5	61.463	
25	100	35	34970	69	131	3906.25	8.952	43712.5	11.190	
	110	37.5	32800	79	141	2934.82	11.176	41000	13.970	
	120	40.3	30860	89	151	2260.56	13.651	38575	17.064	
	130	43.3	29120	98	162	1777.99	16.378	36400	20.473	
	140	46.7	27550	108	172	1423.56	19.353	34437.5	24.191	
	150	50.3	26130	118	182	1157.41	22.576	32662.5	28.220	
	160	54.2	24840	127	193	953.67	26.047	31050	32.568	

(续)

1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
								材料直径 $d$ (mm)	弹簧中径 $D_2$ (mm)	
								负 荷	单圈变形量	
								$P_{1000}$ (N)	$f_{1000}$ (mm)	
25	170	58.4	23670	136	204	795.08	29.771	29587.5	37.213	
	180	62.8	22610	146	214	669.80	33.756	28262.5	42.195	
	190	67.5	21630	155	225	569.51	37.980	27037.5	47.475	
	200	72.6	20730	165	235	488.28	42.455	25912.5	53.069	
	220	83.4	19140	184	256	366.85	52.174	23925	65.217	
30	120	42	50360	84	156	4687.50	10.743	62950	13.429	
	130	44.5	47730	93	167	3686.85	12.946	59662.5	16.183	
	140	47.2	45340	103	177	2951.89	15.360	56675	19.200	
	150	50.1	43150	113	187	2400	17.979	54117.3	22.549	
	160	53.3	41150	122	198	1977.54	20.809	51437.5	26.011	
	170	56.7	39310	131	209	1648.69	23.843	49375.9	29.949	
	180	60.3	37610⑥	141	219	1388.89	27.079	47283.3	34.044	
	190	64.2	36070	150	230	1180.93	30.544	45087.5	38.180	
	200	68.3	34630	160	240	1012.50	34.202	43287.5	42.753	
	220	77.2	32070	179	261	760.71	42.158	40087.5	52.697	
	240	87.1	29850	198	282	585.94	50.944	37312.5	63.680	
260	97.8	27910	217	303	460.86	60.561	34887.5	75.701		
35	140	49	68540	98	182	5468.75	12.533	85675	15.666	
	150	51.5	65460	108	192	4446.30	14.722	81825	18.403	
	160	54.1	62610	117	203	3663.64	17.090	78262.5	21.362	
	170	57	59980	126	214	3054.40	19.637	74975	24.547	
	180	60	57540	136	224	2573.09	22.362	71925	27.953	
	190	63.3	55270	145	235	2187.82	25.263	69087.5	31.578	
	200	66.7	53170	155	245	1875.78	28.346	66462.5	35.432	
	220	74.2	49390	174	266	1409.30	35.046	61737.5	43.807	
	240	82.6	46090	193	287	1085.52	42.459	57612.5	53.074	
	260	91.7	43190	212	308	853.79	50.586	53987.5	63.233	
	280	102	40630	231	329	683.59	59.436	50787.5	74.295	
300	112	38350	250	350	555.79	69.001	47937.5	86.251		
40	160	56	89520	112	208	6250	14.323	111900	17.904	
	170	58.5	85990	121	219	5210.67	16.503	107487.5	20.628	
	180	61	82680	131	229	4389.57	18.836	103350	23.544	
	190	63.9	79600	140	240	3732.32	21.327	99500	26.659	
	200	66.9	76710	150	250	3200	23.972	95887.5	29.965	
	220	73.3	71460⑦	169	271	2404.21	29.723	89325	37.154	
	240	80.5	66890	188	292	1851.85	36.121	83612.5	45.151	
	260	88.3	62820	207	313	1456.53	43.130	78525	53.912	
	280	96.9	59210	226	334	1166.18	50.773	74012.5	63.466	
	300	106	55970	245	355	948.15	59.031	69962.5	73.788	
	320	116	53070	264	376	781.25	67.930	66337.5	84.912	
45	180	63.1	113280⑧	126	234	7031.25	16.111	141600	20.139	
	190	65.5	109310	135	245	5978.46	18.284	136637.5	22.855	

(续)

1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
材料直径 $d$ (mm)	弹簧中径 $D_2$ (mm)	节距 $t$ (mm)	工作极限 负 荷 $P_j$ (N)	最大 心轴 直径 $D_{xmax}$ (mm)	最小 套筒 直径 $D_{Tmin}$ (mm)	单圈刚度 ( $nP'$ ) (N/mm)	工作极限负 荷下的单圈 变形量 $f_j$ (mm)	弹簧产生应力 $\tau$ 为1000N/mm <sup>2</sup> 时		初拉力 $P_0$ (N)
								负 荷 $P_{1000}$ (N)	单圈变形量 $f_{1000}$ (mm)	
45	200	68.1	105550	145	255	5125.78	20.592	131937.5	25.740	
	220	73.7	98680	164	276	3851.08	25.624	123350	32.030	
	240	80	92580	183	297	2966.31	31.210	115725	39.013	
	260	86.8	87150	202	318	2333.08	37.340	108937.5	46.675	
	280	94.3	82290	221	339	1868	44.052	102862.5	55.066	
	300	102	77920	240	360	1518.75	51.305	97400.0	64.132	
	320	111	73980	259	381	1251.41	59.117	92475	73.897	
	340	121	70410	278	402	1043.31	67.487	88012.5	84.359	
50	200	70.1	139870	140	260	7812.5	17.903	174837.5	22.379	
	220	75	131210	159	281	5869.65	22.354	164012.5	27.942	
	240	80.6	123440	178	302	4521.12	27.303	154300	34.129	
	260	86.7	116470	197	323	3555.99	32.753	145587.5	40.941	
	280	93.3①	110180	216	344	2847.12	38.699	137725	48.373	
	300	101	104510	235	365	2314.81	45.148	130637.5	50.436	
	320	108	99370	254	386	1907.35	52.098	124212.5	65.123	
	340	117	94670②	273	407	1590.17	59.635	118337.5	74.418	

注: 1. 本表适用于受变负荷作用次数 $N < 10^3$ 次及 $10^3 \sim 10^5$ 次或冲击负荷的冷卷与热卷普通圆柱螺旋压缩弹簧(其中第10栏初拉力只用于拉伸弹簧)。

2. 表中前六项(第1~6栏)的数值来源于GB2089—80, 该标准中各项参数的计算公式和有关参数见表6-2-23和6-2-24, 表中中间四项(第7~9栏)的数值是编者按下项公式计算的。

$$(nP') = \frac{Gd^4}{8D_2^3}, \quad G \text{ 的取值见表6-2-23}$$

$$f_j = P_j \frac{1}{(nP')}, \quad P_j \text{ 的取值见表6-2-23}$$

$$P_{1000} = P_j \frac{100}{\tau_j}, \quad \tau_j \text{ 的取值见表6-2-23及6-2-24}$$

$$f_{1000} = P_{1000} \frac{1}{(nP')}$$

3. 当选用压缩弹簧的材料抗拉强度 $\sigma_b$ 和 $G$ 值符合表6-2-23和6-2-24中相应的数值时(相当于GB4357—84碳素弹簧钢丝C组及60Si2MnA、60Si2Mn), 计算时可直接选用表中1~8栏各值。否则, 有关参数须相应加以换算。

4. 本表也适用于圆柱拉伸弹簧, 但 $P_j$ 和 $f_j$ 两项表值必须乘以0.8系数(因为拉伸弹簧许用应力为压缩弹簧许用应力的80%, 见GB1239—76)。

① 表中 $d = 0.6$ 各种规格的 $P_j$ 值与GB2089—80的 $P_j$ 值不同。本表值按表6-2-24规定的 $\tau_j = 0.5\sigma_b = 0.5 \times 2200 = 1100 \text{ N/mm}^2$ 计算的, 而标准GB2089—80是按 $\tau_j = 1075 \text{ N/mm}^2$ 计算的。

② GB2089—80为6, 恐排版有误。

③ GB2089—80为8.14kgf, 恐排版有误。

④ GB2089—80为41.5, 恐排版有误。

⑤ GB2089—80为161, 恐排版有误。

⑥ GB2089—80为37.6kgf, 恐排版有误。

⑦ GB2089—80为71.5kgf, 恐排版有误。

⑧ GB2089—80为11336kgf, 恐排版有误。

⑨ GB2089—80为73.3, 恐排版有误。

⑩ GB2089—80为9468kgf, 恐排版有误。

6-28

表6-2-23 普通圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧尺寸计算用的应力 (GB2089—80, GB2087—80)

适用范围	工作极限负荷 $P_j$	工作极限负荷 下变形量 $F_j$	许用切应力 [ $\tau$ ]		工作极限应力 $\tau_j$		切变模量 $G$ ( $N/mm^2$ )
			压簧	拉簧	压簧	拉簧	
变负荷作用次数 $<10^3$ 次	$\frac{\pi d^3 \tau_j}{8 D_2 K}$	$\frac{\pi D_2^3 n}{K G d} \tau_j$	0.5 $\sigma_b$	0.4 $\sigma_b$	$\tau_j \leq 1.12[\tau]$ 取 $\tau_j = [\tau]$		80000
变负荷作用次数 $10^3 \sim 10^5$ 次 及冲击负荷			0.4 $\sigma_b$	0.32 $\sigma_b$	$\tau_j \leq 1.25[\tau]$ 取 $\tau_j = 1.25[\tau]$		

表6-2-24 钢丝的抗拉强度 $\sigma_b$  (GB2089—80)

碳素弹簧钢丝							60Si2MnA 60Si2Mn
$d$ (mm)	0.5~0.6	0.8	1	1.2	1.6	2	>8
$\sigma_b$ ( $N/mm^2$ )	2200	2150	2050	1950	1850	1800	$\sigma_b = 1600$
$d$ (mm)	2.5~3	3.4~3.6	4	4.5~5	6	8	
$\sigma_b$ ( $N/mm^2$ )	1650	1550	1500	1400	1350	1250	

注：表中 $\sigma_b$ 值系碳素弹簧钢丝Ⅱ、Ⅱ<sub>a</sub>组 (YB248—64) 的抗拉强度下限值。此值与 GB4357—84碳素弹簧钢丝C组和 GB4358—84琴钢丝G 1组的数值相近似。

表6-2-25 圆柱螺旋弹簧计算用系数  $C, K, K_1, \frac{8}{\pi} K C^3$

(GB1239—76)

$C$	$K$	$K_1$	$\frac{8}{\pi} K C^3$	$C$	$K$	$K_1$	$\frac{8}{\pi} K C^3$
2.5	1.746		59.46	4.3	1.37		277.32
2.6	1.705		76.31	4.4	1.36		295.01
2.7	1.669		83.64	4.5	1.351	1.2	313.47
2.8	1.636		91.44	4.6	1.342		332.63
2.9	1.607		99.8	4.7	1.334		352.66
3	1.58		108.63	4.8	1.325		373.09
3.1	1.556		118.02	4.9	1.318		394.83
3.2	1.533		127.9	5	1.311	1.19	417.3
3.3	1.512		138.34	5.1	1.304		440.4
3.4	1.493		149.42	5.2	1.297		464.34
3.5	1.476		161.14	5.3	1.29		489.03
3.6	1.459		173.34	5.4	1.284		514.84
3.7	1.444		186.24	5.5	1.279	1.17	541.85
3.8	1.43		199.78	5.6	1.273		569.27
3.9	1.416		213.88	5.7	1.267		597.36
4	1.404	1.25	228.81	5.8	1.262		627.01
4.1	1.392		244.26	5.9	1.257		657.38
4.2	1.381		260.49	6	1.253	1.15	689.13

(续)

C	K	K <sub>1</sub>	$\frac{8}{\pi}KC^3$	C	K	K <sub>1</sub>	$\frac{8}{\pi}KC^3$
6.1	1.248		721.25	11.1	1.13		9934.4
6.2	1.243		754.26	11.2	1.128		4034.9
6.3	1.239		788.74	11.3	1.127		4140.5
6.4	1.235		824.39	11.4	1.126		4247.9
6.5	1.231	1.14	800.78	11.5	1.125		4355.8
6.6	1.227		898.14	11.6	1.124		4466.6
6.7	1.223		936.45	11.7	1.123		4579.3
6.8	1.22		976.75	11.8	1.122		4693.8
6.9	1.216		1017.1	11.9	1.121		4810.1
7	1.213	1.13	1059.5	12	1.12	1.07	4928.3
7.1	1.21		1102.6	12.1	1.118		5042.6
7.2	1.206		1146.1	12.2	1.117		5164.3
7.3	1.203		1191.6	12.3	1.116		5287.8
7.4	1.2		1238	12.4	1.115		5413.3
7.5	1.197	1.12	1285.9	12.5	1.114		5539.1
7.6	1.195		1335.5	12.6	1.114		5673.1
7.7	1.192		1385.7	12.7	1.113		5804.3
7.8	1.189		1436.6	12.8	1.112		5937.4
7.9	1.187		1490.2	12.9	1.111		6072.5
8	1.184	1.11	1543.5	13	1.11		6210.6
8.1	1.182		1599.4	13.1	1.109		6348.6
8.2	1.179		1655	13.2	1.108		6487.7
8.3	1.177		1713.5	13.3	1.107		6630.7
8.4	1.175		1773.4	13.4	1.106		6775.5
8.5	1.172	1.1	1832.5	13.5	1.106		6923.4
8.6	1.17		1894.9	13.6	1.105		7077.5
8.7	1.168		1958.1	13.7	1.104		7228.6
8.8	1.166		2023.2	13.8	1.103		7379.6
8.9	1.164		2089.5	13.9	1.102		7534.8
9	1.162	1.09	2156.7	14	1.102	1.06	7698.6
9.1	1.16		2225.7	14.1	1.101		7858
9.2	1.156		2296.2	14.2	1.1		8018.5
9.3	1.157		2369.3	14.3	1.099		8183.1
9.4	1.155		2442.6	14.4	1.099		8360
9.5	1.153		2517.3	14.5	1.098		8523.9
9.6	1.151		2592.6	14.6	1.097		8691.6
9.7	1.15		2672.3	14.7	1.097		8871.4
9.8	1.147		2751.3	14.8	1.096		9045.9
9.9	1.146		2830.9	14.9	1.095		9222.6
10	1.145	1.08	2915.2	15	1.095		9409.5
10.1	1.143		2998.6	15.1	1.094		9590.7
10.2	1.142		3086	15.2	1.093		9774.1
10.3	1.14		3171.5	15.3	1.093		9968.2
10.4	1.139		3262.1	15.4	1.092		10153.3
10.5	1.138		3354.3	15.5	1.091		10344.9
10.6	1.136		3444.4	15.6	1.091		10546.4
10.7	1.135		3539.9	15.7	1.09		10742
10.8	1.133		3634	15.8	1.09		10949.4
10.9	1.132		3732.8	15.9	1.089		11146.5
11	1.131		3833.2	16	1.088	1.05	11345.9

(七) 圆柱螺旋拉伸弹簧的设计计算

拉伸弹簧的强度和变形计算与压缩弹簧的完全相同，只是变形和应力的方向相反。因此，压缩弹簧的基本计算公式同样可用于拉伸弹簧。

拉伸弹簧的初拉力（初应力）取决于材料种类、材料直径、旋绕比和加工方法。采用卷制后不需淬火的弹簧钢丝制成的拉伸弹簧，均有一定的初拉力。如果不要初拉力，则各圈间应有间隙。卷成后经淬火的拉伸弹簧，没有初拉力。

对于有初拉力 $P_0$ 的拉伸弹簧，可以采用表6-2-3的公式，但是有关变形的计算公式中的 $P$ 应以 $P-P_0$ 代替，所以

$$\text{变形量: } F = \frac{8(P-P_0)D_2^3n}{Gd^4}$$

$$\text{弹簧刚度: } P' = \frac{P-P_0}{h}$$

$$\text{圈数: } n = \frac{Gd^4P}{8(P-P_0)D_2^3}$$

拉伸弹簧在拉伸时，钩环在A、B点处（图6-2-4）承受最大弯曲应力及切应力。对重要的拉伸弹簧，其应力可按式分别计算：

$$\sigma = \frac{16PD_2}{\pi d^3} \cdot \frac{r_1}{r_2}$$

$$\tau = \frac{8PD_2}{\pi d^3} \cdot \frac{r_3}{r_4}$$

式中  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 和 $r_4$ 见图6-2-4。推荐 $r_2 = r_4 \geq 2d$ 。

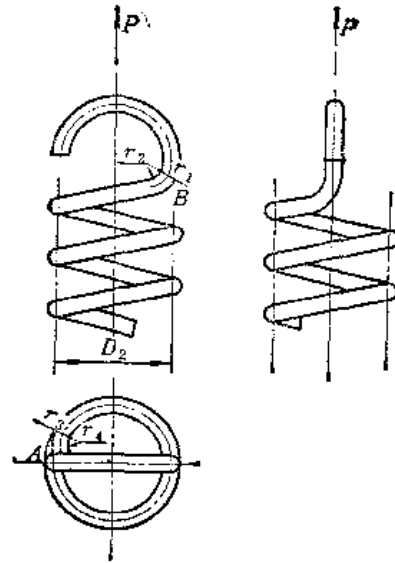


图6-2-4 拉簧拉伸时钩环的受力图（GB1239-76）

初拉力 $P_0$ 可从表6-2-22中查得，表值是按下式计算的（来源于GB2087-80及GB4142-84）。

$$P_0 = \frac{\pi d^3}{8D_2} \tau_0$$

式中  $\tau_0$ 为初应力， $\tau_0 = \frac{60}{C}$ 。

表6-2-22中的 $P_j$ 、 $f_j$ 、 $(nP')$ 、 $P_{1000}$ 、 $f_{1000}$ 各值也可用于拉伸弹簧，但由于拉伸弹簧的许用应力 $[\tau]$ 是压缩弹簧的80%（见GB1239-76），所以计算拉伸弹簧时， $P_j$ 和 $f_j$ 两项查表数值均须乘以0.8。

拉伸弹簧设计计算见表6-2-26及表6-2-27。

表6-2-26 拉伸弹簧设计计算之一

已知条件				选用弹簧种类及其材料	
拉伸弹簧的最小拉力 $P_1 = 180\text{ N}$ 最大拉力 $P_n = 340\text{ N}$ 工作行程 $h = 11\text{ mm}$ 弹簧外径 $D > 18\text{ mm}$ 负荷作用次数 $N < 10^8$ 次				弹簧种类 拉伸弹簧Ⅱ类 弹簧材料 碳素弹簧钢丝C组（GB4357-84） 端部结构 圆钩环压中心型	
计算部分					
序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	初算弹簧刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{P_n - P_1}{h}$	$P' = \frac{340 - 180}{11} = 14.5$
2	工作极限负荷	$P_j$	N	由于 $N < 10^8$ 次（表6-2-12） $P_j \geq P_n$	$P_j \geq 340$
3	初选材料直径和弹簧中径	$d$ $D_2$	mm	根据 $1.25P_j$ 和 $D$ 两值 从表6-2-22中选用 $d$ 、 $D_2$	$1.25P_j \geq 1.25 \times 340 = 425$ 从表6-2-22选用 $d = 3$ ， $D_2 = 14$ ， $P_j = 468$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
4	有效圈数	$n$	圈	从表6-2-22查 $(nP')$ $n = \frac{(nP')}{P'}$	$n = \frac{295.19}{14.5} = 20.35$ 按标准(表6-2-10)取 $n = 20$
5	自由长度	$H_0$	mm	按表6-2-17 $H_0 = (n + 1.5)d + 2D_2$	$H_0 = (20 + 1.5)3 + 2 \times 14 = 92.5$
6	展开长度	$L$	mm	$L = \pi D_2 n + \text{钩部展开长度}$	$L = \pi \times 14 \times 20 + 2\pi \times 14 = 968$

选用弹簧规格  $\phi 3 \times 14 \times 92.5$ ,  $n = 20$  则  $P' = \frac{(nP')}{n} = \frac{295.19}{20} = 14.76$

## 弹簧特性验算

1	弹簧初拉力	$P_0$	N	查表6-2-22	$P_0 = 97.4$
2	最小工作负荷下的变形量	$F_1$	mm	$F_1 = \frac{F_1 - P_0}{P'}$	$F_1 = \frac{180 - 97.4}{14.76} = 5.6$
3	最大工作负荷下的变形量	$F_n$	mm	$F_n = \frac{P_n - P_0}{P'}$	$F_n = \frac{340 - 97.4}{14.76} = 16.4$
4	所选用弹簧的极限变形量	$F_j$	mm	$F_j = f_j \times n \times 0.8 \text{①}$ $f_j$ 查表6-2-22	$F_j = 1.584 \times 20 \times 0.8 = 25.34$
5	实际极限变形量		mm	$F_n + \frac{P_0}{P'}$	$16.4 + \frac{97.4}{14.76} = 23$

所选弹簧  $F_j (= 25.34) > \left( F_n + \frac{P_0}{P'} \right)$ ,  $P_j (= 374.4) > P_n (= 340)$  满足要求

① 采用表6-2-22中 $P_j$ 、 $f_j$ 值计算拉伸弹簧时必须乘以0.8, 因为拉伸弹簧的许用应力为压缩弹簧的80%。

表6-2-27 拉伸弹簧设计计算之二

已知条件	选用弹簧种类及其材料
一回位弹簧, 最大拉力 $P_n > 30\text{N}$ 最小回位拉力 $P_1 = 12\text{N}$ 工作行程 $h = 40\text{mm}$ 负荷性质 冲击负荷	弹簧种类 II类拉伸弹簧 端部结构 半圆钩环型 弹簧材料 碳素弹簧钢丝C组

## 计算部分

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	初定弹簧刚度	$P'$	N	由于冲击负荷 $P' \leq \frac{P_n - P_1}{h}$	$P' \leq \frac{30 - 12}{40} \leq 0.45$ 取中间值 $P' \leq 0.225$
2	工作极限负荷	$P_j$	N	$P_j = 1.25 P_n$	按已知条件, 知 $12 < P_n < 30$ $\therefore P_j = 1.52(12 \sim 30)$ $= 15 \sim 37.5$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	实例计算			
3	初选材料直径和弹簧中径	$d$ $D_2$	mm	根据 $P_j$ 值从表6-2-22中选取	方案	A	B	C
					$d$	1	1	1.2
					$D_2$	10	12	14
					$P_j$ 表值	35.2	30	42.1
					$0.8P_j$	28.16	24	33.7
4	圈数	$n$	圈	从表6-2-22可查到相应的 $(nP')$ $n = \frac{(nP')}{P'}$ $P'$ 取中间值(0.225)	方案	A	B	C
					$(nP')$	10	5.79	7.56
					$n$ 计算值	44.44	25.73	33.6
					$n$ 按标准取(表6-2-10)	45	28	35
5	弹簧刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{(nP')}{n}$ $n$ 按标准取值	方案	A	B	C
					$P'$	0.222	0.207	0.218
6	自由长度	$H_0$	mm	$H_0 = (n+1)d + D_2$ (表6-2-17)	方案	A	B	C
					$H_0$	56	41	57.2
7	初拉力	$P_0$	N	从表6-2-22查取	方案	A	B	C
					$P_0$	2.36	1.64	2.49
8	最小工作负荷下的变形量	$F_1$	mm	$F_1 = \frac{P_1 - P_0}{P'}$	方案	A	B	C
					$F_1$	43.4	50	44
9	最大工作负荷下的变形量	$F_n$	mm	$F_n = F_1 + h$	方案	A	B	C
					$F_n$	83.4	90	84
10	极限负荷下的变形量	$F_j$	mm	$F_j = f_j \times n \times 0.8$ $f_j$ 查表6-2-22	方案	A	B	C
					$f_j$	3.52	6.181	5.563
					$F_j$	126.7	116.1	155.8
11	实际极限变形量		mm	$\left(\frac{P_0}{P'} + F_n\right) \cdot 1.25$	方案	A	B	C
						117.5	122.4	119.4
12	最大工作负荷	$P_n$	N	$P_n = P_0 + P'F_n$	方案	A	B	C
					$P_n$	20.87	20.27	20.63
					$1.25P_n$	26.1	25.3	25.8
13	工作极限负荷	$P_j$	N	查表6-2-22 $P_j = \text{表值} \times 0.8$	方案	A	B	C
					$(0.8P_j)$	28.16	24	33.7

按设计要求: ①  $F_j \geq \left(\frac{P_0}{P'} + F_n\right)$

②  $P_j > 1.25P_n$

从上表中的计算结果可知, 规格A和C两种规格弹簧满足上述二项要求, 均可采用。故选用拉簧

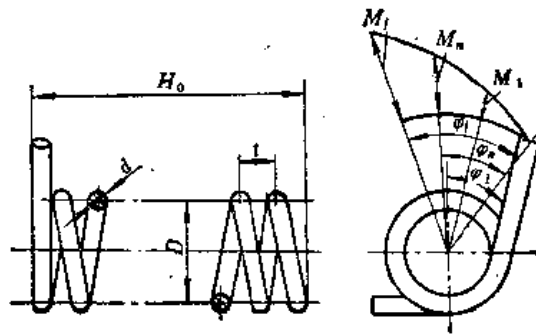
1×10×56 GB2087—80·C组

(八) 圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算

圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算见表6-2-28。



表6-2-28 圆柱螺旋扭转弹簧设计计算



已知条件		选用弹簧种类和材料
预加扭矩	$M_1 = 2000 \text{ N} \cdot \text{mm}$	弹簧类别 Ⅱ类扭簧 端部结构 外臂扭转 (表6-2-1) 弹簧材料 GB4357—84 碳素弹簧钢丝 C 组 $\sigma_b = 1300 \text{ N/mm}^2$ (查取) $[\sigma] = 0.625\sigma_b$ $= 0.625 \times 1300 = 812.5 \text{ N/mm}^2$ (表6-2-13)
最大工作扭矩	$M_n = 6000 \text{ N} \cdot \text{mm}$	
工作扭转角	$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 40^\circ$	
工作条件	受力平稳	

## 计算部分

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	暂选旋绕比	C		从表6-2-15选	为使尺寸紧凑, 暂定 $C = 6$
2	曲度系数	$K_1$		$K_1 = \frac{4C-1}{4C-4}$ , 或从表6-2-25选	$K_1 = 1.15$
3	材料直径	d	mm	$d = \sqrt[3]{\frac{32M_n K_1}{\pi[\sigma]}}$	$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 6000 \times 1.15}{\pi \times 812.5}}$ $= 4.42$ 按标准取值 $d = 4.5$ (表6-2-8) 对照表6-8-4, $d = 4.5$ 钢丝 (C 组), 其 $\sigma_b = 1620 \text{ N/mm}^2$ , 大于原暂定值, 故安全
4	弹簧中径及旋绕比	$D_2$ C	mm	$D_2 = Cd$	$D_2 = 6 \times 4.5 = 27$ 取标准值 $D_2 = 28$ (表6-2-8) 则 $C = \frac{D_2}{d} = \frac{28}{4.5} = 6.22$
5	弹簧圈数	n	圈	$n = \frac{Ed^4\varphi}{3667D_2(M_n - M_1)}$ E 值见表6-2-13	$n = \frac{2 \times 10^5 \times 4.5^4 \times 40}{3667 \times 28(6000 - 2000)} = 7.99$ 取整数 $n = 8$
6	弹簧刚度	$M'$	$\text{N} \cdot \text{mm}/(^\circ)$	$M' = \frac{Ed^4}{3667D_2n}$	$M' = \frac{2 \times 10^5 \times 4.5^4}{3667 \times 28 \times 8} = 99.8$
7	最大工作扭矩时的扭转角	$\varphi_n$	$(^\circ)$	$\varphi_n = \frac{M_n}{M'}$	$\varphi_n = \frac{6000}{99.8} = 60.12$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
8	预加扭矩时的扭转角	$\varphi_1$	(°)	$\varphi_1 = \varphi_n - \varphi$	$\varphi_1 = 60.12 - 40 = 20.12$
9	实际的预加扭矩	$M_1$	N·mm	$M_1 = M' \varphi_1$	$M_1 = 99.8 \times 20.12 = 2008$
10	工作极限弯曲应力	$\sigma_j$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_j = 0.8\sigma_b$ (表6-2-12)	$\sigma_b = 1520$ (表6-8-4) $\sigma_j = 0.8 \times 1520 = 1216$
11	工作极限扭矩	$M_j$	N·mm	$M_j = \frac{\pi d^3 \sigma_j}{32 K_1}$	$M_j = \frac{\pi \times 4.5^3 \times 1216}{32 \times 1.15} = 9455$
12	工作极限扭转角	$\varphi_j$	(°)	$\varphi_j = \frac{M_j}{M'}$	$\varphi_j = \frac{9455}{99.8} = 94.74$
13	工作极限扭转角下的弹簧内径	$D_1'$	mm	$D_1' = D_2 \frac{\pi}{n + \frac{\varphi_j}{360}} - d$	$D_1' = 28 \frac{8}{8 + \frac{94.74}{360}} - 4.5 = 22.6$ 如弹簧装有芯轴, 则其直径应 < 22, 建议取 20
14	弹簧节距	$t$	mm	$t = d + \delta$ 无特殊要求, $\delta = 0.5\text{mm}$	$t = 4.5 + 0.5 = 5$
15	自由长度	$H_0$	mm	$H_0 = nt + d$	$H_0 = 8 \times 5 + 4.5 = 44.5$
16	螺旋角	$\alpha$	(°)	$\alpha = \arctg \frac{t}{\pi D_2}$	$\alpha = \arctg \frac{5}{\pi \times 28} = 3.2533^\circ$ (3°15'12")
17	展开长度	$L$	mm	$L = \frac{\pi D_2 n}{\cos \alpha} + L_0$ $L_0$ —弹簧支承臂长度	$L = \frac{\pi \times 28 \times 8}{\cos \alpha} + L_0$ $= 704.85 + L_0$

选用 4.5×28×44.5 扭簧

### (九) 圆柱螺旋组合压缩弹簧的设计计算

圆柱螺旋组合压缩弹簧有直列式、并列式和同心并列组合弹簧三种。直列式组合弹簧, 其各个组成弹簧的作用力相等 (图6-2-5 b), 并列式 (图6-

2-5 a) 和同心并列组合弹簧 (图6-2-6) 各个组成弹簧的变形量相同。本手册只介绍同心并列组合弹簧。

为了保证同心并列组合弹簧的各个组成弹簧均能发挥其作用, 设计时必须满足以下条件:

1. 受载后总变形量与各组成弹簧的变形量相

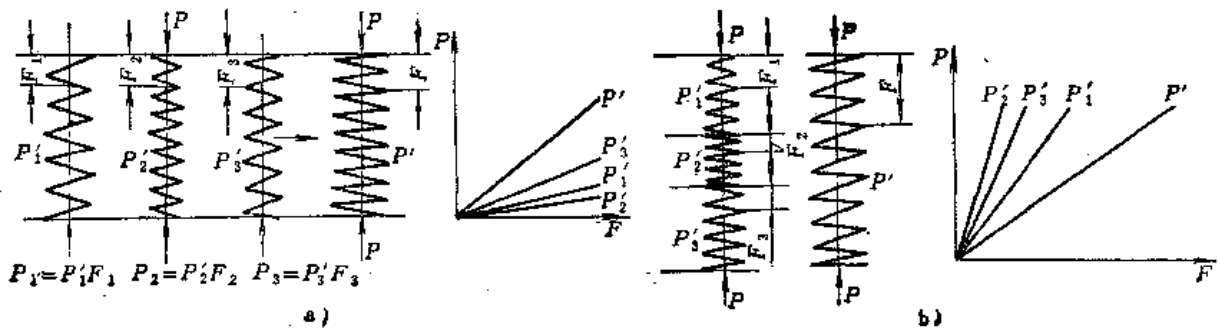


图6-2-5 组合弹簧的形式及其特性线

a) 并列式组合弹簧 b) 直列式组合弹簧

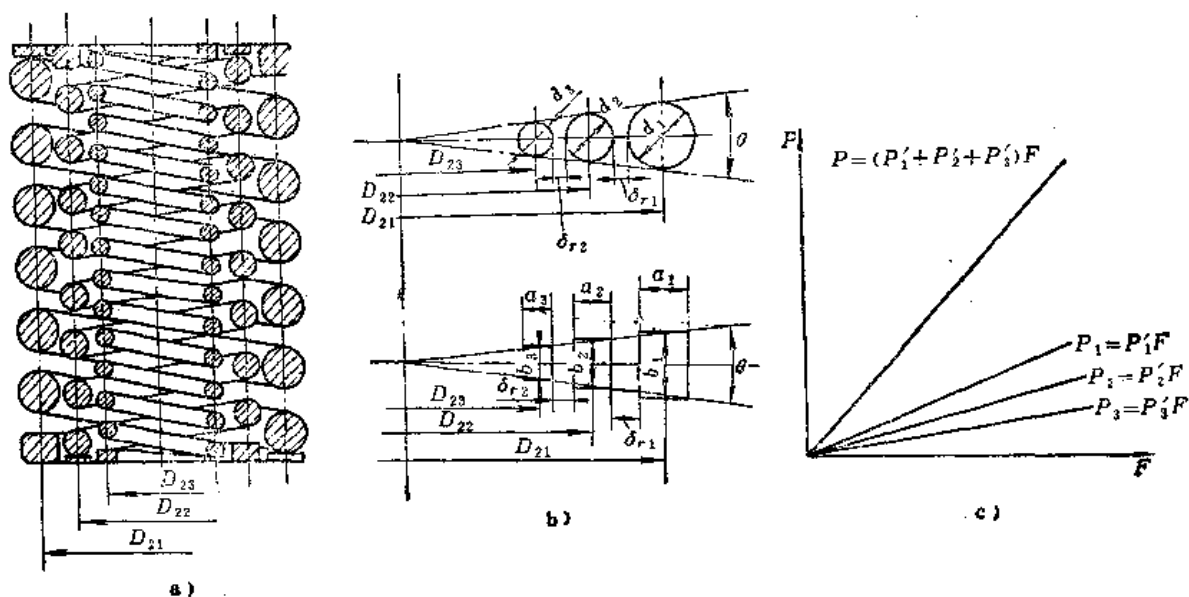


图6-2-6 等变形并列组合压缩螺旋弹簧

a) 并列组合弹簧 b) 截面尺寸参数关系 c) 刚度组合关系

等, 即

$$F = F_1 = F_2 = F_3 \dots = F_n,$$

2. 工作总负荷为各组成弹簧所受负荷之和,

即

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n,$$

3. 各组成弹簧的压并高度相等, 即

$$H_b = (n_1 - 0.5)d_1 = (n_2 - 0.5)d_2 = \dots = (n_n - 0.5)d_n$$

4. 各组成弹簧的旋绕比  $C$  相等, 即

$$C = \frac{D_{21}}{d_1} = \frac{D_{22}}{d_2} = \frac{D_{23}}{d_3} = \dots = \frac{D_{2n}}{d_n}$$

5. 各组成弹簧受载后的应力相等, 即

$$\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 \dots = \tau_n$$

为了防止相邻组成弹簧互相接触, 须依次改变组成弹簧的螺旋方向, 并要求相邻组成弹簧间的径向间隙  $\delta$ , 满足下列要求,

$$\delta_{r,i} = \frac{D_{1i} - D_{i+1}}{2} \geq \frac{d_i - d_{i+1}}{2}$$

式中  $i$  是各组成弹簧的序号, 以外弹簧为  $i = 1$ , 从外向内依次递增。

圆柱螺旋组合压缩弹簧的设计计算见表6-2-29至表6-2-31。

表6-2-29 圆柱螺旋同心并列组合弹簧设计计算之一

给 定 条 件		选 用 参 数	
承受的负荷	$P = 40000\text{N}$	两端圈并紧并磨平	
在 $P$ 负荷下的变形量	$F = 88\text{mm}$	两端圈各为 $3/4$ 圈 $n_2 = 0.75 \times 2$	
弹簧最大外径	$D \leq 210\text{mm}$	端圈末端厚度 $d/4$	
并紧高度	$H_b < 180\text{mm}$	$G = 80000\text{N/mm}^2$	
由 $P$ 产生的最大剪应力 $\tau$	$\tau = 550\text{N/mm}^2$	$K$ 见表6-2-3注②	
并紧应力	$\tau_b < 700\text{N/mm}^2$		

表中公式适用于由  $m$  个弹簧组成的同心组合弹簧, 从最外侧的弹簧数起, 第  $i$  个弹簧的  $D_2, d, n$  等都加下标:

序号	参数名称	代号	单位	计 算 公 式	举 例 计 算						
1	旋绕比	$C$		$\frac{H_b}{DK_2} = \frac{1}{1+C} + \frac{GF}{\pi \tau DK_2} \frac{K}{C^2}$ 并参阅图6-2-7, $K$ 见表6-2-25	$K_2 = 1$ $\frac{180}{210} = \frac{1}{1+C} + \frac{80000 \times 88}{\pi \times 550 \times 210 C^2}$ 即 $0.857 = \frac{1}{1+C} + 19.4 \frac{K}{C^2}$ 由图6-2-7可知满足上式要求的 $C$ 值为6						
				<table border="1"> <tr> <td>两端圈</td> <td><math>K_2</math></td> </tr> <tr> <td>1 圈</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>3/4 圈</td> <td>1</td> </tr> </table>	两端圈	$K_2$	1 圈	1.5	3/4 圈	1	
两端圈	$K_2$										
1 圈	1.5										
3/4 圈	1										

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
2	外圈(第1个)钢丝直径	$d_1$	mm	$d_1 = \frac{D}{1+C}$	$d_1 = \frac{210}{1+6} = 30$
3	有效圈的压并高度	$H_{be}$	mm	$H_{be} = H_b - d_1 K_2$	$K_2 = 1$ $H_{be} = 180 - 30 = 150$
4	组合弹簧所需的钢丝直径平方值之总和	$\Sigma d_i^2$	mm <sup>2</sup>	$\sum_{i=1}^m d_i^2 = \frac{8C^3 H_{be} P}{G F}$	$\sum_{i=1}^m d_i^2 = \frac{8 \times 6^3 \times 150}{80000}$ $\times \frac{40000}{88} = 1473$
5	钢丝直径平方值总和与已选用钢丝直径平方值之差		mm <sup>2</sup>	$\sum_{i=j+1}^m d_i^2 = \sum_{i=j}^m d_i^2 - d_j^2$ 如果结果为0则说明只要一个弹簧就能满足给定条件 ( $j = 1, 2, 3, \dots$ )	$j = 1$ $\sum_{i=2}^m d_i^2 = 1473 - 30^2 = 673 > 0$ 继续以下计算, 直到 $\sum_{i=1}^m d_i^2$ 为0或负值为止
6	第2个弹簧钢丝直径	$d_2$	mm	$d_i < \frac{C-1}{C+1} d_{i-1}$	$i = 2$ $d_2 < \frac{6-1}{6+1} d_1 < \frac{5}{7} \times 30 < 21.4$ 取 $d_2 = 20$
7	第3个弹簧钢丝直径	$d_3$	mm	重复5, 6序号计算	$j = 2$ $\sum_{i=3}^m d_i^2 = 673 - 20^2 = 173$ $d_3 = \sqrt{173} = 13.2$ $d_3 < \frac{6-1}{6+1} \times 20 = 14.3$ $d_3$ 取整数, $d_3 = 13 < 14.3$

此组合弹簧采用三个弹簧,  $d_1 = 30\text{mm}$ ,  $d_2 = 20\text{mm}$ ,  $d_3 = 13\text{mm}$ , 其直径平方值总和为  $\sum_{i=1}^m d_i^2 = d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 = 30^2 + 20^2 + 13^2 = 1469 \approx 1473$ , 可满足设计要求

8	各个弹簧中径	$D_{2i}$	mm	$D_{2i} = C d_i$	$i$	$C = 6$		
					$D_{2i}$	1	2	3
9	各个弹簧外、内径	$D_i, D_{1i}$	mm	$D_i = D_{2i} + d_i$ $D_{1i} = D_{2i} - d_i$	$i$	1	2	3
					$D_i$	210	140	91
					$D_{1i}$	150	100	65
10	各个弹簧有效圈数	$n_i$	圈	$n_i = H_{be}/d_i$	$i$	$n_i = 150/d_i$		
					$n_i$	5	7.5	11.5
11	各个弹簧总圈数	$n_{1i}$	圈	$n_{1i} = n_i + n_2$	$i$	$n_{1i} = n_i + 2 \times 0.75$		
					$n_{1i}$	6.5	9	13
12	各个弹簧自由高度	$H_0$	mm	$H_0 = H_b + F \frac{r_b}{\tau}$	$H_0 = 180 + 88 \frac{700}{550} = 292$			

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
13	各个弹簧压并高度	$H_{bi}$	mm	$H_{bi} = (n_{bi} - 0.5)d_i$	$i$ 1      2      3
					$H_{bi}$ 180      170      168
14	各个弹簧节距	$t_i$	mm	$t_i = \frac{H_{0i} - 1.5d_i}{n_i}$	$i$ 1      2      3
					$t_i$ 49.4      34.93      23.7
验算部分					
15	各个弹簧刚度	$P'_i$	N/mm	$P'_i = \frac{Gd_i}{8C^3n_i}$	$i$ 1      2      3
					$P'_i$ 277.8      123.5      52.3
16	组合弹簧刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{P}{F}$	$P' = \frac{40000}{88} = 454.5$
17	各个弹簧所承受的负荷	$P_i$	N	$P_i = P'_i F$	$i$ 1      2      3
					$P_i$ 24446      10868      4602
18	各个弹簧受载后的应力	$\tau_i$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_i = K \frac{8P_i C}{\pi d_i^3}$	$K = 1.253$ (表6-2-25)
					$i$ 1      2      3
					$\tau_i$ 520      520      521
19	各个弹簧间的径向间隙	$\delta_r$	mm	$\delta_{r,i} = \frac{D_{1i} - D_{i+1}}{2} \geq \frac{d_i - d_{i+1}}{2}$	第一个与第二个弹簧之间: $\delta_{r,1} = \frac{150 - 140}{2} = 5 \geq \frac{d_1 - d_{2+1}}{2}$
					$\frac{d_i - d_{i+1}}{2} = \frac{30 - 20}{2} = 5$
					第二个与第三个弹簧之间: $\delta_{r,2} = \frac{100 - 91}{2} = 4.5 > \frac{d_2 - d_{3+1}}{2}$
					$\frac{d_i - d_{i+1}}{2} = \frac{20 - 13}{2} = 3.5$

由以上验算可知:此组合弹簧的刚度 $P' = P'_1 + P'_2 + P'_3$ , 工作总负荷 $P = P_1 + P_2 + P_3$ , 受载后各弹簧的应力相等,  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$ , 且有一定的径向间隙 $\delta_r$ , 故可满足设计要求。

表6-2-30 圆柱螺旋同心并列组合弹簧设计计算之二

给 定 条 件		选 用 参 数	
承受负荷	$P = 12000\text{N}$	两端圈并紧并磨平	
在 $P$ 负荷下的变形量	$F = 50\text{mm}$	两端圈各一圈 $n_2 = 2 \times 1 = 2$	
由 $P$ 产生的最大剪应力	$\tau = 620\text{N/mm}^2$	端圈厚度 $d/4$	
弹簧最大外径	$D \leq 108\text{mm}$		
并紧高度	$H_b < 135\text{mm}$		
并紧应力	$\tau_b < 800\text{N/mm}^2$		

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	旋绕比 $C$	$C$		$\frac{H_b}{DK_2} = \frac{1}{1+C} + \frac{GF}{\pi\tau DK_2} \times \frac{K}{C^2}$ $K_2$ 见表6-2-29序号1	两端圈各一圈, $K_2 = 1.5$ $\frac{135}{108 \times 1.5} = \frac{1}{1+C}$ $+ \frac{80000 \times 50}{\pi \times 620 \times 108 \times 1.5 C^2} = \frac{K}{C^2}$ 即 $0.833 = \frac{1}{1+C} + 12.7 \frac{K}{C^2}$ 从图6-2-7可知, 满足上式要求的 $C$ 值: $C = 5$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
2	外圈(第1个)弹簧钢丝直径	$d_1$	mm	$d_1 = \frac{D}{1+C}$	$d_1 = \frac{108}{1+5} = 18$
3	有效圈数并高度	$H_{be}$	mm	$H_{be} = H_b - d_1 K_2$	$H_{be} = 135 - 18 \times 1.5 = 108$
4	组合弹簧所需的钢丝直径平方值之总和	$\sum d_i^2$	mm <sup>2</sup>	$\sum_{i=1}^m d_i^2 = \frac{8C^3 H_{be}}{G} \cdot \frac{P}{F}$	$\sum_{i=1}^m d_i^2 = \frac{8 \times 5^3 \times 108}{80000} \cdot \frac{12000}{50} = 324$
5	钢丝直径平方值总和与已选用钢丝直径平方值之差		mm <sup>2</sup>	$\sum_{i=j+1}^m d_i^2 = \sum_{i=j}^m d_i^2 - d_j^2$	$\sum_{i=2}^m d_i^2 = 324 - 18^2 = 0$
<p>由于 <math>\sum_{j=2}^m d_i^2 = 0</math>, 可知只需一个弹簧即能满足要求</p>					
6	弹簧中径	$D_2$	mm	$D_2 = C d_1$	$D_2 = 5 \times 18 = 90$
7	弹簧有效圈数	$n$	圈	$n = H_{be} / d$	$n = 108 / 18 = 6$
8	弹簧总圈数	$n_1$	圈	$n_1 = n + n_2$	$n_1 = 8$
9	自由高度	$H_0$	mm	$H_0 = H_b + F \frac{r_b}{\gamma}$	$H_0 = 135 + 50 \frac{800}{620} = 199.5$

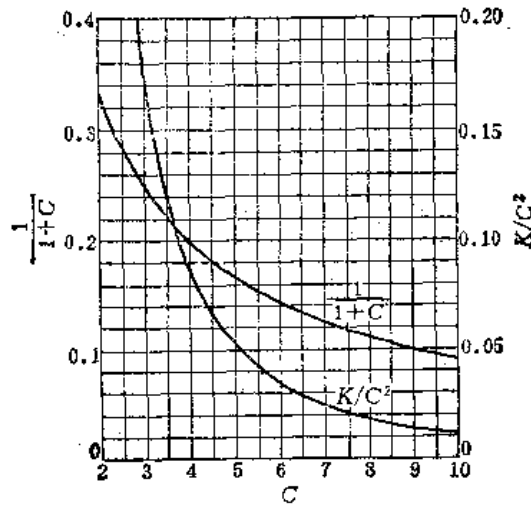


图6-2-7 同心组合螺旋弹簧设计用图表

表6-2-31 圆柱螺旋同心并列组合弹簧设计计算之三 (由内外两个弹簧组成时)

已知条件		选用弹簧类别及其材料	
最小工作负荷	$P_1 = 300\text{N}$	弹簧类别	II类
最大工作负荷	$P_2 = 800\text{N}$	弹簧端部结构	两端圈并紧并磨平
工作行程	$h = 10\text{mm}$	材料	碳素弹簧钢丝C组
负荷性质	冲击负荷		GB4357-84 (表6-8-4)

计算部分 (下角码  $e$  表示外弹簧,  $i$  表示内弹簧)

(续)

序号	名称	代号	单位	计算公式	举例计算																																	
1	内外弹簧的最大工作负荷	$P_{ne}$ $P_{ni}$	N	$P_{ne} = \frac{5}{7} P_n$ $P_{ni} = P_n - P_{ne}$	$P_{ne} = \frac{5}{7} \times 800 = 572$ $P_{ni} = 800 - 572 = 228$																																	
2	内外弹簧的最小工作负荷	$P_{1e}$ $P_{1i}$	N	$P_{1e} = \frac{5}{7} P_1$ $P_{1i} = P_1 - P_{1e}$	$P_{1e} = \frac{5}{7} \times 300 = 214$ $P_{1i} = 300 - 214 = 86$																																	
3	内外弹簧要求的刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{P_n - P_1}{h}$	$P'_e = \frac{572 - 214}{10} = 35.8$ $P'_i = \frac{228 - 86}{10} = 14.2$ $P' = P'_e + P'_i = 50$																																	
4	要求的工作极限负荷	$P_j$	N	$P_j \geq 1.25 P_n$ (表6-2-12)	$P_{je} \geq 1.25 \times 572 \geq 715$ $P_{ji} \geq 1.25 \times 228 \geq 285$																																	
5	初选材料直径及弹簧中径	$d$ $D_2$	mm	根据 $P_j$ 值, 从表6-2-22中选取, 其有关参数如右表	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>d</math></th> <th><math>D_2</math></th> <th><math>P_j</math></th> <th></th> <th><math>(nP')</math></th> <th><math>f_j</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>40</td> <td>726</td> <td rowspan="3">外簧</td> <td rowspan="3">97.66</td> <td rowspan="3">7.434</td> </tr> <tr> <td>4.5</td> <td>28</td> <td>720</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>70</td> <td>728</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>25</td> <td>298</td> <td rowspan="4">内簧</td> <td rowspan="4">51.84</td> <td rowspan="4">5.748</td> </tr> <tr> <td>3.5</td> <td>38</td> <td>303</td> </tr> <tr> <td>3.5</td> <td>40</td> <td>290</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>14</td> <td>284</td> </tr> </tbody> </table> <p>选取 <math>d_e = 5</math>, <math>D_{2e} = 40</math> <math>d_i = 3</math>, <math>D_{2i} = 25</math></p>	$d$	$D_2$	$P_j$		$(nP')$	$f_j$	5	40	726	外簧	97.66	7.434	4.5	28	720	6	70	728	3	25	298	内簧	51.84	5.748	3.5	38	303	3.5	40	290	2.5	14	284
$d$	$D_2$	$P_j$		$(nP')$	$f_j$																																	
5	40	726	外簧	97.66	7.434																																	
4.5	28	720																																				
6	70	728																																				
3	25	298	内簧	51.84	5.748																																	
3.5	38	303																																				
3.5	40	290																																				
2.5	14	284																																				
6	内外弹簧径向间隙	$\delta_r$	mm	$\delta_r = \frac{D_{1e} - D_{1i}}{2}$ $\geq \frac{d_e - d_i}{2}$	$\frac{d_e - d_i}{2} = \frac{5 - 3}{2} = 1$ $\delta_r = \frac{(40 - 5) - (25 + 3)}{2} = 3.5 \geq \frac{d_e - d_i}{2}$																																	
7	最大工作负荷下的变形量	$F_n$	mm	$F_n = \frac{P_n \times h}{P_n - P_1}$ $F_{ne} = F_{ni} = F_n$	$F_n = \frac{800 \times 10}{800 - 300} = 16$ $F_{ne} = F_{ni} = 16$																																	
8	选用弹簧的最大工作负荷	$P_n$	N	$P_n \leq 0.8 P_j$ $P_j$ 值查表6-2-22	$P_{ne} \leq 0.8 \times 726 \leq 580.8$ $P_{ni} \leq 0.8 \times 298 \leq 238.4$																																	
9	选用弹簧的最小工作负荷	$P_1$	N	$P_1 = \frac{P_n (F_n - h)}{F_n}$	$P_{1e} = \frac{580.8(16 - 10)}{16} = 217.8$ $P_{1i} = \frac{238.4(16 - 10)}{16} = 89.4$																																	
10	验算工作负荷	$P$	N	$P_e + P_i > P$	最大工作负荷 ( $P_n = 800$ ) $P_{ne} + P_{ni} = 580.8 + 238.4 = 819.2 > 800$ 最小工作负荷 ( $P_1 = 300$ ) $P_{1e} + P_{1i} = 217.8 + 89.4 = 307.2 > 300$																																	
11	最大工作负荷下的单圈变形量	$f_n$	mm	$f_n = 0.8 f_j$ $f_j$ 值查表6-2-22	$f_{ne} = 0.8 \times 7.434 = 5.95$ $f_{ni} = 0.8 \times 5.748 = 4.60$																																	

(续)

序号	名称	代号	单位	计算公式	举例计算
12	有效圈数	$n$	圈	$n = \frac{F_n}{J_n}$	$n_e = \frac{16}{6.96} = 2.89$ $n_i = \frac{16}{4.6} = 3.48$ 取标准值 (表6-2-9) $n_e = 2.75, n_i = 3.5$
13	总圈数	$n_1$	圈	$n_1 = n + n_2$ $n_2$ 见表6-2-17	$n_{1e} = 2.75 + 2 = 4.75$ $n_{1i} = 3.6 + 2 = 5.5$
14	最大工作负荷下的实际变形量	$F_n$	mm	$F_n = n f_n$	$F_{ne} = 2.75 \times 5.95 = 16.36$ $F_{ni} = 3.5 \times 4.6 = 16.1$
15	最小工作负荷下的实际变形量	$F_1$	mm	$F_1 = F_n \frac{P_1}{P_n}$	$F_{1e} = 16.86 \times \frac{217.8}{630.8} = 6.13$ $F_{1i} = 16.1 \times \frac{89.4}{238.4} = 6.03$
16	极限工作负荷下的变形量	$F_j$	mm	$F_j = n f_j$ $f_j$ 查表6-2-22	$F_{je} = 2.75 \times 7.434 = 20.44$ $F_{ji} = 3.5 \times 5.748 = 20.12$
17	节距	$t$	mm	$t = d + f_j$ (表6-2-17)	$t_e = 5 + 7.434 = 12.434$ $t_i = 3 + 5.748 = 8.748$
18	自由高度	$H_0$	mm	$H_0 = n t + 1.5 d$ (表6-2-17)	$H_{0e} = 2.75 \times 12.434 + 1.5 \times 5 = 41.69$ $H_{0i} = 3.5 \times 8.748 + 1.5 \times 3 = 35.12$ 内弹簧须加垫, 厚度为 (41.69 - 35.12) = 6.57
19	弹簧实际刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{(n P')}{n}$ ( $n P'$ )查表6-2-22	$P'_e = \frac{97.66}{2.75} = 35.6$ $P'_i = \frac{51.84}{3.5} = 14.8$ $P'_e + P'_i = 50.3 \approx P'$ (序号3)
20	旋绕比	$C$		$C = \frac{D_2}{d}$	$C_e = \frac{40}{5} = 8$ $C_i = \frac{25}{3} = 8.33$

从以上计算可知: 1) 内外弹簧受载后的变形量基本相等 (序号14~16), 同时  $F_{ne} < F_{je}$  和  $F_{ni} < F_{ji}$ ; 2) 径向间隙  $\delta_r \geq \frac{d_e - d_i}{2}$ 。所选弹簧  $5 \times 40 \times 41.69$  和  $3 \times 25 \times 35.12$  符合设计要求。

其余各项计算可参见表6-2-18~表6-2-21。

### (十) 圆柱螺旋弹簧技术条件

GB1239—76已更新为GB1239—89, 本节所介绍有关GB1239—76的内容在GB1239—89中已删除, 本节所作介绍仅供参考。圆柱螺旋弹簧技术条

件是根据国标GB1239—89编写的。它适用于冷卷普通圆截面 (弹簧材料直径  $d \geq 0.5$  mm) 的圆柱螺旋压缩、拉伸、扭转弹簧和热卷圆截面圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧; 不适用于特殊性能的弹簧。

(1) 精度等级 冷卷弹簧的弹簧特性和尺寸的精度等级分为1、2、3三个等级。热卷弹簧未分等级。

(2) 永久变形 冷、热卷压缩弹簧和热卷拉伸弹簧分别用试验负荷压缩或拉伸三次, 其永久变形量见表6-2-32。永久变形的测试方法是将弹簧成品用试验负荷压缩或拉伸三次后测量第二次和第三次压缩或拉伸后的自由高度 (长度) 变化值。



表 6-2-32

弹簧种类	永久变形量
冷卷压缩弹簧	<自由高度 $H_0$ 的0.3%
热卷压缩弹簧	<自由高度 $H_0$ 的0.5%
热卷拉伸弹簧	

对于冷卷拉伸弹簧、扭转弹簧的永久变形，标准未作规定。

(3) 弹簧特性 弹簧特性是指其工作负荷与变形量之间的关系。一般弹簧只作变形量检查，特殊需要时作弹簧刚度检查。

1) 弹簧变形量 冷卷弹簧(除扭转弹簧外)在指定高度(长度)的负荷下，弹簧变形量应在试验负荷下变形量的20%~80%之间。对于1级精度的冷卷弹簧，其指定高度(长度)下的变形量应在4mm以上。

热卷弹簧在指定高度的负荷下和在指定负荷的高度下，弹簧变形量均应在试验负荷下变形量的20%~80%之间。

测定弹簧特性时，以弹簧上允许承载的最大负荷作为试验负荷。

2) 弹簧刚度 特殊需要时采用弹簧刚度。对冷、热卷的压缩弹簧和拉伸弹簧，其变形量应在试验负荷下变形量的30%~70%之间。

冷、热卷压缩弹簧和拉伸弹簧的弹簧特性的测定，是将弹簧压缩或拉伸一次到试验负荷后进行。试验负荷 $P$ 按下式计算：

$$P_s = \frac{\pi d^3}{8D_2} \tau_s$$

式中 $\tau_s$ 为试验负荷下的应力，按表6-2-33、表6-2-34取值。对于压缩弹簧，计算出来的 $P_s > P_0$ 时，则以 $P_0$ 作为试验负荷。

表6-2-33 冷卷弹簧的试验应力 $\tau_s$ 

材料	油淬火回火钢丝	碳素弹簧钢丝	不锈钢丝	青铜线
压缩弹簧	$0.55\sigma_b$	$0.5\sigma_b$	$0.45\sigma_b$	$0.4\sigma_b$
拉伸弹簧	$0.44\sigma_b$	$0.4\sigma_b$	$0.36\sigma_b$	$0.32\sigma_b$

注： $\sigma_b$ —抗拉强度，见表6-8-2

(4) 弹簧特性的极限偏差

1) 冷卷压缩弹簧 指定高度时的负荷 $P$ 的极限偏差和弹簧刚度 $P'$ 的极限偏差见表6-2-35。

表6-2-34 热卷弹簧的试验应力 $\tau_s$   
(N/mm<sup>2</sup>)

材料	65Mn	55Si2Mn, 50CrVA 55Si2MnB, 60Si2Mn	55CrMnA 60CrMnA	60Si2MnA
压缩弹簧	569	740	711	910
拉伸弹簧	381	496	477	610

表6-2-35 负荷和弹簧刚度极限偏差

精度等级		1	2	3	
负荷 极限 偏差	有效 圈数 $n$	$\geq 3 \sim 10$	$\pm 0.05 P$	$\pm 0.10 P$	$\pm 0.15 P$
		$> 10$	$\pm 0.04 P$	$\pm 0.08 P$	$\pm 0.12 P$
弹簧 刚度 极限 偏差	有效 圈数 $n$	$\geq 3 \sim 10$	$\pm 0.05 P'$	$\pm 0.10 P'$	$\pm 0.15 P'$
		$> 10$	$\pm 0.04 P'$	$\pm 0.08 P'$	$\pm 0.12 P'$

2) 热卷压缩弹簧 自由高度在900mm以下并且在小于最大变形量的6倍、大于弹簧中径的0.8倍时，其特性极限偏差按下列规定。

① 指定负荷时高度的极限偏差 $\Delta H_p$ ：

$$\Delta H_p = \pm (1.5 + F_{p0} \times 3\%) \quad (\text{mm})$$

但其最小值应为自由高度的1%。式中的 $F_{p0}$ 为指定负荷时的计算变形量(mm)。

② 指定高度时负荷的极限偏差 $\Delta P_H$ ：

$$\Delta P_H = \pm (1.5 + F_{HC} \times 3\%) P' \quad (\text{N})$$

$$\text{或} \quad \Delta P_H = \pm \frac{1.5 + F_{HC} \times 3\%}{F_{HC}} \times 100 \quad (\%)$$

但 $(1.5 + F_{HC} \times 3\%)$ 的最小值应为自由高度的1%。式中的 $F_{HC}$ 为指定高度时计算变形量(mm)， $P'$ 为弹簧刚度(N/mm)。

③ 弹簧刚度的极限偏差为 $\pm 10\%$ 。

3) 冷卷拉伸弹簧(有效圈数 $n > 3$ ) 其指定长度时的负荷极限偏差 $\Delta P_l$ 按下式计算：

$$\Delta P_l = \pm [P_0 \alpha + (P_l - P_0) \beta]$$

式中的 $P_0$ 为初拉力(从表6-2-22查取或按6-30页公式计算)， $P_l$ 为指定长度时的负荷， $\alpha$ 、 $\beta$ 两系数见表6-2-36。

表6-2-36  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 系数

精度等级	1	2	3
$\alpha$	0.10	0.15	0.20
$\beta$	0.05	0.10	0.15
$\beta_1$	0.03	0.05	0.08
圈数	$\geq 3 \sim 10$	$> 10 \sim 20$	$> 20 \sim 30$
$\beta_2(^{\circ})$	10	15	20

表6-2-37 冷卷弹簧外径(内径)和自由高度(长度)极限偏差 (mm)

精度等级			1	2	3
外径极限偏差	旋绕比 $C(D/d)$	$\geq 4 \sim 8$	$\pm 0.01D_2$ , 最小 $\pm 0.15$	$\pm 0.015D_2$ , 最小 $\pm 0.2$	$\pm 0.025D_2$ , 最小 $\pm 0.4$
		$> 8 \sim 15$	$\pm 0.015D_2$ , 最小 $\pm 0.2$	$\pm 0.02D_2$ , 最小 $\pm 0.3$	$\pm 0.03D_2$ , 最小 $\pm 0.5$
		$> 15 \sim 22$	$\pm 0.02D_2$ , 最小 $\pm 0.3$ ①	$\pm 0.03D_2$ , 最小 $\pm 0.5$ ②	$\pm 0.04D_2$ , 最小 $\pm 0.7$ ③
自由高度极限偏差	旋绕比 $C(D/d)$	$\geq 4 \sim 8$	$\pm 0.01H_0$ , 最小 $\pm 0.2$	$\pm 0.02H_0$ , 最小 $\pm 0.5$	$\pm 0.03H_0$ , 最小 $\pm 0.7$ ④
		$> 8 \sim 15$	$\pm 0.015H_0$ , 最小 $\pm 0.5$	$\pm 0.03H_0$ , 最小 $\pm 0.7$	$\pm 0.04H_0$ , 最小 $\pm 0.9$ ⑤
		$> 15 \sim 22$	$\pm 0.02H_0$ , 最小 $\pm 0.6$	$\pm 0.04H_0$ , 最小 $\pm 0.8$ ⑥	$\pm 0.06H_0$ , 最小 $\pm 1$ ⑦
垂直度			$0.02H_0(1^\circ 26')$	$0.05H_0(2^\circ 52')$	$0.08H_0(4^\circ 34')$

注: 1. 本表数值适用于压缩弹簧。

2. ⑥⑦两项恐国标排版有误。

① 对于拉伸弹簧、扭转弹簧为 $\pm 0.02D_2$ , 最小 $\pm 0.4$ 。

② 对于扭转弹簧为 $\pm 0.03D_2$ , 最小 $\pm 0.6$ 。

③ 对于拉伸弹簧、扭转弹簧为 $\pm 0.04D_2$ , 最小 $\pm 0.8$ 。

④ 对于拉伸弹簧, 最小为 $\pm 0.6$ 。

⑤ 对于拉伸弹簧, 最小为 $\pm 0.8$ 。

⑥ 对于拉伸弹簧, 最小为 $\pm 0.3$ 。

⑦ 对于拉伸弹簧, 最小为 $\pm 0.1$ 。

4) 冷卷扭转弹簧 扭转弹簧的弹簧特性一般不作规定, 特殊需要时按下列规定, 即在指定扭转角时扭矩极限偏差 $\Delta M$ 按下式计算:

$$\Delta M = \pm (\varphi_0 \beta_1 + \beta_2) M'$$

式中的 $\varphi_0$ 为计算扭转角,  $M'$ 为弹簧刚度,  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 系数见表6-2-36。

(5) 弹簧外径(内径)极限偏差 冷卷弹簧外(内)径极限偏差见表6-2-37, 热卷弹簧见表6-2-38。

表6-2-38 热卷弹簧外径(内径)极限偏差 (mm)

自由高度 $H_0$	$\leq 250$	$> 250 \sim 500$	$> 500$
极限偏差	$\pm 0.01D_2$ , 最小 $\pm 1.5$	$\pm 0.015D_2$ , 最小 $\pm 1.5$	—

(6) 自由高度(长度)极限偏差 冷卷压簧、拉簧的自由高度(长度)极限偏差见表6-2-37, 热卷弹簧为自由高度(长度)的 $\pm 2\%$ 。当弹簧有特性要求时, 自由高度(长度)作为参考。

(7) 总圈数极限偏差 冷卷压缩弹簧总圈数极限偏差见表6-2-39; 冷卷拉伸弹簧的总圈数为参考值; 热卷压缩弹簧的极限偏差为 $\pm 1/4$ 圈, 热卷拉簧未作规定。

表6-2-39 冷卷压缩弹簧总圈数极限偏差 (圈)

总圈数 $n_1$	$\leq 10$	$> 10 \sim 20$	$> 20 \sim 50$
极限偏差	$\pm 0.25$	$\pm 0.5$	$\pm 1.0$

(8) 垂直度 冷卷压簧(端面磨平), 在自由状态下, 弹簧轴心线对两端面的垂直度见表6-2-37。热卷压簧两端圈制扁或磨平者, 其垂直度 $< 0.05H_0$ 。(习惯用 $2^\circ 52'$ )。

(9) 直线度 热卷压簧的直线度不超过其垂直度公差之半。


(10) 节距 等节距的冷、热卷压簧, 在压缩到全变形量的80%时, 其正常节距圈不得接触。

(11) 端圈磨削 冷卷压缩弹簧两端圈并紧并磨平的支承圈磨平部分 $\geq 3/4$ 圈, 其粗糙度 $R_a < 12.5\mu\text{m}$ , 端头厚度不小于 $d/8$ 。热卷压缩弹簧端圈支承部分应制扁或磨平, 其长度约为 $3/4$ 圈, 末端厚度约为材料直径的 $1/4$ , 宽度不大于材料直径。

(12) 其它尺寸极限偏差 冷卷拉伸弹簧见表6-2-40, 冷卷扭转弹簧见表6-2-41。

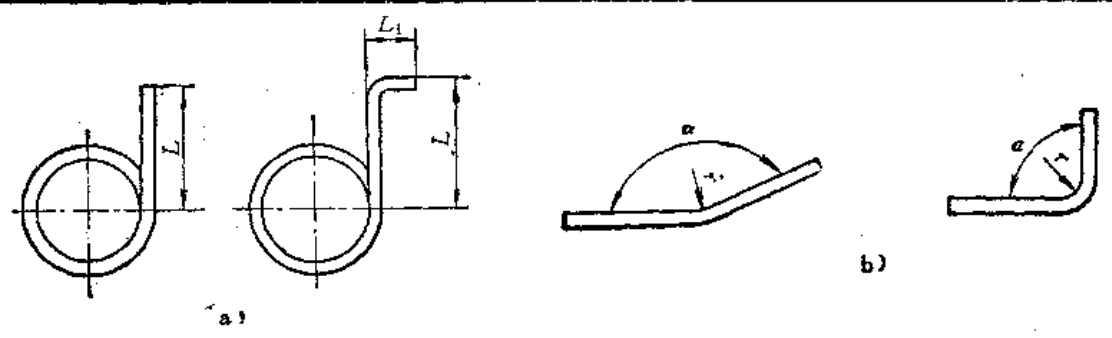
(13) 弹簧材料 弹簧应采用表6-8-1规定的材料。

表6-2-40 拉伸弹簧其它尺寸公差



弹簧中径 $D_2$ (mm)	>3~6	>6~10	>10~18	>18~25	>25~30	>30~50	>50~55	>55~120
拉簧两钩环相对角度公差 $\Delta$ (°) 图 a	40		30		20		15	
拉簧钩环中心面与弹簧轴心线位置度 $\Delta$ (mm) 图 b	0.5	1	1.5	2	2.5	3		

表6-2-41 扭转弹簧其它尺寸极限偏差



精度等级		1	2	3	
扭簧自由角度 (°)	有效圈数 $n$ (圈)	$\leq 3$	$\pm 8$	$\pm 10$	$\pm 15$
	$> 3 \sim 10$	$\pm 10$	$\pm 15$	$\pm 20$	
	$> 10 \sim 20$	$\pm 15$	$\pm 20$	$\pm 30$	
	$> 20 \sim 30$	$\pm 20$	$\pm 30$	$\pm 40$	

表值只适用于  $C = 4 \sim 22$  的弹簧

扭簧自由长度 $H_0$ (mm)	旋绕比 $C$	$\geq 4 \sim 8$	$\pm 0.015H_0$ , 最小 $\pm 0.3$	$\pm 0.03H_0$ , 最小 $\pm 0.6$	$\pm 0.05H_0$ , 最小 $\pm 1$
		$> 8 \sim 15$	$\pm 0.02H_0$ , 最小 $\pm 0.4$	$\pm 0.04H_0$ , 最小 $\pm 0.8$	$\pm 0.07H_0$ , 最小 $\pm 1.4$
		$> 15 \sim 22$	$\pm 0.03H_0$ , 最小 $\pm 0.6$	$\pm 0.06H_0$ , 最小 $\pm 1.2$	$\pm 0.09H_0$ , 最小 $\pm 1.8$
扭簧扭臂长度 $L$ (mm) 图 a	材料直径 $d$ (mm)	$\geq 0.5 \sim 1$	$\pm 0.02 L (L_1)$ , 最小 $\pm 0.5$	$\pm 0.03 L (L_1)$ , 最小 $\pm 0.7$	$\pm 0.04 L (L_1)$ , 最小 $\pm 1.5$
		$> 1 \sim 2$	$\pm 0.02 L (L_1)$ , 最小 $\pm 0.7$	$\pm 0.03 L (L_1)$ , 最小 $\pm 1$	$\pm 0.04 L (L_1)$ , 最小 $\pm 2$
		$> 2 \sim 4$	$\pm 0.02 L (L_1)$ , 最小 $\pm 1$	$\pm 0.03 L (L_1)$ , 最小 $\pm 1.5$	$\pm 0.04 L (L_1)$ , 最小 $\pm 3$
		$> 4$	$\pm 0.02 L (L_1)$ , 最小 $\pm 1.5$	$\pm 0.03 L (L_1)$ , 最小 $\pm 2$	$\pm 0.04 L (L_1)$ , 最小 $\pm 4$
扭簧扭臂的弯曲角度 $\alpha$ (°) 图 b		$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 15$	

(14) 热处理 冷卷(压、拉、扭)弹簧成形后需进行去应力退火处理, 硬度不考核。

热卷弹簧成形后必须进行均匀的淬火回火处理, 一般情况下, 淬火回火后的硬度 388~461 HBS(压痕直径3.1~2.85mm) 或HRC41.5~48。

用硬态青铜线冷卷的压缩弹簧需行应力退火处理, 硬度不考核, 用冷硬铍青铜线冷卷的压缩弹簧应时效处理。

须淬火回火处理的弹簧, 硬度值为 HRC42~52。用退火硬铍青铜线冷卷弹簧须淬火时效处理。

(15) 表面处理 冷卷(压、拉、扭)弹簧如镀层为锌、铬、镍时, 镀后必须去氢。

热卷弹簧表面应防锈处理。

**(十一) 液压件圆柱螺旋压缩弹簧**

液压件圆柱螺旋弹簧有部颁标准JB3338—83、《液压件圆柱螺旋弹簧技术条件》, 它适用于液压

元件中, 要求负荷特性线为直线的圆截面圆柱螺旋压缩弹簧(简称为液压件弹簧), 主要承受轴向负荷, 工作温度一般在 0°~90°C, 材料直径不大于 10mm。

液压件弹簧的尺寸系列按 GB1358—78《普通圆柱螺旋弹簧尺寸系列》, 见本章表 6-2-7~表 6-2-11。对于有特定尺寸要求的弹簧, GB1358—78确实不能满足要求时, 允许选用其它尺寸。材料直径尽量按系列选用。

液压件弹簧的术语名称和代号均采用表 6-2-2《圆柱螺旋弹簧常用术语名称及其代号》。

液压件弹簧的标记方法按照 GB 1239—76的规定, 参见本章第 2 节之(二), 但是其中弹簧直径的注法例外。外径定位安装的液压件弹簧, 其直径应标注外径, 反之标注内径。

**1. 液压件弹簧的负荷分类和弹簧分类(表 6-2-42, 表 6-2-43)**

表6-2-42 液压件弹簧负荷分类 (JB3338—83)

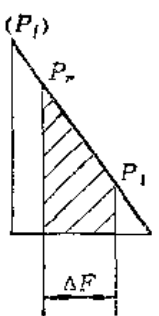
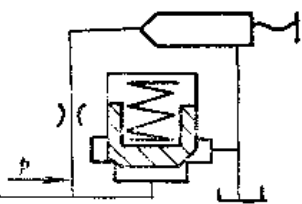
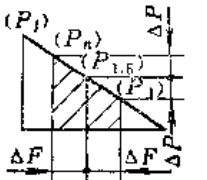
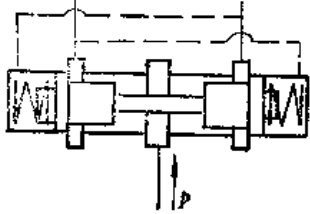
种类	负荷性质	工作切应力
I类	变负荷、工作循环次数 $N > 10^7$ 次	受疲劳极限限制
II类	变负荷、 $N = 10^4 \sim 10^7$ 次	受有限疲劳极限限制
III类	不变负荷及变负荷、 $N < 10^4$ 次和交变应力幅值很小 ( $< 10\%$ 疲劳极限)、 $N > 10^4$ 次	受扭转弹性极限及允许的松弛度限制

注: 材料的松弛度与应力值, 作用时间及工作温度有关。

表6-2-43 液压件圆柱螺旋压缩弹簧分类及典型工况 (JB3338—83)

类组	典型工况	设计已知条件	结构举例	应用场合	负荷特征
I II		$P_n, F_n$		用于阀芯为锥型的调压弹簧	工作负荷 $P_1$ 至 $P_n$ $P_1$ 为等 负荷性质属 II 类 或 III 类
				用于阀芯为滑阀型的调压弹簧	

(续)

类组	典型工况	设计已知条件	结构举例	应用场合	负荷特征
乙	1			先导型压力阀的主阀复位弹簧、调速阀的溢压阀弹簧和单向阀弹簧等	$P_1$ 为安装负荷 工作负荷经常在 $P_1$ 至小于 $P_n$ 的某一值, $P_n$ 为可能出现的最大负荷 负荷性质属 II 类
	2				
丙		$\Delta F, \Delta P$		比例换向阀和静压支承的滑阀反馈机构对中弹簧等	工作负荷在大于 $P_1$ 小于 $P_n$ 之间, $P_1$ 为安装负荷, 要求弹簧特性线性度好 负荷性质属 I 或 II 类

## 2. 液压件弹簧的材料 (表6-2-44至表6-2-48)

表6-2-44 液压件弹簧常用材料牌号 (JB3338—83)

材料名称	牌 号	标准号(旧标准号)
碳素弹簧钢丝	A组(Ⅲ组) B组(Ⅱ组、Ⅱ。组) C组(Ⅰ组)	GB4357—84(YB248—64)表6-8-4
50铬钒高	50CrVA	GB5220—85(YB285—64)表6-8-2 GB5219—85(YB249—64)
60硅2锰高	60Si2MnA	GB5218—85(YB249—64)表6-8-2
60硅2铬钒高	60Si2CrVA	YB249
油淬火铬钒阀门弹簧钢丝	50CrVA	GB2271—80表6-8-8
1铬18镍钛不锈钢丝	1Cr18Ni9Ti	YB252—79表6-8-9
硅青铜线	QSi3-1	GB3123—82(YB453—64)表6-8-13

表6-2-45 液压件弹簧材料选择 (JB3338—83)

材料直径 $d$ (mm)	甲 类 弹 簧	乙、丙类弹簧
$\leq 6$	碳素弹簧钢丝 C组 GB4357—84(表6-8-4)	碳素弹簧钢丝 B组 GB4357—84(表6-8-4) 50CrVA油淬火铬钒阀门弹簧钢丝 GB2271—80(表6-8-8)

材料直径 $d$ (mm)	甲 类 弹 簧	乙、丙类弹簧
>6	60Si2CrVA、60Si2MnA及50CrVA退火状态合金弹簧钢丝	

乳化液为工作介质时采用1Cr18Ni9Ti不锈钢丝 (表6-8-9)  
 要求非磁性材料的弹簧采用硅青铜QS13-1 (表6-8-13)

表6-2-46 液压件弹簧材料的扭转弹性极限 $\tau_s$  (JB3338—83)

材 料 名 称	牌 号	$\tau_s$ (kgf/mm <sup>2</sup> )
碳素弹簧钢丝	B组、C组	见图6-2-8
50CrVA油淬火阀门弹簧钢丝	50CrVA	
50铬钒高	50CrVA	75
60硅2锰高	60Si2MnA	80
60硅2铬钒高	60Si2CrVA	95
不锈钢	1Cr18Ni9Ti	55
硅青铜	QS13-1	45

注：取 $\tau_e = 0.5\sigma_s$

表6-2-47 液压件弹簧工作切应力 (JB3338—83)

弹簧类组	最大工作切应力 $\tau_s$ (安装切应力 $\tau_{1.8}$ )
甲类	$\tau_s \leq 0.6\tau_e$
乙类1组	$\tau_s \leq 0.7\tau_e$
乙类2组	$\tau_s \leq 0.6\tau_e$
丙类	$\tau_{1.8} \approx 0.45\tau_e$

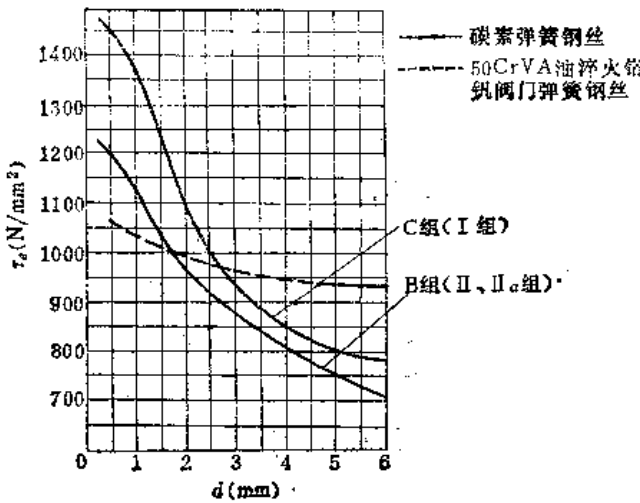


图6-2-8 碳素弹簧钢丝和50CrVA油淬火回火阀门弹簧钢丝扭转弹性极限 $\tau_s$

I、II、II<sub>c</sub>—YB248—64碳素弹簧钢丝  
 C、B—GB4357—84碳素弹簧钢丝

表6-2-48 切变模量G值 (JB3338—83)

材 料 名 称	G (N/mm <sup>2</sup> )
碳素弹簧钢丝 $d \leq 1.5$ mm	83000
$1.5$ mm $< d < 4.0$ mm	81500
$4 \leq d$ mm	80000
合金弹簧钢丝	80000
不锈钢丝 (1Cr18Ni9Ti)	73000
硅青铜线(QS13-1)	41000

3. 液压件弹簧参数选择及设计要求 (表6-2-49)

表6-2-49 液压件弹簧参数选择及设计要求 (JB3338—83)

弹 簧 类 组	甲 类	乙类2组	丙 类
特点及要求	受结构限制，一般具有较大的应力和较小的旋绕比	要求具有较小的轴向尺寸	要求具有较直的特性线
支承圈数， $n_2$	$\geq 2$ 圈	$\geq 2$ 圈	$\geq 2$ 圈

(续)

弹簧类组	甲类	乙类2组	丙类
有效圈数, $n$		2~3圈	$\geq 5$ 圈
总圈数, $n_1$	一般不为整数, 对于甲类1组的弹簧其尾数为0.5圈	一般不为整数	一般不为整数
旋绕比, $C$	$\geq 3$	较大	
工作变形量 $P_2$ 占全变形量的百分比		80~85%	30~60%
弹簧座(心轴)与弹簧内径之间的间隙	间隙应尽可能小, 以保证弹簧轴线与负荷力线重合, 它取决于弹簧压并时外径的增大量, 一般不小于0.2mm。压并后的弹簧外径 $D'$ 按下式计算:		
	$D' = D + 0.1 \frac{f^2 - 0.8fd - 0.2d^2}{D_2}$		

#### 4. 液压件弹簧的设计计算

液压件弹簧设计计算的基本公式同普通圆柱螺旋压缩弹簧计算基本公式。

设计计算时, 根据典型工况(表6-2-43)的设计已知条件, 换算为一个刚度, 一个负荷作为设计依据。甲、乙类弹簧已知条件给出工作负荷  $P_n$ , 刚

度: 甲类弹簧刚度  $P' = \frac{P_n}{F_n}$ , 乙类弹簧  $P' =$

$\frac{P_n - P_1}{\Delta F}$ 。丙类弹簧刚度  $P' = \frac{\Delta P}{\Delta F}$ , 安装负荷

$P_{1.5}$  约取  $3\Delta P$ 。此外, 还有直径、高度等限制。

下面以换向阀的复位弹簧和静压支承滑阀的反馈弹簧为例, 分别说明甲、乙、丙三类弹簧的设计计算方法, 见表6-2-50及表6-2-51。

在设计计算弹簧的几何尺寸之后, 如果计算自由高度  $H_0$  与给定的自由高度  $[H_0]$  有矛盾时, 其解决方法如下。

表6-2-50 液压件复位弹簧设计计算 (JB3338-83)

已知条件		选用弹簧种类及其材料	
换向复位弹簧		弹簧种类按表6-2-43选乙类2组	
自由高度尽量小		材料牌号按表6-2-45选强索弹簧钢丝B组	
最小工作负荷	$P_1 = 32.9 \text{ N}$	初选材料直径 $d = 2 \text{ mm}$	
最大工作负荷	$P_n = 54.6 \text{ N}$	扭转弹性极限 $\tau_e = 960 \text{ N/mm}^2$ (图6-2-8)	
工作行程	$\Delta F = 3.5 \text{ mm}$		
弹簧外径	$D \leq 21.5 \text{ mm}$		
负荷类型	I类 (表6-2-43)		

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	所要求的弹簧刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{P_n - P_1}{\Delta F}$	$P' = \frac{54.6 - 32.9}{3.5} = 6.2$
2	有效圈数(初选)	$n$	圈	按表6-2-49查取	$n = 2 \sim 3$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
3	初定单圈弹簧刚度	$P'_d$	N/mm	$P'_d = nP'$	$P'_d = (2\sim 3)6.2$ $= 12.4\sim 18.6$
4	初定最大工作切应力	$\tau_n$	N/mm <sup>2</sup>	按表6-2-47查取	$\tau_n = 0.6\tau_s = 0.6 \times 960 = 576$
5	计算 $P_{1000}$ 值	$P_{1000}$	N	$P_{1000} = \frac{P_n}{\tau_n} \times 1000$	$P_{1000} = \frac{54.6}{576} \times 1000 = 94.8$
6	钢丝直径	$d$	mm	按图6-2-9	$d = 1.8$ ①
7	试取旋绕比	$C$		按图6-2-9	$C = 9.8\sim 11.6$ ②, 试取 $C = 10.7$
8	弹簧中径	$D_2$	mm	$D_2 = d \cdot C$	$D_2 = 1.8 \times 10.7 = 19.26 \rightarrow 19.3$
9	实际旋绕比	$C$		$C = \frac{D_2}{d}$	$C = \frac{19.3}{1.8} = 10.72$
10	曲度系数	$K$		$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$ 或查表6-2-25	$K = \frac{4 \times 10.72 - 1}{4 \times 10.72 - 4} + \frac{0.615}{10.72}$ $= 1.1345$
11	单圈弹簧刚度	$P'_d$	N/mm	$P'_d = \frac{Gd}{8C^3}$ $G$ 查表6-2-48	$P'_d = \frac{81500 \times 1.8}{8 \times 10.72^3} = 14.89$
12	有效圈数	$n$	圈	$n = \frac{P'_d}{P'}$	$n = \frac{14.89}{6.2} = 2.402$ 取 $n = 2.4$
13	弹簧外径	$D$	mm	$D = D_2 + d$	$D = 19.3 + 1.8 = 21.1 \leq 21.5$ 满足要求
14	压并负荷	$P_b$	N	$P_b = \frac{P_n}{0.85}$	$P_b = \frac{54.6}{0.85} = 64.2$ 取 $P_b = 64$
15	工作极限负荷	$P_j$	N	$P_j = P_b$	$P_j = 64$
16	工作极限负荷下的变形量	$F_j$	mm	$F_j = \frac{P_j}{P'}$	$F_j = \frac{64}{6.2} = 10.3$
17	节距	$t$	mm	$t = \frac{P_j}{P'_d} + d$	$t = \frac{64}{14.89} + 1.8 = 6.1$
18	总圈数	$n_1$	圈	$n_1 = n + n_2$ $n_2$ 查表6-2-49取 $n_2 = 2.1$	$n_1 = 2.4 + 2.1 = 4.5$ 不是整数, 满足表6-2-49要求
19	理论压并高度	$H_b$	mm	$H_b = (n_1 - 0.5)d$	$H_b = (4.5 - 0.5) \times 1.8 = 7.2$
20	最大压并高度	$H_{bmax}$	mm	$H_{bmax} = n_1 \cdot d$	$H_{bmax} = 4.5 \times 1.8 = 8.1$
21	自由高度	$H_0$	mm	$H_0 = nt + (n_2 - 0.5)d$	$H_0 = 2.4 \times 6.1 + (2.1 - 0.5)1.8$ $= 17.52$ 取 $H_0 = 17.5$
22	最大工作负荷下的变形量	$F_n$	mm	$F_n = \frac{P_n}{P'}$	$F_n = \frac{54.6}{6.2} = 8.81$ 取 $8.8$
23	最小工作负荷下的变形量	$F_1$	mm	$F_1 = \frac{P_1}{P'}$	$F_1 = \frac{32.9}{6.2} = 5.31$ 取 $5.3$
24	最小工作负荷下的工作高度	$H_1$	mm	$H_1 = H_0 - F_1$	$H_1 = 17.5 - 5.3 = 12.2$

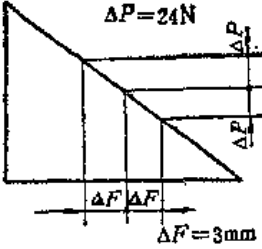


(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
25	最大工作负荷下的工作高度	$H_n$	mm	$H_n = H_0 - F_n$	$H_n = 17.6 - 8.8 = 8.7$
26	最小工作负荷下的切应力	$\tau_1$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_1 = \frac{8D_2K}{\pi d^3} P_1$	$\tau_1 = \frac{8 \times 19.3 \times 1.1345}{\pi \times 1.8^3} \times 32.9$ = 314.6
27	最大工作负荷下的切应力	$\tau_n$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_n = \frac{8D_2K}{\pi d^3} P_n$ $\leq$ 初定 $\tau_n$	$\tau_n = \frac{8 \times 19.3 \times 1.1345}{\pi \times 1.8^3} \times 54.6$ = 522 < 初定 $\tau_n$ (576)
	工作极限负荷下的切应力	$\tau_j$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_j = \frac{8D_2K}{\pi d^3} P_j < \tau_n$	$\tau_j = \frac{8 \times 19.3 \times 1.1345}{\pi \times 1.8^3} \times 64$ = 612 < 960

- ① 在图6-2-9中可用插值法得到一条 $P_{1000} = 94.8\text{N}$ 的曲线。根据 $P_{1000} = 94.8\text{N}$ 和 $P'_d = 12.4 \sim 13.6\text{N/mm}$ ，在图上有一段交线，交线右侧最近处有一条钢丝直径 $d = 1.8\text{mm}$ 的坐标值可作为选用值。
- ② 在图6-2-9上，根据上述①的交线和 $d = 1.8\text{mm}$ ，其对应旋绕比 $C = 9.8 \sim 11.6$ ，因为外径 $D < 21.5\text{mm}$ ，则 $C$ 值应小于10.9，现试取 $C = 10.7$ 。

表6-2-51 滑阀反馈弹簧设计计算 (JB3338—83)

已知条件	选用弹簧种类及其材料
静压支承滑阀反馈弹簧 安装空间高度 $H_{1.5} \leq 35\text{mm}$ 弹簧外径 $D < 16\text{mm}$ 工况负荷如下图 	弹簧种类 丙类 (表6-2-43) 材料牌号 碳素弹簧钢丝B组 表6-2-45 初选钢丝直径 $d = 2\text{mm}$ 扭转弹性极限 $\tau_n = 960\text{N/mm}^2$ (图6-2-8)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	安装负荷	$P_{1.5}$	N	$P_{1.5} = 3\Delta P$	$P_{1.5} = 3 \times 24 = 72$
2	弹簧刚度	$P'$	N/mm	$P' = \frac{\Delta P}{\Delta F}$	$P' = \frac{24}{3} = 8$
3	安装切应力(选用)	$\tau_{1.5}$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{1.5} = 0.45\tau_n$ (表6-2-47)	$\tau_{1.5} = 0.45 \times 960 = 432$
4	确定 $P_{1000}$ 值	$P_{1000}$	N	$P_{1000} = \frac{P_{1.5}}{\tau_{1.5}} \times 1000$	$P_{1000} = \frac{72}{432} \times 1000 = 167$
5	初定有效圈数	$n$	圈	按表6-2-49选取	$n \geq 5$
6	初定弹簧单圈刚度	$P'_d$	N/mm	$P'_d = nP'$	$P'_d = 5 \times 8 \geq 40$
7	材料直径	$d$	mm	从图6-2-9选取①	$d = 2$
8	旋绕比	$C$		从图6-2-9选取②	$C = 6.5$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
9	曲度系数	$K$		$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$ 或查表6-2-25	$K = 1.231$
10	弹簧中径	$D_2$	mm	$D_2 = d \cdot C$	$D_2 = 2 \times 6.5 = 13$
11	单圈刚度	$P'_d$	N/mm	$P'_d = \frac{Gd}{8C^3}$ $G$ 见表6-2-48	$P'_d = \frac{81500 \times 2}{8 \times 6.5^3} = 74$ 大于初定单圈刚度 $P'_d = 40$ , 满足要求
12	有效圈数	$n$	圈	$n = \frac{P'_d}{P'}$	$n = \frac{74}{8} = 9.25$
13	工作极限负荷	$P_j$	N	$P_j = \frac{\pi d^3}{8 D_2 K} \tau_s$	$P_j = \frac{\pi \times 2^3}{8 \times 13 \times 1.231} \times 960$ $= 188.5$ , 取 $P_j = 188$
14	节距	$t$	mm	$t = \frac{P_j}{P'_d} + d$	$t = \frac{188}{74} + 2 = 4.54$
15	总圈数	$n_1$	圈	$n_1 = n + n_2$ 查表6-2-49 $n_2 = 2$	$n_1 = n + n_2 = 9.25 + 2 = 11.25$
16	自由高度	$H_0$	mm	$H_0 = nt + (n_2 - 0.5)d$	$H_0 = 9.25 \times 4.54 + (2 - 0.5) \times 2$ $= 45$
17	工作极限负荷下的变形量	$F_j$	mm	$F_j = \frac{P_j}{P'}$	$F_j = \frac{188}{8} = 23.5$
18	最小工作负荷	$P_1$	N	$P_1 = 0.3P_j$	$P_1 = 0.3 \times 188 = 56.4$
19	最大工作负荷	$P_n$	N	$P_n = 0.6P_j$	$P_n = 0.6 \times 188 = 112.8$
20	安装负荷	$P_{1.5}$	N	$P_{1.5} = 0.45P_j$	$P_{1.5} = 0.45 \times 188 = 84.6$
21	最小工作负荷下的变形量	$F_1$	mm	$F_1 = 0.3F_j$	$F_1 = 0.3 \times 23.5 = 7.05$ 取 7
22	最大工作负荷下的变形量	$F_n$	mm	$F_n = 0.6F_j$	$F_n = 0.6 \times 23.5 = 14.1$
23	安装负荷下的变形量	$F_{1.5}$	mm	$F_{1.5} = 0.45F_j$	$F_{1.5} = 0.45 \times 23.5 = 10.6$
24	最小工作负荷下的弹簧高度	$H_1$	mm	$H_1 = H_0 - F_1$	$H_1 = 45 - 7 = 38$
25	最大工作负荷下的弹簧高度	$H_n$	mm	$H_n = H_0 - F_n$	$H_n = 45 - 14.1 = 30.9$
26	安装负荷下的弹簧高度	$H_{1.5}$	mm	$H_{1.5} = H_0 - F_{1.5}$	$H_{1.5} = 45 - 10.6 = 34.4$
27	最小工作负荷下的工作切应力	$\tau_1$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_1 = \frac{8D_2K}{\pi d^3} P_1$	$\tau_1 = \frac{8 \times 13 \times 1.231}{\pi \times 2^3} \times 56.4 = 287.8$
28	最大工作负荷下的工作切应力	$\tau_n$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_n = \frac{8D_2K}{\pi d^3} P_n$	$\tau_n = \frac{8 \times 13 \times 1.231}{\pi \times 2^3} \times 112.8$ $= 574.6$
29	安装切应力(校核计算)	$\tau_{1.5}$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{1.5} = \frac{8D_2K}{\pi d^3} P_{1.5} < \text{选用值}$	$\tau_{1.5} = \frac{8 \times 13 \times 1.231}{\pi \times 2^3} \times 84.6$ $= 431 < 432$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
30	压井切应力	$\tau_b$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_b = \frac{8D_2K}{\pi d^3} P_b$ 取 $P_b = P_j$	$\tau_b = \frac{8 \times 13 \times 1.231}{\pi \times 2^3} \times 188$ = 958
31	压井高度	$H_b$	mm	$H_b \approx (n_1 - 0.5)d$	$H_b = (11.25 - 0.5) \times 2 = 21.5$
32	最大压井高度	$H_{bmax}$	mm	$H_{bmax} = n_1 d$	$H_{bmax} = 11.25 \times 2 = 22.5$

①② 在  $P_{1000}$  曲线图 (图6-2-9) 上可找到  $P_{1000} = 167 \text{ N}$  和  $P_d' = 40 \text{ N/mm}$  的等值曲线, 在两曲线的交点最近处可找到  $d = 2 \text{ mm}$  的坐标线, 同时可看到旋绕比  $C$  在 8 以下均能满足切应力及刚度要求, 但由于外径  $D$  应小于 16 (已知条件), 则旋绕比应小于 7, 取  $C = 6.5$ 。

1) 当  $H_0 < [H_0]$  时, 有两种解决方法。

① 扩大节距, 增加自由高度  $[H_0 = tn + (n_2 - 0.5)d]$ 。这时  $\tau_b > \tau_s$ , 因此在图样上应标注工作极限高度  $H_j$ , 并注明不允许压过此值。  $H_j$  对应的工作极限切应力  $\tau_j = \tau_s$ 。

② 适当增加支承圈, 设增加的支承圈为  $\Delta n_2$ , 则

$$\Delta n_2 = \frac{[H_0] - H_0}{d}$$

2) 当  $H_0 > [H_0]$  时, 解决的方法:

① 若弹簧直径不受限制, 可适当增加  $C$  ( $D_2$ ) 则  $H_0$  会减小。

② 若弹簧直径不允许增大, 则应采用强压处理, 通过提高工作切应力  $\tau_2$  值, 降低  $P_{1000}$  值, 重新进行计算, 也可以减小  $H_0$ 。

### 5. 液压件弹簧的尺寸偏差和技术要求

液压件弹簧负荷 (或刚度)、外径 (或内径)、自由高度、总圈数和轴线对两端面的垂直度公差或极限偏差见表6-2-52至表6-2-57。

弹簧压缩至工作极限负荷下的高度时, 不允许有永久变形。

当弹簧要考核压井高度  $H_b \approx (n_1 - 0.5)d$  时,  $H_b$  应该小于等于最大压井高度  $H_{bmax} = n_1 \cdot d$ , 并须在图样上注明。

弹簧支承圈的端头应与邻圈贴合。当其不能贴合时, 其间隙极限值见表6-2-55。

弹簧支承圈的端面应经磨削, 磨削部分不少于端圈周长的 3/4。不允许有毛刺及锐边, 端头厚度不小于钢丝直径的 1/8。磨削表面粗糙度应不高于  $R_a = 6.3 \mu\text{m}$ 。当钢丝直径小于 0.3mm 时, 允许不磨削两端面。需要时, 弹簧可倒内 (外) 角, 但必须在图样上注明。

表6-2-52 液压件圆柱螺旋弹簧外径 (或内径) 的极限偏差 (JB3338—83)

类 组	旋绕比 $C$		最小偏差值 (mm)
	3~8	>8~16	
极限偏差			
甲	1	$\pm 0.01D_2$	—
	2		
乙	1	$\pm 0.015D_2$	—
	2		
丙	$\pm 0.01D_2$		—

表6-2-53 液压件圆柱螺旋弹簧自由高度 极限偏差 (JB3338—83)

类 组	自由高度 $H_0$ (mm)		最小偏差值 (mm)
	>20~60	>60~120	
极限偏差 (mm)			
甲	1	$\pm 1.0$	—
	2		
乙	1	不考核	—
	2		
丙	$\pm 0.012H_0$		$\pm 0.5$

表6-2-54 液压件圆柱螺旋弹簧总圈数 极限偏差 (JB3338—83)

总圈数 (圈)	极限偏差 (圈)
$\leq 10$	$\pm 0.25$
>10~20	$\pm 0.50$
>20~50	$\pm 1.00$

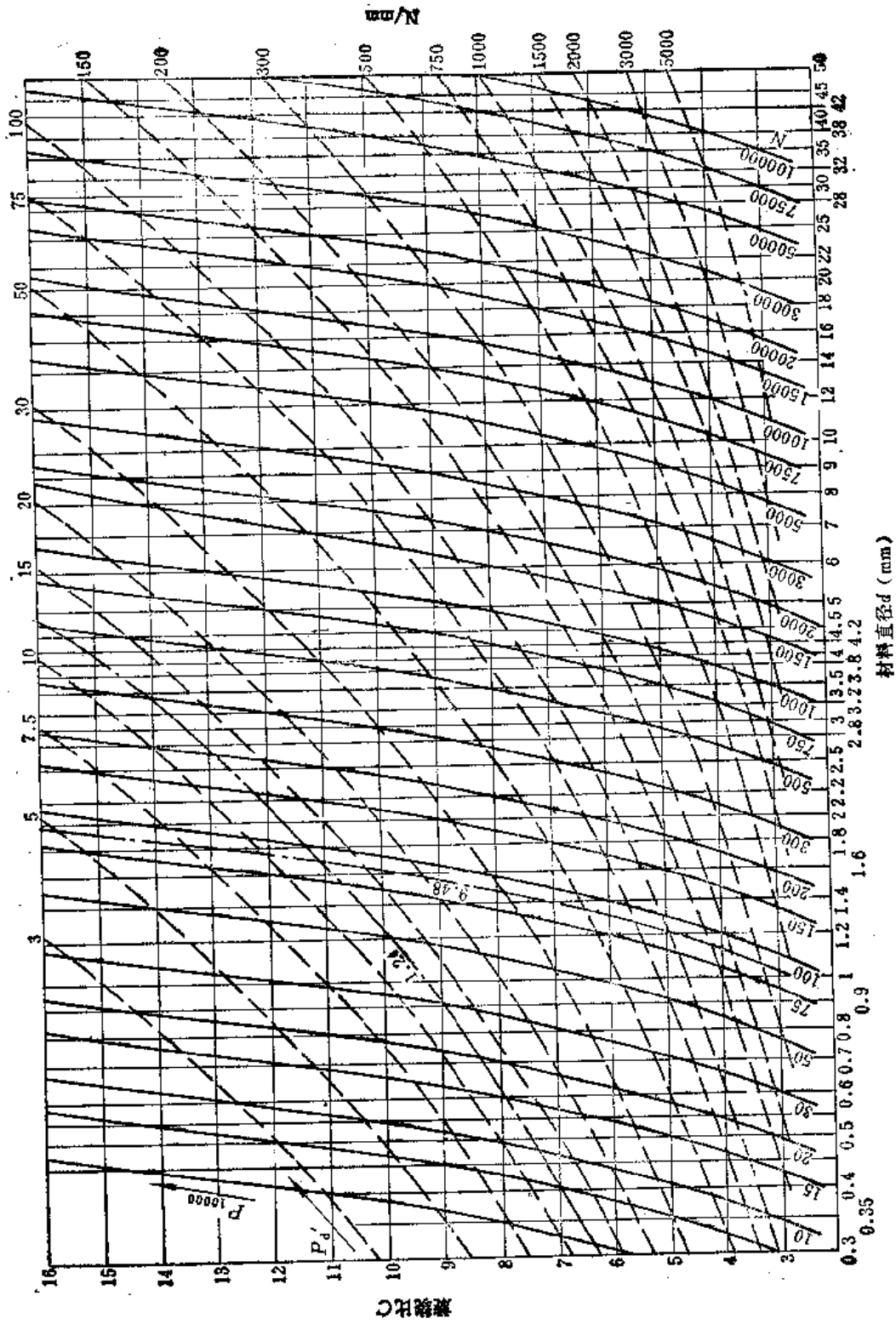


图6-2-9  $P_{1000}$ 曲线

表6-2-55 液压件弹簧支承圈端头与邻圈不贴合的极限偏差 (JB3338—83)

弹簧类组		旋 绕 比 C					
		3~8			>8~16		
		工 作 压 力 (MPa)					
		≤6.3	>6.3~20	>20	≤6.3	>6.3~20	>20
		极 限 间 隙 (mm)					
甲	1	≤0.2			≤0.1		—
	2	≤0.2			≤0.2		
乙		≤0.3			≤0.5		
丙		—					

表6-2-56 液压件弹簧轴线对两端面的垂直度公差 (JB3338—83)

弹 簧 类 别					
甲 1			甲 2、乙、丙		
工 作 压 力 (MPa)			高 径 比 b		
≤6.3	>6.3~20	>20	≤3	>3~5	
公 差			公 差		
0.017H <sub>0</sub>	0.012H <sub>0</sub>	0.008H <sub>0</sub>	0.017H <sub>0</sub>	0.025H <sub>0</sub>	
最小公差值0.5mm	最小公差值0.4mm	最小公差值0.3mm	最小公差值0.5mm		

注：当  $b > 5 \sim 10$  时，只要求弹簧能直立。

表6-2-57 液压件弹簧负荷（或刚度）的极限偏差 (JB3338—83)

弹簧类组		有 效 圈 数 n (圈)		
		>2~4	>4~10	>10
		极 限 偏 差		
甲	1	±0.12P <sub>n</sub>	±0.10P <sub>n</sub>	±0.08P <sub>n</sub>
	2	±0.12P <sub>n</sub>	±0.10P <sub>n</sub>	±0.08P <sub>n</sub>
乙	1	±0.12P <sub>1</sub> 或±0.12P <sub>n</sub>	±0.10P <sub>1</sub> 或±0.10P <sub>n</sub>	±0.08P <sub>1</sub> 或±0.08P <sub>n</sub>
	2	±0.12P <sub>1</sub> 或±0.08P <sub>n</sub>	±0.10P <sub>1</sub> 或±0.06P <sub>n</sub>	±0.08P <sub>1</sub> 或±0.05P <sub>n</sub>
丙		—	±0.06P'	±0.05P'

#### 6. 液压件弹簧的热处理和表面处理

(1) 用不需要淬火的弹簧钢丝和硬态的硅青铜线卷制的弹簧均须进行回火处理，其硬度不予考核。

(2) 须经淬火、回火处理的弹簧（材料直径一般大于6mm），其硬度值在HRC44~52范围内选取，硬度差为五个单位。建议甲类弹簧取HRC48~52，乙和丙类弹簧取HRC44~48。

(3) 经淬火、回火处理的弹簧，其金相组织

应为回火屈氏体，允许有少量索氏体及未溶碳化物。当硬度值大于HRC50时，允许有少量回火马氏体。

(4) 经淬火、回火处理的冷卷弹簧，单边脱碳层（铁素体+过渡层）的深度，允许比原材料标准规定的脱碳层深度再增加材料直径的0.25%。

(5) 喷丸处理 为了提高乙和丙类弹簧的疲劳寿命可进行喷丸处理。

钢丝直径  $d < 1.8\text{mm}$  或间距  $\delta < 1.2\text{mm}$  的弹

簧，不宜进行喷丸处理。硅青铜线弹簧不应进行喷丸处理。

(6) 立定处理 弹簧热处理后，经数次短暂压缩以达到自由高度稳定的目的的一种工艺方法。压缩高度按图样上规定的工作极限负荷下的高度  $H_j$ ，允许该值大于或等于压并高度  $H_0$ 。 $H_j$  对应的工作极限切应力为  $\tau_j$ ，当  $\tau_j = (0.8 \sim 1.0) \tau_s$  时应采用立定处理。

在设计时，建议  $H_j = H_0$ ， $\tau_j = \tau_s$ ，则  $\tau_j = \tau_s = \tau_0$ 。

(7) 强压处理 将弹簧压缩至使其材料表层

应力超过弹性极限状态下，保持一定时间以达到强化或稳定尺寸的一种工艺方法。也可用几十次短暂压缩代替长时间保压。

强压处理的弹簧，其压并切应力  $\tau_c$  应大于扭转弹性极限  $\tau_0$ 。

当弹簧安装空间受到限制时，需缩小弹簧的结构尺寸，为达到设计要求，应采用强压处理。

弹簧强化程度，决定于材料及旋绕比。经强压处理的弹簧其切应力值最高可提高25%左右。

(8) 表面处理 弹簧应进行防锈处理。

7. 液压件弹簧检查项目 (表6-2-58)

表6-2-58 液压件弹簧检查项目 (JB3338-83)

类 组	主 要 项 目	一 般 项 目
甲	1 垂直度，两支承圈的端头与邻圈的间隙，外(内)径，毛刺，永久变形	负荷，自由高度，表面粗糙度，表面缺陷
	2 外(内)径，毛刺，永久变形	负荷，自由高度，垂直度，两支承圈的端头与邻圈间隙，表面粗糙度，表面缺陷
乙	1 负荷，外(内)径，毛刺	垂直度，表面粗糙度，表面缺陷
	2 负荷，外(内)径，压并高度，毛刺	垂直度，表面粗糙度，表面缺陷
丙	刚度，外(内)径，毛刺	自由高度，垂直度，两支承圈的端头与邻圈间隙，表面缺陷

制造、试验和验收技术条件

(十二) 圆柱螺旋弹簧典型工作图

2. 拉伸弹簧典型工作图 (图6-2-11)

1. 压缩弹簧典型工作图 (图6-2-10)

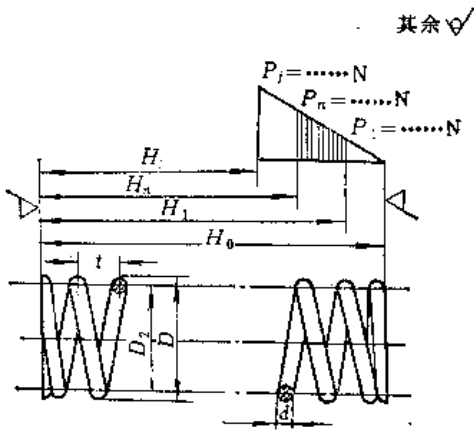


图6-2-10 压缩弹簧典型工作图

- 展开长度
  - 旋向
  - 有效圈数  $n$
  - 总圈数  $n_1$
  - 热处理
  - 表面处理
- mm  
左或右  
圈  
圈

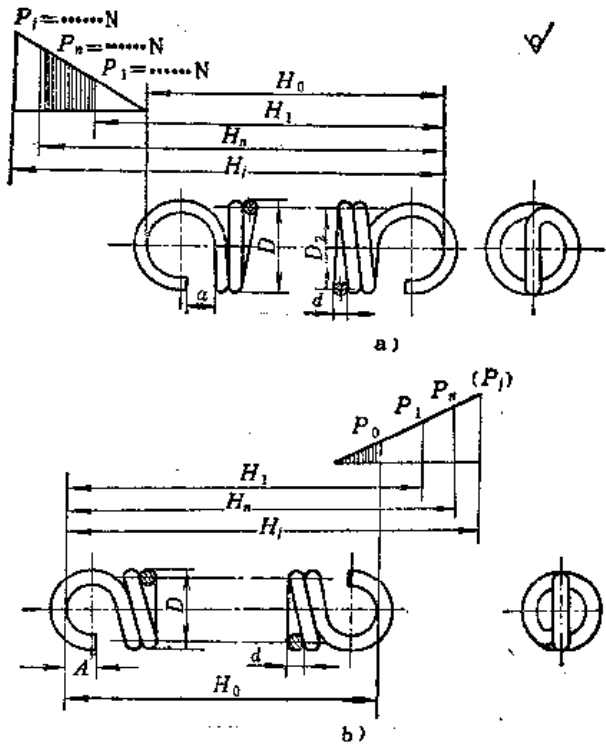


图6-2-11 拉伸弹簧典型工作图  
a) 无初拉力 b) 有初拉力

展开长度  $L =$  mm  
 旋向 左或右  
 有效工作圈数  $n =$  圈  
 热处理  
 表面处理

3. 扭转弹簧典型工作图 (图6-2-12)

展开长度 mm  
 旋向 左或右  
 有效工作圈数 圈  
 热处理  
 表面处理

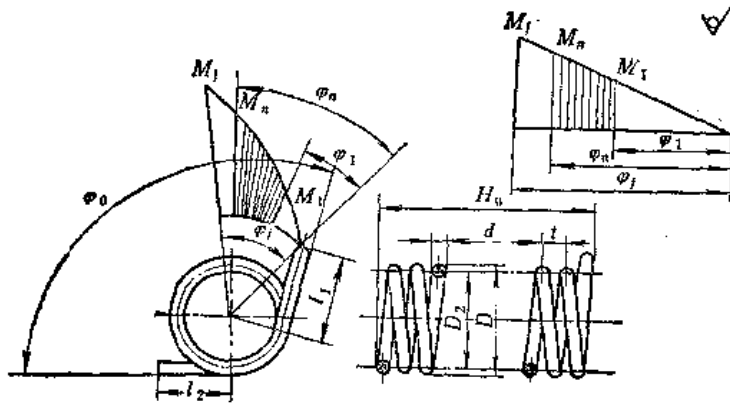


图6-2-12 扭转弹簧典型工作图

第3节 截锥螺旋压缩弹簧

截锥螺旋压缩弹簧比圆柱螺旋压缩弹簧有较大的稳定性。当它承受负荷后，在簧圈开始接触前，其特性线是直线，负荷逐渐增大，簧圈从大圈开始

依次逐渐接触，有效圈数逐渐减少，弹簧刚度逐渐增大，直到所有簧圈压并为止。在簧圈开始接触后，其特性线就变为渐增型曲线 (图6-3-2)。这种弹簧大多采用圆形截面钢丝。

截锥螺旋压缩弹簧有等螺旋角和等节距两种 (图6-3-1)。一般弹簧大端中径  $2R_2$  与小端中径  $2r_2$  差之半小于  $2nd$ ，即  $(R_2 - r_2) < nd$ ，但也有  $(R_2 - r_2) \geq nd$  的。后者，在弹簧压并时，所有簧圈都落在支承座上，即  $H_0 = d$ 。

截锥螺旋压缩弹簧设计计算见表6-3-1及表6-3-3。

根据表6-3-1中公式计算，其结果列于表6-3-2，并给出特性曲线 (图6-3-2)。

强度验算 取  $R_1 = R_2 (=30)$  时，即弹簧开始接触时，其变形量和切应力见表6-3-2 第一行数值， $P_0 = P_1 = 500$  N， $F_0 = F_1 = 20.1$  mm， $\tau_0 = \tau_1 = 405$  N/mm<sup>2</sup>；弹簧压并时，即  $R_1 = 20$  时，见表6-3-2 中末行数值， $P_0 = P_1 = 757$  N， $H_0 = H_1 = 46$  mm， $\tau_0 = \tau_1 = 437$  N/mm<sup>2</sup>。

压并切应力  $\tau_b < \tau_s$  ( $\tau_s = (0.45 \sim 0.48)$   $\sigma_s$ ， $\sigma_s \ominus = 0.45 \times 1500 \sim 0.48 \times 1500 = 675 \sim 720$  N/mm<sup>2</sup>)，符合要求。另外从图6-3-2的  $P - \tau$  曲线可以看到，最大工作负荷  $P_0 = 600$  N时，对应的切应力  $\tau = 430$  N/mm<sup>2</sup>，小于许用应力  $[\tau] = 450$  N/mm<sup>2</sup>。所以该簧强度基本满足要求。

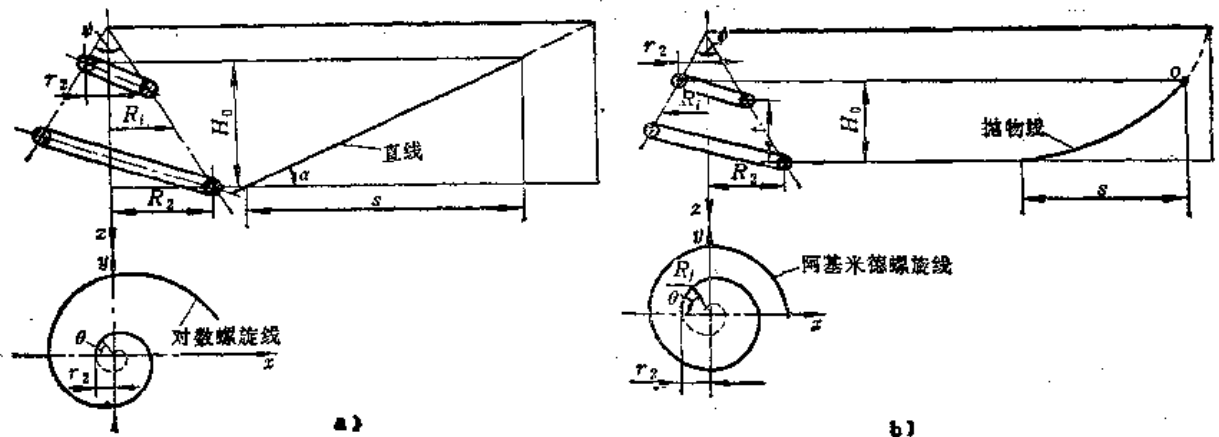


图6-3-1 截锥压缩螺旋弹簧  
 a) 等螺旋角 b) 等节距

⊖ 对合金钢  $\tau_s = (0.45 \sim 0.48) \sigma_s$ ，见[12]。

表6-3-1 截锥螺旋压缩弹簧（等螺旋角）设计计算之一

已知条件				选用弹簧种类及其材料	
最大工作负荷	$P_n = 600 \text{ N}$	弹簧种类	等螺旋角	端部结构	两端各有支承圈一个, $n_2 = 2$
大端工作圈中径	$2R_2 = 60 \text{ mm}$	材料牌号	油淬火回火50CrVA	GB2271-84	
小端工作圈中径	$2r_2 = 40 \text{ mm}$	材料直径	初选 $d = 6 \text{ mm}$	抗拉强度	$\sigma_b = 1500 \sim 1650 \text{ N/mm}^2$ (表6-8-8)
弹簧开始接触前的刚度	$P' = 25 \text{ N/mm}$	许用应力	$[\tau] = 0.3\sigma_b = 0.3 \times 1500 = 450 \text{ N/mm}^2$ (表6-2-13)	工作极限应力	$\tau_f = 1.67[\tau] = 1.67 \times 450 = 750 \text{ N/mm}^2$ (表6-2-12)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	簧圈开始接触时的负荷	$P_0$	N	$P_0 = 0.85 P_n$	$P_0 = 0.85 \times 600 \approx 500$
2	有效工作圈数	$n$	圈	$n = \frac{Gd^4(R_2 - r_2)}{16P'(R_2^2 - r_2^2)}$ G值见表6-2-13	$n = \frac{80000 \times 6^4(30 - 20)}{16 \times 25 \times (30^2 - 20^2)} = 3.99$ 取 $n = 4$
3	压并时的节距	$t'$	mm	$t' = d \sqrt{1 - \left(\frac{R_2 - r_2}{nd}\right)^2}$	$t' = 6 \sqrt{1 - \left(\frac{30 - 20}{4 \times 6}\right)^2} = 5.454$
4	螺旋角	$\alpha$	(°)	$\alpha = \frac{32R_2^2 P_0}{\pi G d^4} + \frac{t'}{2\pi R_2}$	$\alpha = \frac{32 \times 30^2 \times 500}{\pi \times 80000 \times 6^4} + \frac{5.454}{2\pi \times 30}$ $= 0.07312 \text{ rad} = 4.19^\circ (4^\circ 11')$
5	任意圈 i 中径之半	$R_i$	mm	$R_i = R_2 - (R_2 - r_2) \frac{i}{n}$	$R_i = 30 - (30 - 20) \frac{i}{4}$ $= 30 - 2.5 i$
6	从大端工作圈到簧圈 i 的高度	$H_i$	mm	$H_i = 2\pi i \alpha \left[ R_2 - (R_2 - r_2) \times \frac{i}{2n} \right]$	$H_i = 2\pi i \times 0.07312 \left[ 30 - (30 - 20) \times \frac{i}{2 \times 4} \right] = 0.4564 i (30 - 1.25 i)$
7	有效工作圈数的自由高度 $H'_0$	$H'_0$	mm	$H'_0 = n\pi \alpha (R_2 + r_2)$	$H'_0 = 4\pi \times 0.07312(30 + 20) = 46$
8	总圈数 $n_1$	$n_1$	圈	$n_1 = n + n_2$	$n_1 = 4 + 2 = 6 (n_2 = 2)$
9	大小两端支承圈的中径 $2R'_2, 2r'_2$ 之半	$R'_2$ $r'_2$	mm	$R'_2 = R_2 + \frac{0.5n_2 d(R_2 - r_2)}{\sqrt{H_0'^2 - (R_2 - r_2)^2}}$ $r'_2 = r_2 - \frac{0.5n_2 d(R_2 - r_2)}{\sqrt{H_0'^2 - (R_2 - r_2)^2}}$	$R'_2 = 30 + \frac{0.5 \times 2 \times 6(30 - 20)}{\sqrt{46^2 - (30 - 20)^2}} = 31.3$ $r'_2 = 20 - \frac{0.5 \times 2 \times 6(30 - 20)}{\sqrt{46^2 - (30 - 20)^2}} = 18.7$
10	钢丝展开长度	$L$	mm	$L \approx \pi n_1 (R'_2 + r'_2)$	$L \approx \pi \times 6(31.3 + 18.7) = 942.5$
11	簧圈开始接触后第 i 圈所承受的负荷	$P_i$	N	$P_i = \frac{\pi G d^4}{32 R_i^3} \left( \alpha - \frac{t'}{2\pi R_i} \right)$ G值见表6-2-13	$P_i = \frac{\pi \times 80000 \times 6^4}{32 \times R_i^3} \times \left( 0.07312 - \frac{5.454}{2\pi R_i} \right) = \frac{10178760}{R_i^3} \times \left( 0.07312 - \frac{0.868}{R_i} \right)$



(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
12	第 $i$ 圈弹簧开始压缩时的总变形量	$F_i$	mm	$F_i = \frac{n}{R_2 - r_2} \left[ \frac{16F_i}{Gd^4} (R_i^4 - r_2^4) + \pi a (R_2^2 - R_i^2) - f' (R_2 - R_i) \right]$ $= \frac{4}{30 - 20} \left[ \frac{16P_i}{80000 \times 6^4} (R_i^4 - 20^4) + \pi 0.07312 (30^2 - R_i^2) - 5.454 \times (30 - R_i) \right] = 6.173 \times 10^{-6} P_i (R_i^4 - 16 \times 10^4) - 0.09188 R_i^2 + 2.1816 R_i + 17.27$	
13	第 $i$ 圈弹簧开始接触时簧圈的切应力	$\tau_i$	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_i = K \frac{16P_i R_i}{\pi d^3}$ K 见表6-2-25	$\tau_i = 0.02358 K P_i R_i$

表6-3-2 按表6-3-1公式计算结果

$i$	$R_i$	$H_i$	$P_i$	$F_i$	$C_i = \frac{2R_i}{d}$	$K$	$\tau_i$
0	30	0	500	20.1	10	1.145	405
0.5	28.75	6.8	529	21.1	9.6	1.151	413
1	27.5	13.2	560	22	9.16	1.158	420
1.5	26.25	19.4	592	22.7	8.75	1.167	427
2	25	25.3	626	23.3	8.34	1.177	434
2.5	23.75	30.9	660	23.7	7.92	1.187	439
3	22.5	36.2	695	24	7.50	1.197	441
3.5	21.25	41.2	728	24.1	7.1	1.21	441
4	20	46	757	24.2	6.67	1.224	437

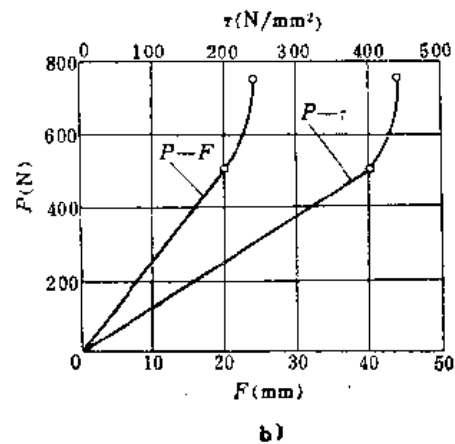
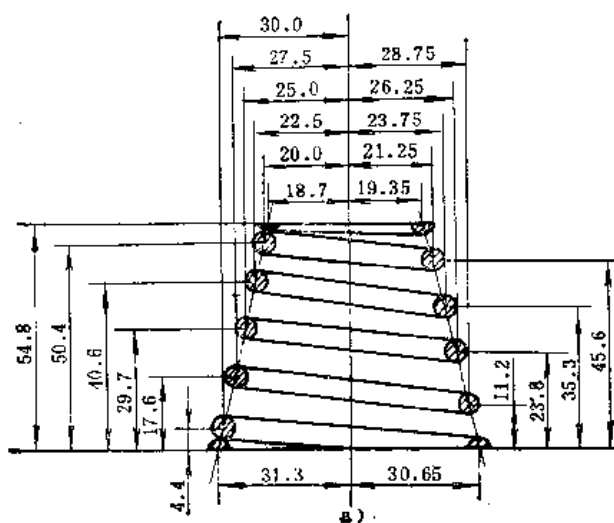


图6-3-2 等螺旋角截锥螺旋弹簧

a) 几何尺寸 b) 负荷和变形(P-F)、负荷和应力(P-τ)的关系曲线

表6-3-3 截锥螺旋压缩弹簧(等节距)设计计算之二

设计一等节距 ( $t = 11.5 \text{ mm}$ ) 的截锥压缩弹簧, 其参数与表6-3-1相同。由于等节距截锥弹簧的  $n, t', H_i, R_i, R_2, r_i$  及  $L$  各项参数与等螺旋角的截锥弹簧相同, 故不再计算。

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	弹簧圈开始接触后第 $i$ 圈簧所承受的负荷	$P_i$	N	$P_i = \frac{Gd^4}{64 R_i^3} (t - t')$	$P_i = \frac{80000 \times 6^4}{64 R_i^3} (11.5 - 5.454)$ $= \frac{9794520}{R_i^3}$
2	第 $i$ 圈簧开始压并时的总变形量	$F_i$	mm	$(R_2 - r_2) \leq nd$ 时: $F_i = \frac{n}{R_2 - r_2} \left[ \frac{16 P_i}{G d^4} (R_i^4 - r_2^4) + (t - t') (R_2 - R_i) \right]$ $= \frac{4}{30 - 20} \left[ \frac{16 P_i}{80000 \times 6^4} (R_i^4 - 20^4) + (11.5 - 5.454) (30 - R_i) \right]$ $= 6.173 \times 10^{-8} (R_i^4 - 16 \times 10^4) P_i - 2.42 R_i + 72.55$ $(R_2 - r_2) \geq nd$ 时, ( $t' = 0$ ) $F_i = \frac{n}{R_2 - r_2} \left[ \frac{16 P_i}{G d^4} (R_i^4 - r_2^4) + t (R_2 - R_i) \right]$	
3	第 $i$ 圈簧开始接触时的切应力	$\tau_i$	$\text{N/mm}^2$	$\tau_i = \frac{16 K P_i R_i}{\pi d^3}$ K 值见表6-2-25	$\tau_i = \frac{16 K P_i R_i}{\pi \times 6^3} = 0.02358 K P_i R_i$

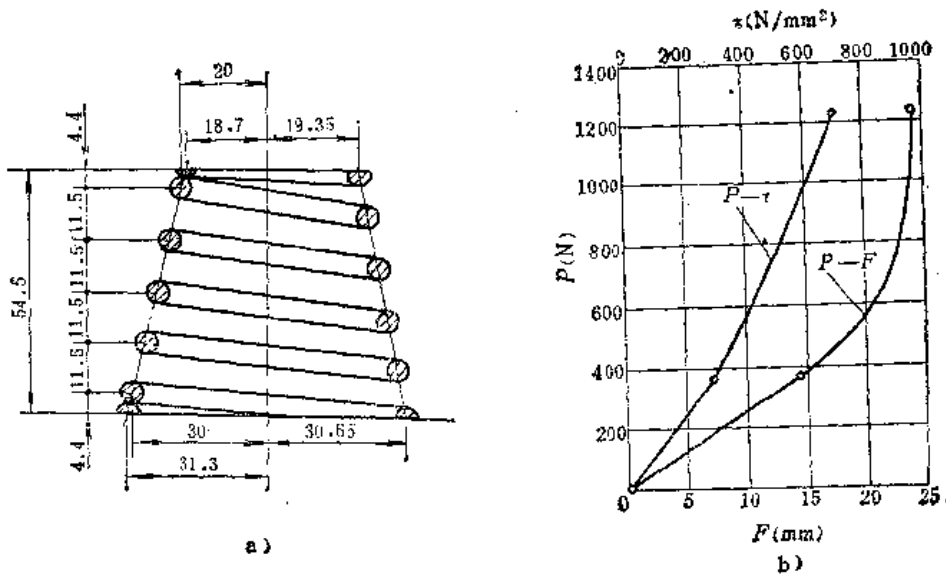


图6-3-3 等节距截锥螺旋弹簧

a) 几何尺寸 b) 负荷和变形( $P-F$ )、负荷和应力( $P-\tau$ )的关系曲线

根据以上各式计算, 其结果列于表6-3-4, 并绘出特性曲线(图6-3-3)。

强度验算 当弹簧开始有接触圈时, 即  $R_i = R_2 = 30$  时, 从表6-3-4可知,  $P_i = P_0 = 363 \text{ N}$ ,  $F_i = F_0 = 14.5 \text{ mm}$ ,  $\tau_i = \tau_0 = 294 \text{ N/mm}^2$ ; 当簧圈完全压并时, 即  $R_i = r_2 = 20$  时,  $P_i = P_6 = 1224 \text{ N}$ ,  $F_i = F_6 =$

$24.2 \text{ mm}$ ,  $\tau_i = \tau_6 = 707 \text{ N/mm}^2$ 。压并切应力  $\tau_6 \approx \tau_0$ ,  $[\tau_6 = (0.45 \sim 0.48) \sigma_s = 675 \sim 720 \text{ N/mm}^2]$ , 从图6-3-3中  $P-\tau$  曲线上可以看出, 最大工作负荷  $P_6 = 600 \text{ N}$  时, 对应的切应力  $\tau = 435 \text{ N/mm}^2$ , 小于许用应力  $[\tau] = 450 \text{ N/mm}^2$ 。因此, 强度基本上满足要求。

表6-3-4 按表6-3-3公式计算结果

$i$	$R_i$	$P_i$	$F_i$	$C = \frac{2R_i}{d}$	$K$	$\tau_i$
0	30	363	14.5	10	1.145	294
0.5	28.75	412	16.3	9.6	1.151	321
1	27.50	471	18.0	9.16	1.158	354
1.5	26.25	541	19.5	8.75	1.167	391
2	25.00	627	21.0	8.34	1.177	435
2.5	23.75	731	22.2	7.92	1.187	486
3	22.50	860	23.2	7.50	1.197	516
3.5	21.25	1021	23.9	7.10	1.210	619
4	20.00	1224	24.2	6.67	1.224	767

## 第4节 碟形弹簧

### (一) 碟形弹簧的型式及其主要尺寸

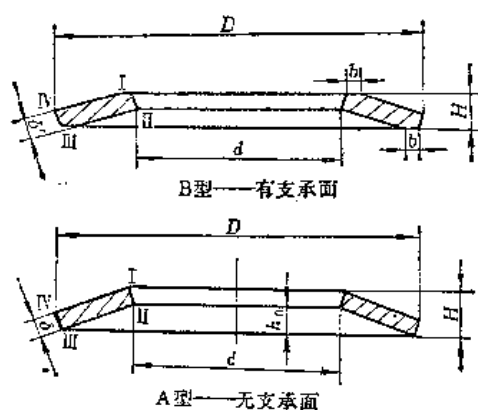


图6-4-1 碟形弹簧

碟形弹簧按国家标准 GB1972—80 规定有无支承面 (A型) 和有支承面 (B型) 之别, 如图6-4-1所示。标准GB1972—80还规定, 按  $D/\delta$ 、 $h_0/\delta$  值分为三个系列, 其尺寸、参数见表6-4-2。

碟形弹簧的标记示例:

碟簧 B<sub>1</sub> 100×50.8×5.74×8.2 GB1972—80

(B型, 1级精度,  $D = 100\text{mm}$ ,  $d = 50.8\text{mm}$ ,  $\delta = 5.74\text{mm}$ ,  $H = 8.2\text{mm}$ 的碟簧)

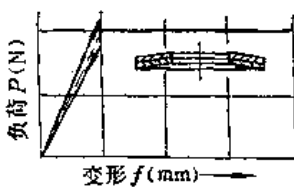
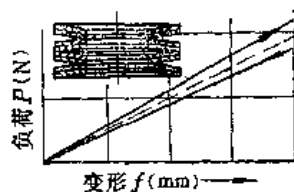
注: B型应在标记中注明, A型不需注明。

### (二) 碟形弹簧的组合型式和特性

由于单个碟形弹簧的变形和承载能力有限, 因此, 在实际使用时为适应各种不同的载荷及变形特性的要求, 除单个使用外, 还经常组合使用 (见表6-4-1)

表6-4-1 碟形弹簧的组合型式与特性

组合型式	简图及特性	总负荷 $P_z$ (N)	总变形 $f_z$ (mm)	总高度 $H_z$ (mm)
单片	<p>与单片相比, 负荷能力不变, 变形量增大</p>	$P_z = P$	$f_z = f$	$H_z = H$
对合	<p>与单片相比, 负荷能力不变, 变形量增大</p>	$P_z = P$	$f_z = if \dots$	$H_z = iH$

组合型式	简图及特性	总负荷 $P_z(N)$	总变形 $f_z(mm)$	总高度 $H_z(mm)$
叠合	 <p>与单片相比, 负荷能力增大, 变形量一样</p>	$P_z = nP$	$f_z = f$	$H_z = H + (n - 1)\delta$
复合	 <p>与单片相比, 负荷能力及变形量均增大</p>	$P_z = nP$	$f_z = if$	$H_z = i[H + (n - 1)\delta]$

- 注: 1.表中  $P$ 、 $f$  和  $H$  分别为单片弹簧承受的负荷、变形量和自由高度;  $i$  为同规格碟形弹簧的组数。  
 2.采用组合碟簧, 需要考虑摩擦力。摩擦力的大小与表面质量、润滑情况以及叠合层数有关。一般, 每层加载时摩擦力增大 2% 左右, 卸载时则降低 2% 左右。为减少摩擦力的影响, 导杆或导套必须淬硬和光滑, 并有润滑。  
 3.由于摩擦力的影响, 叠合组合碟簧比理论计算增加了刚性, 对叠合组合碟簧的各片变形将依次递减, 所以对叠合碟簧的片数不宜过多。  
 4.尽可能采用直径较大、片数较少的组合碟簧。

表6-4-2 碟形弹簧主要尺寸参数(GB1972—80)

系列一:  $\frac{D}{\delta} \approx 18, \frac{h_0}{\delta} \approx 0.4$

碟簧外径 $D$ (mm)	碟簧内径 $d$ (mm)	碟簧厚度 $\delta$ (mm)	减薄碟簧厚度 $\delta'$ (mm)	A型碟簧的极限行程 $h_0$ (mm)	自由高度 $H$ (mm)	$P_{f=0.75h_0}$ (N)	$f = 0.75h_0$ 时最大计算拉伸应力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
8	4.2	0.4	—	0.2	0.6	214	1240*
10	5.2	0.5	—	0.25	0.75	330	1240*
12.5	6.2	0.7	—	0.3	1	670	1410*
14	7.2	0.8	—	0.3	1.1	810	1330*
16	8.2	0.9	—	0.35	1.25	1030	1320*
18	9.2	1	—	0.4	1.4	1280	1320*
20	10.2	1.1	—	0.45	1.55	1550	1320*

(续)

碟簧 外径 $D$ (mm)	碟簧 内径 $d$ (mm)	碟簧 厚度 $\delta$ (mm)	减薄碟 簧厚度 $\delta'$ (mm)	A型碟簧 的极限行程 $h_0$ (mm)	自由 高度 $H$ (mm)	$P_{f=0.75h_0}$ (N)	$f = 0.75h_0$ 时 最大计算拉伸应力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
22.5	11.2	1.25	—	0.5	1.75	1960	1310*
25	12.2	1.5	—	0.55	2.05	2980	1450*
28	14.2	1.5	—	0.65	2.15	2900	1300*
31.5	16.3	1.75	—	0.7	2.45	3940	1320*
35.5	18.3	2	—	0.8	2.8	5280	1360*
40	20.4	2.2	—	0.9	3.1	6210	1320*
45	22.4	2.5	—	1	3.5	7890	1320*
50	25.4	3	—	1.1	4.1	12200	1440*
56	28.5	3	—	1.3	4.3	11700	1300*
63	32.5	3.5	3.34	1.4	4.9	15700	1210*
71	35.5	4	3.82	1.6	5.6	20800	1370*
80	40.6	5	4.8	1.7	6.7	34000	1390*
90	45.6	5	4.8	2	7	31800	1230*
100	50.8	6	5.74	2.2	8.2	48800	1340*
112	55.8	6	5.73	2.5	8.5	44100	1160*
125	65.8	7	6.68	2.6	9.6	59900	1170*
140	70.8	8	7.65	3.2	11.2	86000	1290*
160	81.2	10	9.55	3.5	13.5	141000	1400*
180	91.2	10	9.55	4	14	127000	1220
200	101.2	12	11.46	4.2	16.2	186000	1290*
225	116.2	12	11.45	5	17	178000	1170
250	126.2	14	13.4	5.6	19.6	253000	1240*
280	141.6	16	15.3	6	22	322000	1230*
315	161.6	18	17.2	7	25	426000	1260*
355	181.6	20	19.1	8	28	525000	1250*
400	201.6	22	21	8	30	545000	1120*
450	226.6	26	24.8	11	37	985000	1370

系列二:  $\frac{D}{\delta} \approx 28, \frac{h_0}{\delta} \approx 0.75$

碟簧 外径 $D$ (mm)	碟簧 内径 $d$ (mm)	碟簧 厚度 $\delta$ (mm)	减薄碟 簧厚度 $\delta'$ (mm)	A型碟簧 的极限行程 $h_0$ (mm)	自由 高度 $H$ (mm)	$P_{f=0.75h_0}$ (N)	$f=0.75h_0$ 时 最大计算拉伸应力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
8	4.2	0.3	—	0.25	0.55	120	1340
10	5.2	0.4	—	0.3	0.7	210	1310
12.5	6.2	0.5	—	0.35	0.85	300	1130
14	7.2	0.5	—	0.4	0.9	280	1120
16	8.2	0.6	—	0.45	1.05	420	1130
18	9.2	0.7	—	0.5	1.2	580	1130
20	10.2	0.8	—	0.55	1.35	760	1140
22.5	11.2	0.8	—	0.65	1.45	720	1100
25	12.2	0.9	—	0.7	1.6	880	1040
28	14.2	1	—	0.8	1.8	1130	1100
31.5	16.3	1.25	—	0.9	2.15	1940	1210
35.5	18.3	1.25	—	1	2.25	1730	1090
40	20.4	1.5	—	1.15	2.65	2670	1160
45	22.4	1.75	—	1.3	3.05	3730	1170
50	25.4	2	—	1.4	3.4	4860	1160
56	28.5	2	—	1.6	3.6	4540	1120
63	32.5	2.5	—	1.75	4.25	7530	1160
71	35.5	2.5	—	2	4.5	6800	1060
80	40.6	3	—	2.3	5.3	10700	1150
90	45.6	3.5	3.3	2.5	6	14400	1220
100	50.8	3.5	3.28	2.8	6.3	13300	1150
112	55.8	4	3.77	3.2	7.2	17900	1180
125	65.8	5	4.71	3.5	8.5	31100	1310
140	70.8	5	4.71	4	9	28200	1200
160	81.2	6	5.65	4.5	10.5	41700	1220
180	91.2	6	5.63	5	11	37100	1100
200	101.2	8	7.56	5.6	13.6	77500	1250
225	116.2	8	7.5	6.5	14.5	73600	1230
250	126.2	10	9.45	7	17	121000	1250
280	141.6	10	9.33	8	18	113000	1200
315	161.6	12	11.33	8.5	20.5	163000	1160
355	181.6	12	11.26	9.5	21.5	145000	1060
400	201.6	14	13.2	10.5	24.5	197000	1050
450	226.6	16	15.1	12	28	265000	1090

(续)

系列三:  $\frac{D}{\delta} \approx 40, \frac{h_0}{\delta} \approx 1.3$ 

碟簧 外径 $D$ (mm)	碟簧 内径 $d$ (mm)	碟簧 厚度 $\delta$ (mm)	减薄碟 簧厚度 $\delta'$ (mm)	A型碟簧 的极限行程 $h_0$ (mm)	自由 高度 $H$ (mm)	$P_{f=0.75h_0}$ (N)	$f = 0.75h_0$ 时 最大计算拉伸应力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
8	4.2	0.2	—	0.25	0.45	40	1060
10	5.2	0.25	—	0.3	0.55	60	980
12.5	6.2	0.35	—	0.45	0.8	150	1280
14	7.2	0.35	—	0.45	0.8	130	1070
16	8.2	0.4	—	0.5	0.9	160	1030
18	9.2	0.5	—	0.6	1.1	290	1190
20	10.2	0.5	—	0.65	1.15	260	1090
22.5	11.2	0.6	—	0.8	1.4	430	1230
25	12.2	0.7	—	0.9	1.6	610	1280
28	11.2	0.8	—	1	1.8	820	1330
31.5	15.3	0.8	—	1.05	1.85	700	1150
35.5	18.3	0.9	—	1.15	2.05	850	1100
40	20.4	1	—	1.3	2.3	1040	1080
45	22.4	1.25	—	1.6	2.85	1930	1280
50	25.4	1.25	—	1.6	2.85	1580	1050
56	28.5	1.5	—	1.95	3.45	2680	1250
63	32.5	1.8	—	2.35	4.15	4130	1440
71	35.5	2	—	2.6	4.6	5200	1350
80	40.6	2.2	—	2.9	5.1	6180	1330
90	45.6	2.5	—	3.2	5.7	7800	1300
100	50.8	2.7	—	3.5	6.2	8750	1260
112	55.8	3	—	3.9	6.9	10600	1220
125	65.8	3.5	3.16	4.5	8	16000	1510
140	70.8	3.8	3.45	4.9	8.7	17300	1360
160	81.2	4.5	4.11	5.5	10	24300	1370
180	91.2	5	4.58	6.2	11.2	29800	1350
200	101.2	5.5	5	7	12.5	36500	1380
225	116.2	6.5	5.97	7.1	13.6	46400	1230
250	126.2	7	6.43	8	15	53000	1220
280	141.6	7	6.36	9	16	49700	1150
315	161.6	8	7.24	10.5	18.5	60600	1250
355	181.6	9	8.15	11.5	20.5	84300	1190

(续)

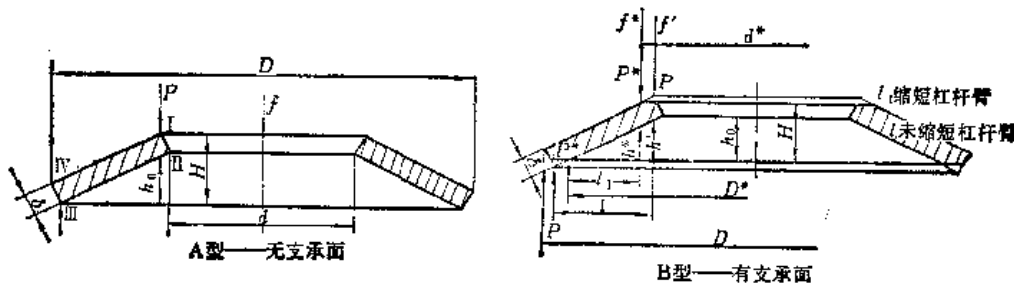
碟簧外径 $D$ (mm)	碟簧内径 $d$ (mm)	碟簧厚度 $\delta$ (mm)	减薄碟簧厚度 $\delta'$ (mm)	A型碟簧的极限行程 $h_0$ (mm)	自由高度 $H$ (mm)	$P_{f=0.75h_0}$ (N)	$f=0.75h_0$ 时 最大计算拉伸应力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
400	201.6	10	9.08	13	23	103000	1170
450	226.6	11	9.99	14.3	25.3	119000	1120

- 注：1. 表列出两种形式碟簧的尺寸，一种是A型无支承面的碟簧，另一种是B型有支承面的碟簧。两种弹簧的 $D$ 、 $d$ 、 $H$ 都是相同的，仅是厚度不同（A型以 $\delta$ 表示，B型以 $\delta'$ 表示）。在变形量 $f=0.75h_0$ 时，两种弹簧的负荷相等；在其它变形量时，负荷不同。
2. 表中 $\delta \leq 3$ mm的碟簧，其应力是按A型计算的； $\delta > 3$ mm者，其应力是按B型计算的。 $\delta \leq 3$ mm者亦可采用B型， $\delta > 3$ mm者亦可采用A型，但其负荷和应力需另行计算。
3. 表中的数据对静负荷或循环次数 $N < 10^4$ 的变负荷能安全地工作到 $f=0.75h_0$ ，不需要校验其最大计算应力；对循环次数 $N > 10^4$ 的变负荷，一般不允许工作到表中的 $f=0.75h_0$ 值，并需要校验其工作变形的最大计算拉应力。
4. 表中标有\*符号者指Ⅱ处应力，无标记者指Ⅲ处应力（见图6-4-1）。

### (三) 碟形弹簧计算

碟形弹簧的计算公式见表6-4-3，设计计算示例见表6-4-5至表6-4-7。

表6-4-3 碟形弹簧计算公式 (GB1972-80)



项目	代号	单位	计算公式
负 荷 计 算	A型 P	N	$P = \frac{f\delta^3}{aD^2} \left[ \left( \frac{h_0}{\delta} - \frac{f}{\delta} \right) \left( \frac{h_0}{\delta} - 0.5 \frac{f}{\delta} \right) + 1 \right]$ <p>当 <math>f = h_0</math> 时</p> $P_{f=h_0} = \frac{h_0\delta^3}{aD^2}$ <p>式中 <math>f</math>——单个碟簧变形量(mm)  <math>\delta</math>——碟簧厚度(mm)  <math>h_0</math>——A型碟簧极限行程(mm); <math>h_0 = H - \delta</math>  <math>d</math>——碟簧内径(mm)  <math>D</math>——碟簧外径(mm)  <math>a</math>——辅助值(见表6-4-4)</p> $a = \frac{1}{\pi} \frac{\left( \frac{C-1}{C} \right)^2}{C+1} \frac{1-\mu^2}{2 \ln C} \frac{1}{4E}$ $C = \frac{D}{d}$



(续)

项目	代号	单位	计算公式	
负 荷 计 算	A型	P	N	$\mu$ —泊松比, 取0.3 $E = 21 \times 10^4 (\text{N/mm}^2)$
	B型	$P^*$	N	$P^* = \eta P' = \eta \left\{ \frac{f' \delta'^3}{\alpha D^2} \left[ \left( \frac{h'}{\delta'} - \frac{f'}{\delta'} \right) \left( \frac{h'}{\delta'} - 0.5 \frac{f'}{\delta'} \right) + 1 \right] \right\}$ 当 $f' = h'$ 时 $P'_{f'=h'} = \frac{\delta'^3 f'}{\alpha D^2}$ 式中 $\eta$ ——杠杆比, 见图B型, $\eta = \frac{l}{l_1}$ ; $P'$ ——相当于无支承面时的负荷(N); $h'$ ——相当于无支承面的极限行程 (mm); $h^* = h^* \eta$ $h^*$ ——极限行程 (mm), $h^* = H - \delta'$ ; $f'$ ——对应于 $h'$ 的变形量 (mm), $f' = f^* \eta$ ; $f^*$ ——对应于 $h^*$ 的变形量 (mm), 即外部施加的变形量, 即为无支承面时变形量
刚 度 计 算	A型	M	N/mm	$M = -\frac{\delta^3}{\alpha D^2} \left[ \left( \frac{h_0}{\delta} \right)^2 - 3 \frac{h_0 f}{\delta \delta} + \frac{3}{2} \left( \frac{f}{\delta} \right)^2 + 1 \right]$
	B型	$M^*$	N/mm	$M^* = M' \eta^2 = \eta^2 \left\{ \frac{\delta'^3}{\alpha D^2} \left[ \left( \frac{h'}{\delta'} \right)^2 - 3 \frac{h' f'}{\delta' \delta'} + \frac{3}{2} \left( \frac{f'}{\delta'} \right)^2 + 1 \right] \right\}$ 式中 $M'$ 相当于无支承面时的刚度
应 力 计 算	A型	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_I = -\frac{f \delta}{\alpha D^2} \left[ \beta \left( \frac{h_0}{\delta} - 0.5 \frac{f}{\delta} \right) + \gamma \right]$ $\sigma_{II} = \frac{f \delta}{\alpha D^2} \left[ -\beta \left( \frac{h_0}{\delta} - 0.5 \frac{f}{\delta} \right) + \gamma \right]$ $\sigma_{II} = \frac{f \delta}{\alpha D^2} \frac{1}{C} \left[ (2\gamma - \beta) \left( \frac{h_0}{\delta} - 0.5 \frac{f}{\delta} \right) + \gamma \right]$ $\sigma_{IV} = \frac{f \delta}{\alpha D^2} \frac{1}{C} \left[ (2\gamma - \beta) \left( \frac{h_0}{\delta} - 0.5 \frac{f}{\delta} \right) - \gamma \right]$ 式中 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ——辅助值, 见表6-4-4, $C = \frac{D}{d}$ $\beta = \frac{1}{\pi \ln C} \left( \frac{C-1}{\ln C} - 1 \right)$ $\gamma = \frac{1}{\pi \ln C} \frac{C-1}{2}$
	B型	$\sigma'$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma'_I = -\frac{f' \delta'}{\alpha D^2} \left[ \beta \left( \frac{h'}{\delta'} - 0.5 \frac{f'}{\delta'} \right) + \gamma \right]$ $\sigma'_{II} = \frac{f' \delta'}{\alpha D^2} \left[ -\beta \left( \frac{h'}{\delta'} - 0.5 \frac{f'}{\delta'} \right) + \gamma \right]$ $\sigma'_{II} = \frac{f' \delta'}{\alpha D^2} \frac{1}{C} \left[ (2\gamma - \beta) \left( \frac{h'}{\delta'} - 0.5 \frac{f'}{\delta'} \right) + \gamma \right]$ $\sigma'_{IV} = \frac{f' \delta'}{\alpha D^2} \frac{1}{C} \left[ (2\gamma - \beta) \left( \frac{h'}{\delta'} - 0.5 \frac{f'}{\delta'} \right) - \gamma \right]$

表6-4-4 直径比 $C$ 与辅助值 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 的数值 (GB1972—80)

$C = \frac{D}{d}$	$\alpha \times 10^{-6}$ ( $\text{mm}^2/\text{N}$ )	$\beta$	$\gamma$	$C = \frac{D}{d}$	$\alpha \times 10^{-6}$ ( $\text{mm}^2/\text{N}$ )	$\beta$	$\gamma$
1.25	0.371	1.030	1.069	2.65	0.836	1.358	1.616
1.30	0.420	1.044	1.091	2.70	0.839	1.368	1.634
1.35	0.464	1.058	1.113	2.75	0.842	1.378	1.651
1.40	0.508	1.071	1.135	2.80	0.845	1.387	1.669
1.45	0.538	1.085	1.156	2.85	0.848	1.397	1.686
1.50	0.569	1.098	1.177	2.90	0.850	1.407	1.704
1.55	0.596	1.111	1.198	2.95	0.852	1.416	1.721
1.60	0.621	1.123	1.219	3.00	0.854	1.426	1.738
1.65	0.644	1.136	1.239	3.05	0.855	1.435	1.755
1.70	0.664	1.148	1.259	3.10	0.857	1.445	1.772
1.75	0.683	1.161	1.279	3.15	0.858	1.454	1.789
1.78	0.692	1.168	1.291	3.20	0.860	1.463	1.806
1.80	0.699	1.173	1.299	3.25	0.861	1.472	1.822
1.82	0.707	1.177	1.307	3.30	0.862	1.481	1.839
1.85	0.714	1.184	1.319	3.35	0.862	1.491	1.856
1.88	0.723	1.192	1.330	3.40	0.863	1.499	1.872
1.90	0.728	1.196	1.338	3.45	0.864	1.508	1.889
1.92	0.736	1.201	1.346	3.50	0.864	1.517	1.905
1.95	0.741	1.208	1.358	3.55	0.865	1.526	1.921
1.98	0.747	1.215	1.369	3.60	0.865	1.535	1.938
2.00	0.752	1.219	1.377	3.65	0.866	1.544	1.954
2.05	0.763	1.231	1.396	3.70	0.866	1.552	1.970
2.10	0.772	1.242	1.415	3.75	0.866	1.561	1.986
2.15	0.781	1.253	1.434	3.80	0.866	1.569	2.002
2.20	0.789	1.264	1.453	3.85	0.866	1.578	2.018
2.25	0.796	1.275	1.471	3.90	0.866	1.586	2.034
2.30	0.803	1.285	1.490	3.95	0.866	1.595	2.050
2.35	0.809	1.296	1.508	4.00	0.866	1.603	2.066
2.40	0.814	1.307	1.527	4.05	0.866	1.611	2.082
2.45	0.820	1.317	1.545	4.10	0.866	1.620	2.098
2.50	0.824	1.327	1.563	4.15	0.866	1.628	2.113
2.55	0.828	1.338	1.581	4.20	0.866①	1.636	2.129
2.60	0.832	1.348	1.599				

① 原标准为0.865, 恐排版有误。

### η 值和 K 值的确定

有支承面碟形弹簧的杠杆臂比 η 值与支承面宽度系数  $K = D/b$  (b 为支承面宽度)、C 值、 $H/\delta$  值和  $\delta'/\delta$  值有关。K 值在 90~200 范围内选取，一般取  $K = 150$ 。  $\eta = \frac{1}{1 - \frac{4}{KC} - 1}$ ，可由图 6-4-2 查

取。

**计算示例** 根据表 6-4-2 系列二，有一碟形弹簧其主要参数为： $D = 160\text{mm}$ ， $d = 81.2\text{mm}$ ， $\delta = 6\text{mm}$ ， $\delta' = 5.65\text{mm}$ ， $h_0 = 4.5\text{mm}$ ， $H = 10.5\text{mm}$ 。试求 η 值及 K 值。

**解** 因为  $C = D/d = 1.97$   $\delta'/\delta = 5.65/6 = 0.942$   $H/\delta = 10.5/6 = 1.75$

查图 6-4-2 可得，

$$\eta = 1.058 \quad K = 150$$

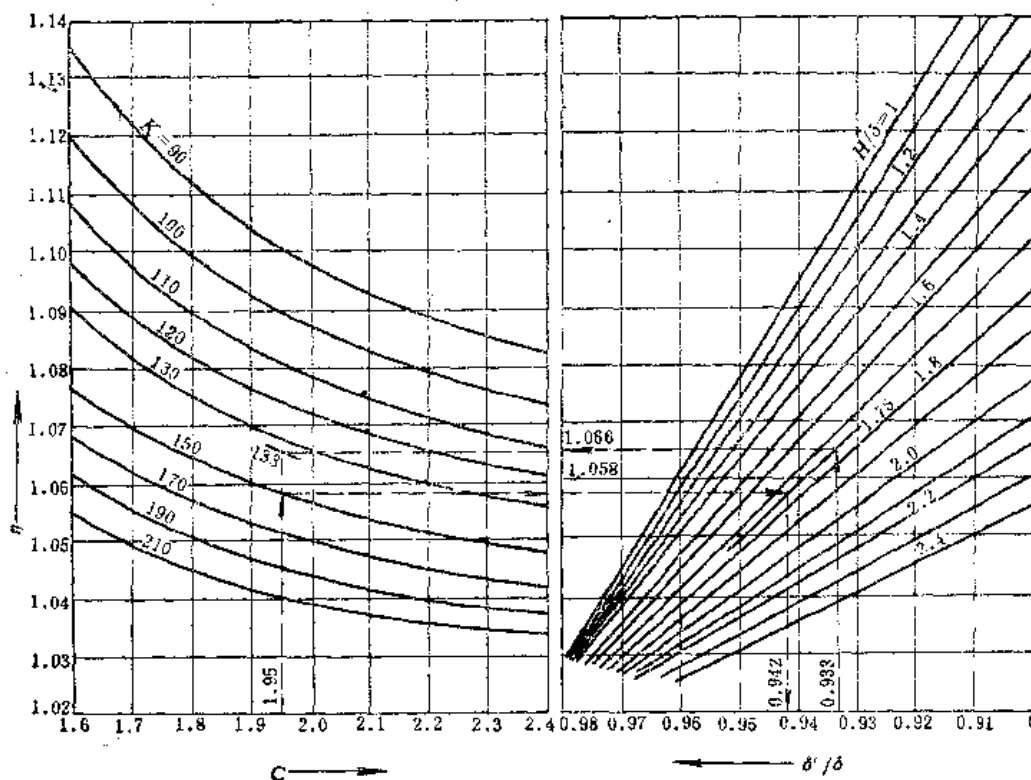


图 6-4-2 杠杆臂比值 η (GB1972-80)

表 6-4-5 碟形弹簧计算之一

有一碟簧  $D = 40\text{mm}$ ， $d = 20.4\text{mm}$ ， $\delta = 2.2\text{mm}$ ， $h_0 = 0.9\text{mm}$ ， $H = 3.1\text{mm}$ ，在  $P_1 = 1950\text{N}$  和  $P_2 = 4000\text{N}$  负荷之间循环工作，校核其寿命是否在持久范围内。查表 6-4-2 知此簧是无支承面 A 型碟簧

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	直径比	C		$C = \frac{D}{d}$	$C = \frac{40}{20.4} = 1.96$
2	辅助值	$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$		根据 C 值查表 6-4-4 (用插入法)	$\alpha = 0.743 \times 10^{-6} \text{mm}^2/\text{N}$ $\beta = 1.21$ ， $\gamma = 1.362$
3	变形量 $f = h_0$ 时的负荷	$P_{f=h_0}$	N	$P_{f=h_0} = \frac{\delta^3 h_0}{\alpha D^2}$	$P_{f=h_0} = \frac{2.2^3 \times 0.9}{0.743 \times 10^{-6} \times 40^2}$ $= 8060$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
4	负荷比值	$\lambda$		$\lambda = \frac{P}{Pf=h_0}$	$\lambda_1 = \frac{1950}{8060} = 0.242$ $\lambda_2 = \frac{4000}{8060} = 0.496$
5	比值			$\frac{h_0}{\delta}$	$\frac{h_0}{\delta} = \frac{0.9}{2.2} = 0.409 \approx 0.41$
6	辅助值	$\frac{f}{h_0}$		根据 $\lambda$ 和 $\frac{h_0}{\delta}$ 值 查图6-4-5	$\frac{f_1}{h_0} = 0.22, \frac{f_2}{h_0} = 0.46$
7	变形量	$f$	mm		$f_1 = 0.22h_0 = 0.22 \times 0.9 = 0.198$ $f_2 = 0.46h_0 = 0.46 \times 0.9 = 0.414$
8	确定疲劳破坏的关键部位			根据 $C$ 和 $h_0/\delta$ 值 查图6-4-3	关键部位在 II 点
9	关键部位的应力	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	按表6-4-3: $\sigma_I = \frac{f\delta}{aD^2} \left[ -\beta \left( \frac{h_0}{\delta} - 0.5 \frac{f}{\delta} \right) + \gamma \right]$ 当 $f_1 = 0.198$ 时: $\sigma_I = \frac{0.198 \times 2.2}{0.743 \times 10^{-6} \times 40^2} \left[ -1.21 \left( 0.41 - 0.5 \frac{0.198}{2.2} \right) + 1.362 \right] = 337$ 当 $f_2 = 0.414$ 时: $\sigma_I = \frac{0.414 \times 2.2}{0.743 \times 10^{-6} \times 40^2} \left[ -1.21 \left( 0.41 - 0.5 \frac{0.414}{2.2} \right) + 1.362 \right] = 751$	
10	碟簧计算上、下限应力	$\sigma_{sH}$ $\sigma_x$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{sH} = 751, \sigma_x = 337$	
11	计算应力幅	$\sigma_h$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_h = \sigma_{sH} - \sigma_x$	$\sigma_h = 751 - 337 = 414$
12	疲劳强度上限应力	$\sigma_{SH}$	N/mm <sup>2</sup>	根据 $\delta, N$ 和 $\sigma_x$ 值 查图6-4-4	$\delta = 2.2, N \geq 2 \times 10^6, \sigma_x = 337$ , 查图6-4-4b) 得 $\sigma_{SH} = 870$
13	疲劳强度应力幅	$\sigma_H$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_H = \sigma_{SH} - \sigma_x$	$\sigma_H = 870 - 337 = 533$

结论: 由于  $\sigma_H > \sigma_h$ , 此簧寿命在持久范围内

表6-4-6 碟形弹簧计算之二

已知条件	根据已知条件, 从表6-4-2, 选用下列二种规格								
弹簧力 $P_x = 5000$ N 总变形量 $f_x = 10$ mm 导杆直径 $< 20$ mm	序号	$D$	$d$	$\delta$	$h_0$	$H$	$Pf=0.75h_0$ 时		
		(mm)					$P$ (N)	$\sigma_I$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{II}$ (N/mm <sup>2</sup> )
	1	40	20.4	2.2	0.9	3.1	6210	1320	
2	40	20.4	1.5	1.15	2.65	2670		1160	

采用对合组合碟簧时 (采用序号 1 规格)

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	直径比	$C$		$C = \frac{D}{d}$	$C = \frac{40}{20.4} = 1.96$
2	辅助值	$\alpha$	$\text{mm}^2/\text{N}$	用插入法根据 $C$ 值查表6-4-4	$\alpha = 0.743 \times 10^{-9}$
3	变形量 $f = h_0$ 时的 负荷	$P_{f=h_0}$	$\text{N}$	$P_{f=h_0} = \frac{\delta^3 h_0}{\alpha D^2}$	$P_{f=h_0} = \frac{2.2^3 \times 0.9 \times 10^6}{0.743 \times 40^2} = 8060$
4	负荷比值	$\lambda$		$\lambda = \frac{P_z}{P_{f=h_0}}$	$\lambda = \frac{5000}{8060} = 0.62$
5	比值	$\frac{h_0}{\delta}$			$\frac{0.9}{2.2} = 0.409 \approx 0.41$
6	单片簧在 $P_z = 5000$ $\text{N}$ 时的变形量	$f_1$	$\text{mm}$	根据 $\lambda$ 和 $\frac{h_0}{\delta}$ 查图6-4-5	$\frac{f_1}{h_0} = 0.57, \therefore f_1 = 0.57 \times 0.9 = 0.51$
7	对合片数	$i$	片	$i = \frac{f_z}{f_1}$ (表6-4-1)	$i = \frac{10}{0.51} = 19.6, \text{取 } i = 20$
8	自由高度	$H_z$	$\text{mm}$	$H_z = iH$ (表6-4-1)	$H_z = 20 \times 3.1 = 62$

采用复合组合碟簧时 (采用序号2规格, 以两个同方向同规格的簧为一组),  $n = 2$ 

9	弹力	$P_1$	$\text{N}$	如不计摩擦力 $P_1 = \frac{P_z}{n}$	$P_1 = \frac{5000}{2} = 2500$
10	变形量 $f = h_0$ 时的 负荷	$P_{f=h_0}$	$\text{N}$	$P_{f=h_0} = \frac{\delta^3 h_0}{\alpha D^2}$	$P_{f=h_0} = \frac{1.5^3 \times 1.15}{0.743 \times 10^{-9} \times 40^2} = 3265$
11	负荷比	$\lambda$		$\lambda = \frac{P_1}{P_{f=h_0}}$	$\lambda = \frac{2500}{3265} = 0.766$
12	比值	$\frac{h_0}{\delta}$			$\frac{h_0}{\delta} = \frac{1.15}{1.5} = 0.767 \approx 0.8$
13	单片簧在 $P_1 = 2500$ $\text{N}$ 下的变形量	$f_1$	$\text{mm}$	根据 $\lambda$ 和 $\frac{h_0}{\delta}$ 值查图6-4-5	$\frac{f_1}{h_0} = 0.67, \therefore f_1 = 0.67 \times 1.15 = 0.77$
14	组合簧组数	$i$	组	$i = \frac{f_z}{f_1}$	$i = \frac{10}{0.77} = 12.99, \text{取 } 13$
15	自由高度	$H_z$		$H_z = [H + (n - 1)\delta]i$ (表6-4-1)	$n = 2$ $H_z = [2.65 + (2 - 1)1.5] \times 13 = 54$

表6-4-7 碟形弹簧计算之三

已知条件: 一有支承面碟形弹簧 (B型) 选用的规格尺寸为  $D = 100\text{mm}$ ,  $d = 50.8\text{mm}$ ,  $\delta = 6\text{mm}$ ,  $\delta' = 5.74\text{mm}$ ,  $H = 8.2\text{mm}$ 。施加负荷在  $P_1^* = 12800\text{N}$  与  $P_2^* = 40000\text{N}$  之间循环工作, 试求其疲劳寿命

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	直径比	$C$		$C = \frac{D}{d}$	$C = \frac{100}{50.8} = 1.97$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
2	支承面宽度系数	$K$		$K = \frac{D}{b} = 90 \sim 200$	取 $K \approx 150$
3	杠杆臂比值	$\eta$		根据 $C$ 和 $K$ 值查图 6-4-2	$\eta = 1.057$
4	无支承面的极限行程	$h^*$	mm	$h^* = H - \delta'$	$h^* = 8.2 - 5.74 = 2.46$
5	相当于无支承面的极限行程	$h'$	mm	$h' = \eta h^*$	$h' = 1.057 \times 2.46 = 2.6$
6	系数	$\alpha, \beta, \gamma$		根据 $C$ 值用插入法查表 6-4-4	$\alpha = 0.745 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$ $\beta = 1.213, \gamma = 1.365$
7	$f' = h'$ 时的负荷	$P_{f'=h'}$	N	$P_{f'=h'} = \frac{h'^3 \delta'^3}{\alpha D^2}$	$P_{f'=h'} = \frac{2.6 \times 5.74^3 \times 10^6}{0.745 \times 100^2}$ $= 66000$
8	负荷比值	$\lambda$		$\lambda = \frac{P}{P_{f'=h'}} = \frac{P^*/\eta}{P_{f'=h'}}$	$\lambda_1 = \frac{12800/1.057}{66000} = 0.183$ $\lambda_2 = \frac{40000/1.057}{66000} = 0.573$
9	比值	$h'/\delta'$			$h'/\delta' = \frac{2.6}{5.74} = 0.453$
10	变形量	$f'$	mm	根据 $\lambda$ 和 $h'/\delta'$ 值查图 6-4-5	$\frac{f'_1}{h'} = 0.16, \frac{f'_2}{h'} = 0.53$ $\therefore f'_1 = 0.16 \times 2.6 = 0.42$ $f'_2 = 0.53 \times 2.6 = 1.38$
11	确定疲劳破坏的关键部位位置			根据 $h'/\delta'$ 和 $C$ 值查图 6-4-3	在 II 点
12	II 点处的应力	$\sigma_{II}$	N/mm <sup>2</sup>	当 $f'_1 = 0.42 \text{ mm}$ 时 $\sigma_{II} = \frac{f'_1 \delta'}{\alpha D^2} \left[ -\beta \left( \frac{h'}{\delta'} - 0.5 \frac{f'_1}{\delta'} \right) + \gamma \right]$ $= \frac{0.42 \times 5.74}{0.745 \times 10^{-6} \times 100^2} \left[ -1.213 \left( \frac{2.6}{5.74} - 0.5 \frac{0.42}{5.74} \right) + 1.365 \right]$ $= 278.3$ 当 $f'_2 = 1.38 \text{ mm}$ 时 $\sigma_{II} = \frac{f'_2 \delta'}{\alpha D^2} \left[ -\beta \left( \frac{h'}{\delta'} - 0.5 \frac{f'_2}{\delta'} \right) + \gamma \right]$ $= \frac{1.38 \times 5.74 \times 10^6}{0.745 \times 100^2} \left[ -1.213 \left( \frac{2.6}{5.74} - 0.5 \frac{1.38}{5.74} \right) + 1.365 \right]$ $= 1022$	
13	碟簧计算上、下极限应力	$\sigma_{sh}, \sigma_x$	N/mm <sup>2</sup>	从上项参数可知	$\sigma_{sh} = 1022$ $\sigma_x = 278.3$
14	碟簧计算应力幅	$\sigma_h$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_h = \sigma_{sh} - \sigma_x$	$\sigma_h = 1022 - 278.3 = 743.7$

根据  $\sigma_{sh} = 1020, \sigma_x = 278$  从图 6-4-4 c 可知, 其寿命在  $N = 10^5$  以下。要想使碟簧在  $\sigma_{sh} = 1020 \text{ N/mm}^2$  下持久工作, 从图 6-4-4 c 可以看出, 其下限应力应是  $\sigma_x = 800 \text{ N/mm}^2$ , 也就是说, 该碟簧必须增加预压变形量。

#### (四) 碟形弹簧的材料及许用应力

碟形弹簧的材料一般采用 60Si2MnA 或力学性能与此接近的弹簧钢。在要求承受较高的变载荷时, 可采用 50CrVA 钢, 对有防锈、防腐蚀或耐热

要求时,可采用不锈钢、青铜或耐热钢。

碟形弹簧的许用应力,应按载荷的性质选取;

1. 受静载荷即弹簧在总工作时间内载荷变化次数  $N < 10^4$  次的碟形弹簧。

(1) 计算应力  $\sigma_I$  受静载荷的碟形弹簧,其最大压应力产生在弹簧内径的上表面 I 处,其计算应力按表 6-4-3 中的  $\sigma_I$  或  $\sigma'_I$  的公式计算,  $\sigma_I < [\sigma_I]$ 。

(2) 许用应力  $[\sigma_I]$  当  $f = 0.75h_0$  时,  $[\sigma_I] = 2000 \sim 2400$  (N/mm<sup>2</sup>); 当  $f = h_0$  时,  $[\sigma_I] = 2600 \sim 3000$  (N/mm<sup>2</sup>)。

2. 受变载荷即弹簧在总工作时间内载荷变化次数  $N > 10^4$  次的碟形弹簧。

受变载荷的碟形弹簧,应考虑它的疲劳破坏,其最大拉应力产生在弹簧内径的下表面 II 或外径的下表面 III 处。II 或 III 的位置确定,取决于 C 值和  $h_0/\delta$  比值。对于 A 型无支承面碟形弹簧,其最大拉伸部位可从图 6-4-3 查得,再按表 6-4-3 中的  $\sigma_I$  ( $\sigma'_I$ )

或  $\sigma_{II}$  ( $\sigma'_{II}$ ) 公式计算。对于 B 型有支承面碟形弹簧应以 C 值和  $h'/\delta'$  值 (参见表 6-4-3 B 型) 代替  $h_0/\delta$ , 查图 6-4-3 进行判断。

变载荷作用的碟形弹簧必须有预压变形量  $f_1$ 。一般  $f_1 = (0.15 \sim 0.2)h_0$ 。预压变形量  $f_1$  能防止 I 点附近产生径向小裂纹,对提高寿命也有作用。变载荷作用下单个(或对合组合不超过六片)碟形弹簧的疲劳强度根据寿命要求、碟簧厚度、计算的上限应力  $\sigma_{sH}$  (对应于工作时的最大变形量  $f_2$ ) 和下限应力  $\sigma_s$  (对应于预压变形量  $f_1$ ), 按图 6-4-4 查取。

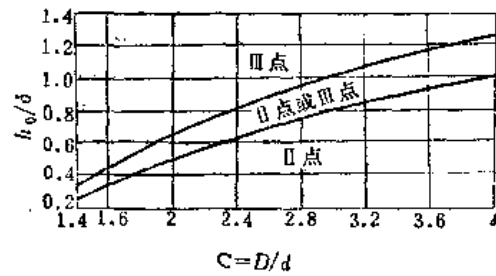


图 6-4-3 无支承面碟形弹簧疲劳破坏关键部位

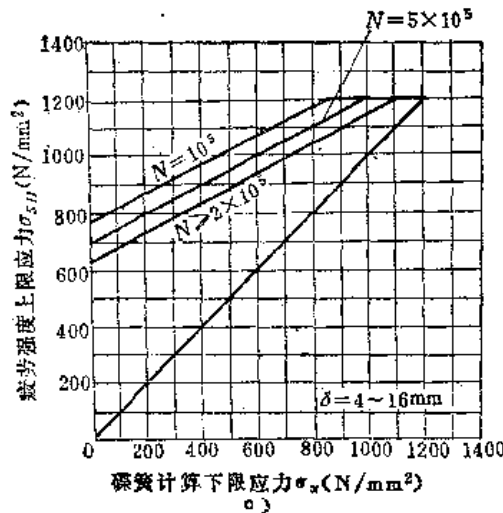
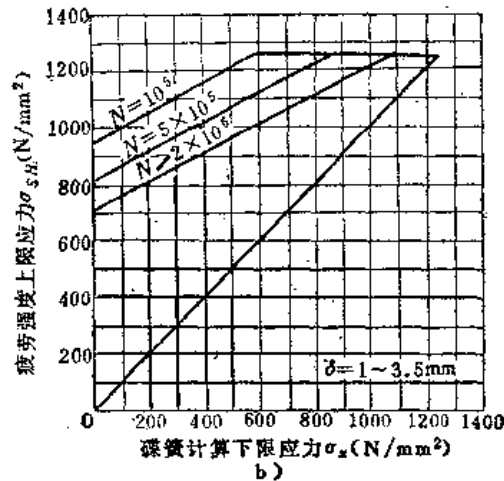
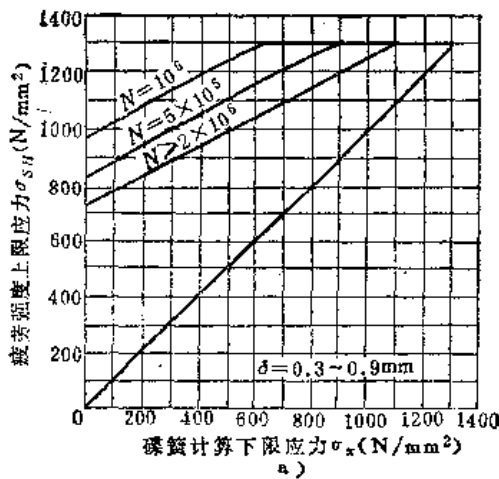


图 6-4-4 持久和定期强度计算线图

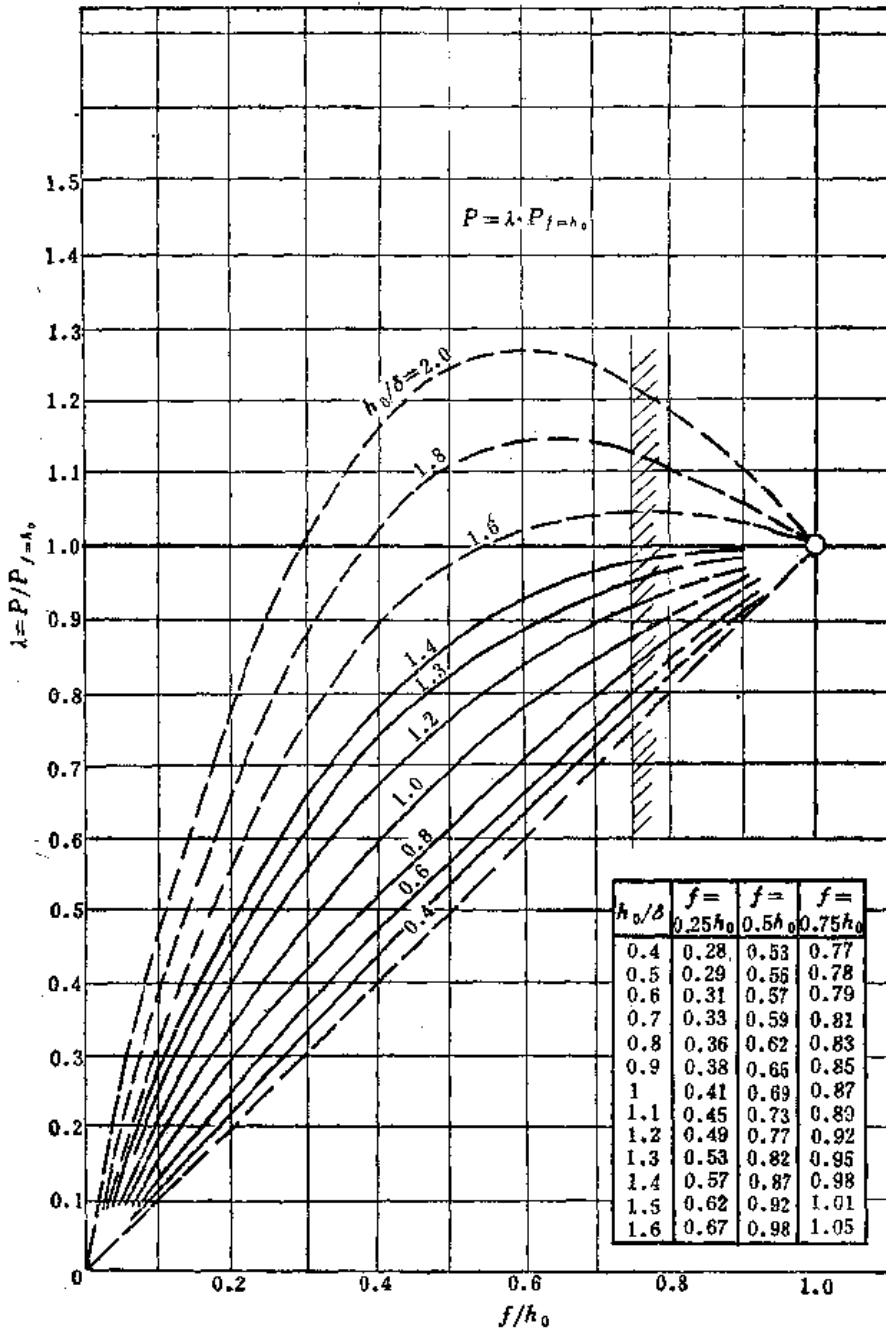


图6-4-5 按不同 $h_0/b$ 值计算求得的碟簧特性曲线

**(五) 碟形弹簧的尺寸偏差和技术要求**

碟形弹簧按GB1972—80《碟形弹簧》规定,其制造精度分为1级精度和2级精度。碟形弹簧的负荷偏差,内、外径公差,自由高度、厚度、支承面平行度和同轴度的极限偏差见表6-4-8。

碟簧锥面加热前的表面粗糙度不高于 $R_a = 12.5\mu m$ ,对于1级精度碟簧,在厚度 $\leq 3mm$ 时,

可按较高精度冷轧带钢供货表面状态,对于2级精度者,厚度 $\leq 4mm$ 时,可按高级精度冷轧钢板供货表面状态。

碟簧表面不得有毛刺、裂纹、斑疤等缺陷,淬火后应清除氧化皮、盐浴痕迹及其它污物。2级精度碟簧表面允许有在厚度公差范围内的微小凹陷。

用于变负荷的碟簧,内锥面淬火后推荐喷丸处理。碟簧硬度值应在HRC42~52范围内。



淬火后的单面脱碳层深度，1级碟簧厚度 $\leq 3$  mm时，不得超过厚度的5%；厚度 $> 3$  mm时，不得超过厚度的2%（其最小值不小于0.15mm）。碟簧应全部进行强压处理。

碟簧必要时可表面处理（镀锌、镀铜、磷化等）。经电镀处理的碟簧必须进行去氢处理。

碟形弹簧可以冲压或锻造成形（锻造比不得小于2），不允许用棒料车削。

表6-4-8 碟形弹簧的偏差（GB1972—80）

在 $P_f=0.75h_0$ 时 负荷偏差①	厚度 $\delta$ ( $\delta'$ ) (mm)	0.2~0.9		>0.9~3		>3~7		>7~26	
	1级精度	+25% -10%		+15% -7.5%		+10% -7.5%		+7.5% -5%	
	2级精度	+35% -15%		+35% -15%		+20% -10%		+15% -10%	
厚度偏差 $\Delta\delta$ (mm)	厚度 $\delta$ ( $\delta'$ ) (mm)	0.2~0.4	>0.4~0.9	>0.9~1.5	>1.5~2.2	>2.2~3	>3~4	>4~7	>7~26
	1级精度	-0.01 -0.04	-0.01 -0.06	-0.01 -0.09	-0.01 -0.11	-0.01 -0.13	$\pm 0.05$	$\pm 0.05$	$\pm 0.08$
	2级精度	+0.04 -0.05	+0.09 -0.11	+0.14 -0.16	+0.15 -0.19	+0.18 -0.22	+0.22 -0.30	$\pm 0.08$	$\pm 0.12$
碟簧的内 外径公差	外径	1级精度	h13						
		2级精度	h13						
	内径	1级精度	H13						
		2级精度	H14						
碟簧内外 径的同轴度 ② (mm)	外径 $D$ (mm)	8~28	>28~50	>50~125	>125~250	>250~450			
	1级精度	0.08	0.10	0.12	0.15	0.20			
	2级精度	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40			
支承面宽 度 $b$ 偏差	1级精度	+0.5 $b$ -0.3 $b$							
	2级精度	+0.1 $b$ -0.5 $b$							
两支承平 面的平行度 ④ (mm)	外径 $D$ (mm)	8~18	>18~40	>40~63	>63~100	>100~160	>160~250	>250~450	
	1级精度	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	
	2级精度	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.20	0.25	
支承面与 检查平台间 的最大间隙 ⑤ (mm)	外径 $D$ (mm)	8~18	>18~40	>40~63	>63~100	>100~160	>160~250	>250~450	
	1级精度	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	
	2级精度	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.20	
自由高度的 偏差 (mm)	厚度 $\delta$ ( $\delta'$ ) (mm)	0.2~0.9	>0.9~2	>2~3.5	>3.5~6	>6~14	>14		
	1级精度	+0.08 -0.03	+0.10 -0.05	+0.15 -0.05	+0.20 -0.05	+0.30 -0.10	+0.45 -0.15		
	2级精度	+0.12 -0.05	+0.15 -0.08	+0.25 -0.15	+0.30 -0.08	+0.45 -0.15	+0.60 -0.20		

注：①  $P_f=0.75h_0$ 系指碟簧压缩到高度为 $H-0.75h_0$ 时的弹簧负荷。

② 在保证碟簧负荷偏差的条件下，厚度公称尺寸在制造过程中可适当调整，但其公差带不得超出本规定的范围。厚度大于4mm的2级精度碟形弹簧，在使用要求许可的条件下，锥面和厚度偏差可按热轧弹簧钢板的原材料供货时的实际尺寸偏差。此时，碟簧负荷偏差不做验收依据。

③ 为达到成品碟簧的同轴度要求，对于压型前的平面型坯料，内径公差应加严格要求，内、外径的同轴度不得大于表中数值之半。

④ 两支承面（A型为圆线）的不平行度，按外径 $D$ 计是不得大于表中数值。

⑤ 支承面（A型为圆线）与检查平台间的最大间隙不得大于表中数值，间隙的累加总弧长不得大于圆周长的1/3。检查间隙可在2%的 $P_f=0.75h_0$ 的负荷下进行，但不超过300N。

### 第5节 环形弹簧

环形弹簧（如图 6-5-1 所示）是由多个具有配合圆锥表面的钢制内、外圆环组成。

在轴向负荷作用下，环形弹簧的内外环沿着锥面互相接触，因此产生很大的径向力，致使外环受拉（外环外径增大），而内环受压（内环内径缩小）。在轴向负荷下，内外环沿着圆锥表面产生的相对滑动，使整个弹簧产生轴向变形——轴向缩短；当卸荷时，由于圆锥斜角  $\beta$  大于摩擦角，其弹性力可克服摩擦力，使环形弹簧恢复到原来的尺寸。

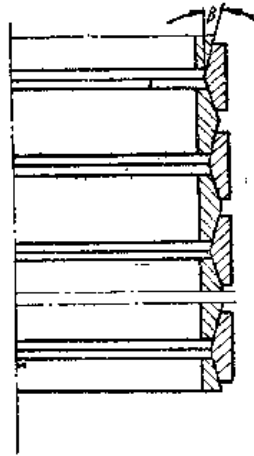


图6-5-1 环形弹簧的纵向剖面

环形弹簧一般安装在导向圆筒或芯轴上，由于受载后外环外径增大，内环内径缩小，因此，外环与导向圆筒、内环与芯轴间均应留有适当的间隙（一般为直径的 2%）。

为了防止环形弹簧圆锥表面间受擦伤和粘着，减少磨损、消除噪音和冷却其工作表面，应在接触面间加入润滑剂。常用的固体润滑剂为石墨等，或者采用润滑脂。

#### （一）环形弹簧的特性

环形弹簧的特性曲线如图 6-5-2 所示。在各个环互相压紧时，环形弹簧所作的功由弹簧功与摩擦功所组成（如图中  $\triangle OAD$  所示）。由于内、外环锥面之间的摩擦阻力大，在卸载过程中，摩擦力阻滞弹性变形的恢复，使负荷-变形曲线有一个远离加载曲线滞后回路，即在卸载时所做的功少了一个摩擦功，而只有一个弹簧功，如图中  $\triangle OBD$  所示。由此可知环形弹簧的摩擦功（如图中  $\triangle OAB$ ）可达加

载过程所作的功的 60~70%。

环形弹簧的基本优点，是由于其本身摩擦阻力大，故具有非常好的缓冲和吸震能力，此外还可承载高负荷。环形弹簧由许多对内环及外环组成，因此，损坏或磨损后不需要全部更换，只需更换报废的个别环，修理较容易，也比较经济。

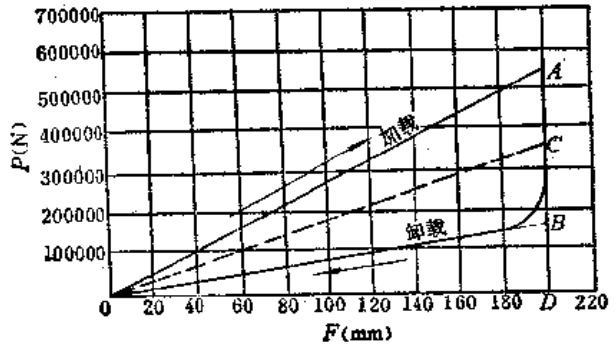


图6-5-2 环形弹簧的特性曲线

#### （二）环形弹簧参数的选择（表6-5-1至表6-5-3）

表6-5-1 圆锥面斜角  $\beta$

选用范围	一般加工精度	加工精度较好	选用条件
$\beta = 12^\circ \sim 20^\circ$	斜度为 1:4 $\beta = 14.04^\circ$	$\beta = 12^\circ$	$\beta > \rho$ 否则，卸荷时产生自锁

表6-5-2 摩擦角  $\rho$  和摩擦系数  $\mu$

接触面加工状况	负荷	摩擦角 $\rho$	摩擦系数 $\mu$
一般	重	$9^\circ$	0.16
精加工	重	$8.5^\circ$	0.15
精加工	轻	$7^\circ$	0.12

注：适用于良好润滑条件。

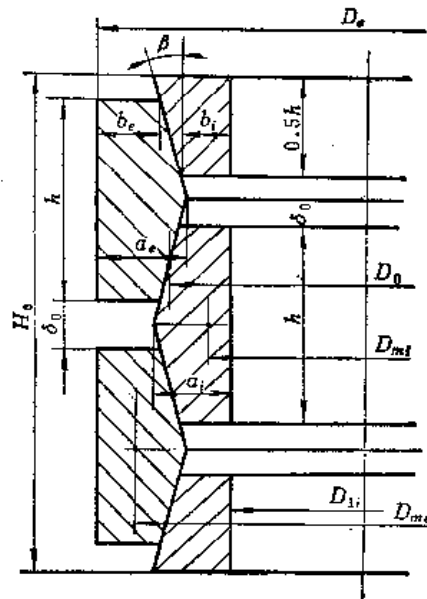
表6-5-3 许用应力 ( $N/mm^2$ )

加工或使用条件	外环许用应力 $[\sigma_e]$	内环许用应力 $[\sigma_i]$
一般使用寿命	800	1200
使用寿命短或接触面未精加工	1000	1300
使用寿命短或接触面精加工	1200	1500

注：材料为 60Si2Mn 或 50CrMn 等弹簧钢。

#### （三）环形弹簧的设计计算（表6-5-4）

表6-5-4 环形弹簧的设计计算



已知条件		选用参数	
最大轴向工作负荷	$P = 340000 \text{ N}$	圆锥面斜角	$\beta = 14^\circ$
弹簧外环外径	$D_e \leq 220 \text{ mm}$	材料	60Si2MnA
轴向变形量	$F = 50 \text{ mm}$	摩擦角	$\rho = 7^\circ$ (摩擦系数 $\mu = 0.12$ )

设计计算 (下角标  $e$  —— 外环,  $i$  —— 内环)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
1	内外环高度	$h$	mm	$h = \left( \frac{1}{6} \sim \frac{1}{5} \right) D_e$	$h = 0.18 D_e = 0.18 \times 220 \approx 40$
2	内外环径向最小厚度	$b$	mm	$b = \left( \frac{1}{5} \sim \frac{1}{3} \right) h$ $b_e > b_i$ 取 $b_e = 1.3 b_i$	$b_i = 0.25 h = 0.25 \times 40 = 10$ $b_e = 1.3 \times 10 = 13$
3	自由状态下相邻两外(内)环的轴向间隙	$\delta_0$	mm	$\delta_0 = 0.25 h$	$\delta_0 = 0.25 \times 40 = 10$
4	内外环最大径向厚度	$a$	mm	$a_e = b_e + \frac{h}{2} \tan \beta$ $a_i = b_i + \frac{h}{2} \tan \beta$	$a_e = 13 + \frac{40}{2} \tan \beta = 18$ $a_i = 10 + \frac{40}{2} \tan \beta = 15$
5	内外环截面积	$A$	mm <sup>2</sup>	$A_e = h b_e + \frac{h^2}{4} \tan \beta$ $A_i = h b_i + \frac{h^2}{4} \tan \beta$	$A_e = 40 \times 13 + \frac{40^2}{2} \tan \beta = 719.46$ $A_i = 40 \times 10 + \frac{40^2}{2} \tan \beta = 599.46$
6	内环内径	$D_{ii}$	mm	$D_{ii} = D_e - 2(b_e + b_i) - (h - \delta_0) \tan \beta$	$D_{ii} = 220 - 2(13 + 10) - (40 - 10) \tan \beta = 166.5$
7	系数	$K_c, K_r$		$K_c = \tan(\beta + \rho)$ $K_r = \tan(\beta - \rho)$	$K_c = \tan(14^\circ + 7^\circ) = 0.384$ $K_r = \tan(14^\circ - 7^\circ) = 0.123$

(续)

序号	参数名称	代号	单位	计算公式	举例计算
8	圆锥接触面平均直径	$D_0$	mm	$D_0 = \frac{1}{2} [(D_e - 2b_e) + (D_{i1} + 2b_i)]$	$D_0 = \frac{1}{2} [(220 - 2 \times 13) + (166.5 + 2 \times 10)] = 190.25$
9	加负荷时外环截面中的拉应力	$\sigma_e$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_e = \frac{P}{\pi A_e K_e}$	$\sigma_e = \frac{340000}{\pi \times 719.46 \times 0.384} = 392$
10	加负荷时外环接触面的最大应力	$\sigma_{e,max}$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{e,max} = \sigma_e \left[ 1 + \frac{2A_e}{\nu D_0 (h - \delta_0) (1 - \mu \operatorname{tg} \beta)} \right] < [\sigma_e]$ $\nu$ ——泊松比, $\nu = 0.3$ $\sigma_{e,max} = 392 \left[ 1 + \frac{2 \times 719.46}{0.3 \times 190.25 (40 - 10) (1 - 0.12 \operatorname{tg} \beta)} \right] = 732$ $\sigma_{e,max} < [\sigma_e], [\sigma_e] = 800, \text{表6-5-3}$	
11	内外环截面中心直径	$D_m$	mm	$D_{m_e} = D_e - 1.3b_e$ $D_{m_i} = D_{i1} + 1.3b_i$	$D_{m_e} = 220 - 1.3 \times 13 = 203.1$ $D_{m_i} = 166.5 + 1.3 \times 10 = 179.5$
12	加负荷时内环截面中的压应力	$\sigma_i$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_i = \frac{P}{\pi A_i K_e} < [\sigma_i]$ $[\sigma_i]$ 见表6-5-3	$\sigma_i = \frac{340000}{\pi \times 599.46 \times 0.384} = 470$ $\sigma_i < [\sigma_i]$
13	加负荷后内外环的径向变形量	$\Delta r$	mm	$\Delta r_e = \frac{\sigma_e D_{m_e}}{2E}$ (外环增大) $\Delta r_i = \frac{\sigma_i D_{m_i}}{2E}$ (内环缩小) $E = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$	$\Delta r_e = \frac{392 \times 203.1}{2 \times 2.1 \times 10^5} = 0.19$ $\Delta r_i = \frac{470 \times 179.5}{2 \times 2.1 \times 10^5} = 0.20$
14	加负荷后每对接触面的轴向变形量	$f$	mm	$f = \frac{\Delta r_e + \Delta r_i}{\operatorname{tg} \beta}$	$f = \frac{0.19 + 0.20}{\operatorname{tg} \beta} = 1.56$
15	所需内外环接触面对数	$n'$	对	$n' = \frac{F}{f}$	$n = \frac{50}{1.56} = 32$
16	所需内外环个数	$n$	个	$n_e = n_i = \frac{n'}{2}$	$n_e = n_i = \frac{32}{2} = 16$ 两端的两个半环作为一个环计算
17	加负荷后相邻两外(或内)环间的轴向间隙	$\delta$	mm	$\delta = \delta_0 - 2f > 1$	$\delta = 10 - 2 \times 1.56 = 6.9 > 1$
18	环簧自由高度	$H_0$	mm	$H_0 = \frac{n'}{2} (h + \delta_0)$	$H_0 = \frac{32}{2} (40 + 10) = 800$
19	加负荷环簧高度	$H$	mm	$H = H_0 - n'f$	$H = 800 - 32 \times 1.56 = 750.1$
20	环簧的极限工作变形量	$F_f$	mm	$F_f = \frac{n'}{2} (\delta_0 - \delta) > F$	$F_f = \frac{32}{2} (10 - 6.9) = 49.6 \approx F$
21	环簧工作极限负荷	$P_f$	N	$P_f = \frac{2\pi EK_e F_f \operatorname{tg} \beta}{n' \left( \frac{D_{m_e}}{A_e} + \frac{D_{m_i}}{A_i} \right)} > P$	$P_f = \frac{2\pi \times 2.1 \times 10^5 \times 0.384 \times 49.6 \operatorname{tg} \beta}{32 \left( \frac{203.1}{719.46} + \frac{179.5}{599.46} \right)} = 336598 > P$
22	弹性变形开始恢复时的轴向负荷	$P_r$	N	$P_r = P \frac{K_r}{K_e}$	$P_r = 340000 \frac{0.123}{0.384} = 108900$

### 第6节 片 弹 簧

片弹簧常用材料为65Mn或60Si2Mn，表6-6-1列出了片弹簧的最大工作负荷 $P_n$ 和最大工作负荷下的变形量 $F_n$ 的计算公式。

片弹簧的许用应力，取决于负荷的性质，由65Mn制成的许用弯曲应力 $[\sigma] = 400 \sim 500 \text{ N/mm}^2$ ，由60Si2Mn制成的许用弯曲应力 $[\sigma] = 500 \sim 600 \text{ N/mm}^2$ ，对于动负荷应取较小的数值。经淬火和回火的片弹簧，其硬度应在HRC38~45

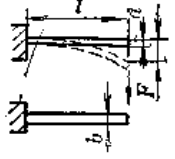
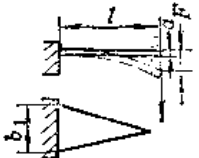
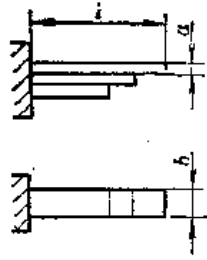

范围内。

表6-6-1是矩形截面的弹簧计算公式，对圆形截面也可适用，但要改变截面系数 $Z_n$ 和截面惯性矩 $I$ 。

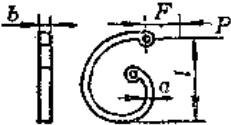
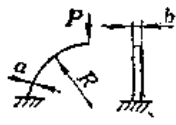
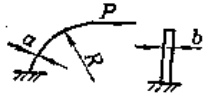
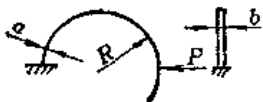
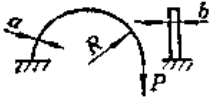
	矩形截面	圆形截面
截面系数 $Z_n$	$\frac{ba^2}{6}$	$0.1d^3$
截面惯性矩 $I$	$\frac{ba^3}{12}$	$\frac{\pi d^4}{64}$

注：b—宽度，a—厚度，d—直径

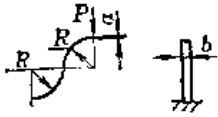
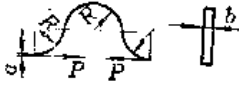
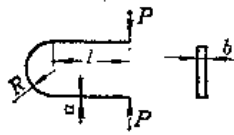
表6-6-1 矩形截面片弹簧计算公式

片 簧 名 称	最大工作负荷 $P_n$ (N)	最大工作负荷下的变形量 $F_n$ (mm)	片簧宽度b (mm)	片簧厚度a (mm)
悬臂片弹簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{l}$ $= \frac{ba^2}{6l}[\sigma]$	$F_n = \frac{P_n l^3}{3EI} = \frac{4P_n l^3}{Eba^3}$ $= \frac{2l^2[\sigma]}{3Ea}$	$b = \frac{6P_n l}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{2l^2[\sigma]}{3EF_n}$
悬臂三角形片弹簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{l}$ $= \frac{b_1 a^2}{6l}[\sigma]$	$F_n = \frac{P_n l^3}{2EI} = \frac{6P_n l^3}{Eb_1 a^3}$ $= \frac{l^2[\sigma]}{Ea}$	$b_1 = \frac{6P_n l}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{l^2[\sigma]}{EF_n}$
悬臂叠加片弹簧 	$P_n = \frac{Z_{nn}[\sigma]}{l}$ $= \frac{ba^2}{6l} n[\sigma]$	$F_n = \frac{P_n l^3}{2EIn} = \frac{6P_n l^3}{Eba^3 n}$ $= \frac{l^2[\sigma]}{Ea}$	$b = \frac{6P_n l}{a^2 n[\sigma]}$	$a = \frac{l^2[\sigma]}{EF_n}$
悬臂叠加等强度片弹簧 	$P_n = \frac{Z_{nn}[\sigma]}{l}$ $= \frac{ba^2}{6l} n[\sigma]$	$F_n = \frac{P_n l^3}{2EIn} = \frac{6P_n l^3}{Eba^3 n}$ $= \frac{l^2[\sigma]}{Ea}$	$b = \frac{6P_n l}{a^2 n[\sigma]}$	$a = \frac{l^2[\sigma]}{EF_n}$

(续)

片簧名称	最大工作负荷 $P_n$ (N)	最大工作负荷 下的变形量 $F_n$ (mm)	片簧宽度 $b$ (mm)	片簧厚度 $a$ (mm)
成形片簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{l}$ $= \frac{ba^2[\sigma]}{6l}$	$F_n = \frac{3P_n l^3}{2EI} = \frac{18P_n l^3}{Eba^3}$ $= \frac{3l^2[\sigma]}{Ea}$	$b = \frac{6P_n l}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{3l^2[\sigma]}{EF_n}$
1/4圆形片簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{R}$ $= \frac{ba^2[\sigma]}{6R}$	垂直方向变形量 $F_{ny} = \frac{47P_n R^3}{60EI}$ $= 9.4 \times \frac{P_n R^3}{Eba^3}$ $= \frac{1.57R^2[\sigma]}{Ea}$ 水平方向变形量 $F_{nx} = \frac{P_n R^3}{2EI} = \frac{6P_n R^3}{Eba^3}$ $= \frac{R^2[\sigma]}{Ea}$	$b = \frac{6P_n R}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{1.57R^2[\sigma]}{EF_{ny}}$
1/4圆形片簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{R}$ $= \frac{ba^2[\sigma]}{6R}$	$F_{nx} = \frac{4.27P_n R^3}{12EI}$ $= \frac{4.27P_n R^3}{Eba^3}$ $= \frac{0.71R^2[\sigma]}{Ea}$	$b = \frac{6P_n R}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{0.71R^2[\sigma]}{EF_{nx}}$
半圆形片簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{2R}$ $= \frac{ba^2[\sigma]}{12R}$	$F_{ny} = \frac{113P_n R^3}{24EI}$ $= \frac{56.5P_n R^3}{Eba^3}$ $= \frac{4.71R^2[\sigma]}{Ea}$	$b = \frac{12P_n R}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{4.71R^2[\sigma]}{EF_{ny}}$
半圆形片簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{R}$ $= \frac{ba^2[\sigma]}{6R}$	$F_{nx} = \frac{18.8P_n R^3}{12EI}$ $= \frac{18.8P_n R^3}{Eba^3}$ $= \frac{\pi R^2[\sigma]}{Ea}$	$b = \frac{6P_n R}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{\pi R^2[\sigma]}{EF_{nx}}$

(续)

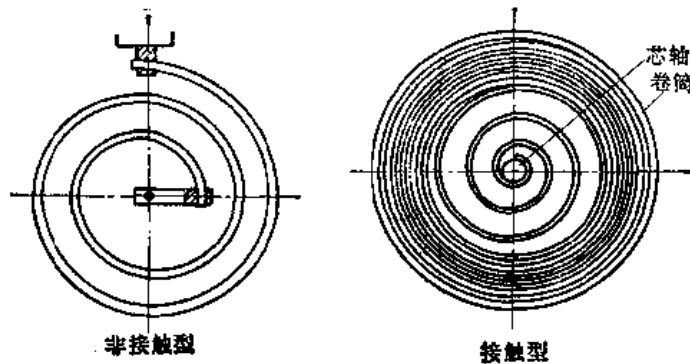
片簧名称	最大工作负荷 $P_n$ (N)	最大工作负荷 下的变形量 $F_{ny}$ (mm)	片簧宽度 $b$ (mm)	片簧厚度 $a$ (mm)
双圆弧片簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{2R}$ $= \frac{ba^2[\sigma]}{12R}$	$F_{ny} = \frac{113P_n R^3}{24EI}$ $= \frac{56.5P_n R^3}{Eba^3}$ $= \frac{4.71R^2[\sigma]}{Ea}$	$b = \frac{12P_n R}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{4.71R^2[\sigma]}{EF_{ny}}$
多圆弧片簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{2R}$ $= \frac{ba^2[\sigma]}{12R}$	受力后两端靠近的距离 $F_{nx} = \frac{113P_n R^3}{12EI}$ $= \frac{113P_n R^3}{Eba^3}$ $= \frac{9.42R^2[\sigma]}{Ea}$	$b = \frac{12P_n R}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{9.42R^2[\sigma]}{EF_{nx}}$
U形片簧 	$P_n = \frac{Z_n[\sigma]}{l+R}$ $= \frac{ba^2[\sigma]}{6(l+R)}$	受力后两端靠近的距离 $F_{ny} = \frac{288P_n}{EI} \left[ \frac{l^3}{3} + R \right.$ $\times \left( \frac{\pi}{2}l^2 + \frac{\pi}{4}R^2 \right.$ $\left. \left. + 2lR \right) \right]$ $= \frac{24P_n}{Eba^3} \left[ \frac{l^3}{3} + R \right.$ $\times \left( \frac{\pi}{2}l^2 + \frac{\pi}{4}R^2 \right.$ $\left. \left. + 2lR \right) \right]$ $= \frac{4[\sigma]}{(l+R)Ea}$ $\times \left[ \frac{l^3}{3} + R \times \right.$ $\times \left( \frac{\pi}{2}l^2 + \frac{\pi}{4} \right.$ $\left. \left. \times R^2 + 2lR \right) \right]$	$b = \frac{6P_n(l+R)}{a^2[\sigma]}$	$a = \frac{4[\sigma]}{(l+R)EF_{ny}}$ $\times \left[ \frac{l^3}{3} + R \times \left( \frac{\pi}{2}l^2 \right. \right.$ $\left. \left. + \frac{\pi}{4}R^2 + 2lR \right) \right]$

注:  $n$ —簧片数(片),  $E$ —弹性模量(N/mm<sup>2</sup>),

## 第7节 平面涡卷弹簧

平面涡卷弹簧设计公式见表 6-7-1, 设计计算示例见表 6-7-2和表6-7-3。

表6-7-1 平面涡卷弹簧主要计算公式



参数名称和代号	单位	非接触型		接触型 (发条弹簧)
		外端固定	外端回转	
扭转角 $\varphi$	rad	$\varphi = \frac{Ml}{EI}$	$\varphi = \frac{1.25Ml}{EI}$	
工作圈数 $n$	圈	$n = \frac{Ml}{2\pi EI} = \frac{6Ml}{\pi Eba^3}$	$n = \frac{1.25Ml}{2\pi EI} = \frac{7.5Ml}{\pi Eba^3}$	$n = \frac{Ml}{2\pi EI} = \frac{6Ml}{\pi Eba^3}$
弯曲应力 $\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b = \frac{M}{Z_n} < [\sigma_b]$	$\sigma_b = \frac{2M}{Z_n} < [\sigma_b]$	$\sigma_b = \frac{M}{Z_n} < [\sigma_b]$
刚度 $M'$	N·mm/rad	$M' = \frac{M}{\varphi} = \frac{EI}{l}$	$M' = \frac{M}{\varphi} = \frac{EI}{1.25l}$	$M' = \frac{M}{2n\pi}$

注: 1.  $M$ ——作用转矩(N·mm)。

2.  $l$ ——弹簧有效长度(mm),  $l = 3000a \sim 7000a$ , 最大不超过15000  $a$ 。

3.  $I$ ——截面惯性矩, 对矩形  $I = \frac{ba^3}{12}$ ,  $b$ 为宽度,  $a$ 为厚度。

4.  $E$ ——弹性模量(N/mm<sup>2</sup>), 对钢  $E = 2.1 \times 10^5$  N/mm<sup>2</sup>。

5.  $Z_n$ ——截面系数, 对矩形  $Z_n = \frac{ba^2}{6}$ 。

6.  $[\sigma_b]$ ——许用应力(N/mm<sup>2</sup>), 见图6-7-1。



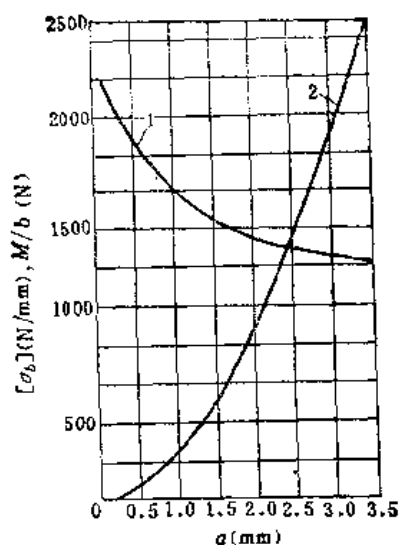
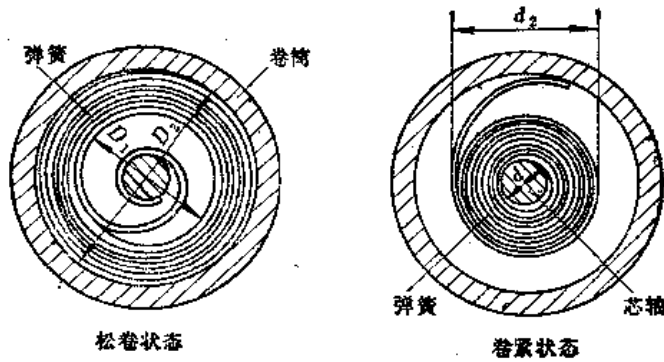


图6-7-1 钢带厚度  $a$  与许用应力  $[\sigma_b]$  和  $M/b$  的关系  
材料为冷拉碳素钢带  
1—许用应力 2— $M/b$  值

表6-7-2 非接触型平面涡卷弹簧设计计算

已知条件		选用参数		
最大工作负荷	$P_n = 6 \text{ N}$	材料宽度	$b = 6 \text{ mm}$	
最大负荷下的应力	$\sigma = 600 \text{ N/mm}^2$	材料种类	冷拉碳素钢带	
负荷 $P_1 = 4 \text{ N}$ 时的扭转角	$\varphi_1 = 80^\circ$	外端固定		
负荷作用点距弹簧中心距离	$A = 16 \text{ mm}$			
序号	参数名称及代号	单位	计算公式	举例计算
1	最大转矩 $M_n$	$\text{N} \cdot \text{mm}$	$M_n = P_n \cdot A$	$M_n = 6 \times 16 = 96$
2	钢带厚度 $a$	$\text{mm}$	$a = \sqrt{\frac{6M_n}{b\sigma}}$	$a = \sqrt{\frac{6 \times 96}{6 \times 600}} = 0.4$
3	最大负荷下的扭转角 $\varphi_n$	$\text{rad}$	$\varphi_n = \frac{P_n \varphi_1}{P_1}$	$\varphi_2 = \frac{6 \times 80}{4} = 120^\circ = \frac{2\pi}{3} \text{ rad}$
4	钢带长度 $l$	$\text{mm}$	$l = \frac{\varphi_n E b a^3}{12 M_n}$	$l = \frac{2\pi \times 2.1 \times 10^4 \times 6 \times 0.4^3}{3 \times 12 \times 96} = 146.6$
5	最大工作应力 $\sigma_{bn}$	$\text{N/mm}^2$	$\sigma_{bn} = \frac{6 M_n}{b a^2} < [\sigma_b]$ $[\sigma_b]$ 见图6-7-1	$\sigma_{bn} = \frac{6 \times 96}{6 \times 0.4^2} = 600 < [\sigma_b]$ $[\sigma_b] = 1800 \text{ N/mm}^2$
6	刚度 $M'$	$\text{N} \cdot \text{mm/rad}$	$M' = \frac{M_n}{\varphi_n}$	$M' = \frac{96 \times 3}{2\pi} = 45.8$

表6-7-3 接触型平面涡卷弹簧(发条弹簧)设计计算



已知条件			选用材料	
最大转矩 $M = 3000 \text{ N} \cdot \text{mm}$ 安装弹簧外壳内径 $D_2 = 90 \text{ mm}$ 钢带宽度 $b = 20 \text{ mm}$ 钢带内端固定在轴头上, 外端固定在壳体的内壁上			冷拉碳素弹簧钢带	
序号	参数名称及代号	单位	计算公式	举例计算
1	钢带单位宽度上的转矩 $M/b$	N		$\frac{M}{b} = \frac{3000}{20} = 150$
2	钢带厚度 $a$	mm	根据 $M/b$ 值在图6-7-1上查取	$a = 0.72$
3	芯轴直径 $d_1$	mm	$d_1 = (15 \sim 25) a$ 一般取 $d_1 = 20 a$	$d_1 = 20 \times 0.72 = 14.4$ 取15
4	钢带占空比① $m$		$m = 1.5 \sim 5$ 一般取 $m = 2$	$m = 2$
5	钢带有效长度 $l$	mm	$l = \frac{\pi}{4 m a} (D_2^2 - d^2)$	$l = \frac{\pi (90^2 - 15^2)}{4 \times 2 \times 0.72} = 4295$
6	弹簧松卷时的内径 $D_1$	mm	$D_1 = \sqrt{D_2^2 - \frac{4 l a}{\pi}}$	$D_1 = \sqrt{90^2 - \frac{4 \times 4295 \times 0.72}{\pi}}$ $= 64.5$
7	弹簧全部松卷时的圈数 $n_1$	圈	$n_1 = (D_2 - D_1) \frac{K}{2 a}$ $K$ 查表6-7-4	$K = 0.3 (m = 2 \text{ 时})$ $n_1 = \frac{0.3}{2 \times 0.72} (90 - 64.5) = 14.2$

(续)

序号	参数名称及代号	单位	计算公式	举例计算
8	弹簧卷紧时的外径 $d_2$	mm	$d_2 = \sqrt{\frac{4Fa}{\pi} + d_1^2}$	$d_2 = \sqrt{\frac{4 \times 4295 \times 0.72}{\pi} + 15^2}$ = 64.5
9	弹簧卷紧在轴上时的圈数 $n_2$	圈	$n_2 = \frac{1}{2\alpha}(d_2 - d_1)$	$n_2 = \frac{1}{2 \times 0.72}(64.5 - 15) = 34.4$
10	工作圈数 $n$	圈	$n = \frac{6Ml}{\pi Eba^3}$	$n = \frac{6 \times 3000 \times 4295}{\pi \times 2.1 \times 10^5 \times 20 \times 0.72^3}$ = 15.7
11	弯曲应力 $\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b = \frac{6M}{ba^2} < [\sigma]$ [ $\sigma_b$ ]根据 $n$ 值从图6-7-1查取	$\sigma_b = \frac{6 \times 3000}{20 \times 0.72^2} = 1740 \leq [\sigma]$ $\alpha = 0.72$ 时, $[\sigma] = 1750 \text{ N/mm}^2$

① 占空比是弹簧在壳体内空间所占面积之比,  $m = 2$  也即弹簧所占面积是壳体内空间面积的1/2。

表6-7-4 系数K值

$m$	5	4	3	2	1.5
K	0.672	0.702	0.739	0.796	0.85

(续)

## 第8节 弹簧材料

弹簧材料列于表6-8-1至表6-8-16。

表6-8-1 弹簧采用材料 (GB1239—89)

序号	材料标准号	材料名称	压缩 弹簧	拉伸 弹簧	扭转 弹簧
1	GB4357	碳素弹簧钢丝	√	√	√
2	GB4358	琴钢丝	√	√	√
3	GB4359	阀门用油淬火回火碳素弹簧钢丝	√		
4	GB4360	油淬火回火碳素弹簧钢丝	√	√	√
5	GB4361	油淬火回火硅锰合金弹簧钢丝	√	√	√
6	GB4362	阀门用油淬火回火铬硅合金弹簧钢丝	√		
7	GB5218	硅锰弹簧钢丝	√		

序号	材料标准号	材料名称	压缩 弹簧	拉伸 弹簧	扭转 弹簧
8	GB5219	铬钒弹簧钢丝	√		
9	GB5220	阀门用铬钒弹簧钢丝	√		
10	GB5221	铬硅弹簧钢丝	√		
11	GB2271	阀门用油淬火回火铬钒合金弹簧钢丝	√		
12	YB(T)11	弹簧用不锈钢丝	√	√	√
13	GB3123	硅青铜线	√	√	√
14	GB3124	锡青铜线	√	√	√
15	GB3134	铍青铜线	√		

注: 1. 表中的材料(√)适用冷卷弹簧  
2. 热卷压簧、拉簧应采用GB1222中规定的65Mn、55Si2Mn、55Si2MnB、60Si2Mn、55CrMnA、60CrMnA、50CrVA和60Si2MnA。

表6-8-2 弹簧用的钢丝材

材料名称	标准号	被代替的标准号	分类	用途
碳素弹簧钢丝	GB4357-84	YB248-64	A组	一般弹簧及其他
			B组	低应力弹簧
			C组	较高应力弹簧
油淬火一回火碳素弹簧钢丝	GB4360-84	YB248-64	A类	一般强度弹簧
			B类	较高强度弹簧
琴钢丝	GB4358-84	YB248-64 YB550-65	G1组	各种重要用途弹簧
			G2组	各种高应力弹簧
			F组	阀弹簧
阀门用油淬火一回火低合金弹簧钢丝	GB4359-84	YB550-65	—	内燃机阀门弹簧及其它类似用途弹簧
油淬火一回火铬钒合金弹簧钢丝	GB2271-84	GB2271-80	—	内燃机阀门弹簧及其它类似用途弹簧
油淬火一回火硅锰合金弹簧钢丝	GB4361-84	—	A类	一般弹簧
			B类	一般弹簧及汽车悬挂螺旋弹簧
			C类	汽车悬挂螺旋弹簧
油淬火一回火铬硅合金弹簧钢丝	GB4362-84	—	—	较高温度下耐高应力的内燃机阀门弹簧
硅锰弹簧钢丝	GB5218-85	YB249-64		
铬钒弹簧钢丝	GB5219-85	YB249-64		
阀门用铬钒弹簧钢丝	GB5220-85	YB285-64 YB218-64		阀门弹簧
铬硅弹簧钢丝	GB5221-85			
弹簧用不锈钢丝	YB(T)11		A、B、C组	
不锈钢酸钢丝	YB252-79		I、II组	
青铜线	GB3123-82等			

注：L—冷拉，T—退火，Zh—正火，Gh—高温回火。

## 料规格及用途

材料牌号	材料直径 (mm)	抗拉强度	材料供应状态	附注
70、75 80 65Mn 70Mn	0.08~13	表6-8-4		
55、60、60Mn、65、65Mn、 70、70Mn 65、65Mn、70、70Mn、 75、80	2~12	表6-8-7	经油淬火-回火 处理	
60、60Mn、65、 65Mn、70、70Mn、 75、80、T8MnA、 T9A	0.08~6	表6-8-5	经油淬火-回火 处理	绕制后不必经热处 理或仅经低温回火
65Mn、70	2~6	表6-8-7	经油淬火-回火 处理	
50CrVA	1~10	表6-8-8	经油淬火-回火 处理	
65Si2MnA	2~14	表6-8-8	经油淬火-回火 处理	
55CrSi	1.6~8	表6-8-8	经油淬火-回火 处理	
60Si2MnA	1~12	$\phi 5$ 以上者 $\sigma_b > 1050 \text{N/mm}^2$ HB $> 302$	L、Zh T、Gh	绕制后须经淬火回 火热处理
50CrVA	0.8~12		L T	绕制后须经淬火回 火热处理
50CrVA	0.5~12	$\sigma_b(\text{N/mm}^2)$	L T	绕制后须经淬火回 火热处理
		HB		
		L	$> 1050$	$> 306$
		T	$> 800$	$> 240$
55CrSiA	0.8~5	—	L T	绕制后须经淬火回 火热处理
	0.08~12	表6-8-6		
1Cr18Ni9 1Cr18Ni9Ti 2Cr18Ni9 1Cr13、3Cr13 2Cr13、4Cr13	0.20~6	表6-8-9	冷拉 热处理	
	0.10~6	表6-8-13 表6-8-14		

表6-8-3 弹簧用板、带的材料牌号

材料名称	标准号	材 料 牌 号	化学成分	厚度(mm)	抗拉强度	供应状态
热轧弹簧钢板	GB3279-82	85、65Mn、55Si2Mn、 60Si2Mn、60Si2MnA、 60Si2CrA、65Si2MnWA	GB1222-84	0.7~4	表6-8-10	退火高温回火
弹簧钢、 工具钢、冷 轧钢带	GB3525-83	65Mn、60Si2Mn、 50CrVA、85、 60Si2MnA、70Si2CrA、 65Si2MnWA	GB1222-84	0.1~3	表6-8-10	冷硬Y、退火T、 球化退火QT
热处理弹 簧钢带	GB3530-83	T7A、T8A、T9A、T10A、 65Mn、60Si2MnA、 70Si2CrA	GB1222-84 GB1298-80	0.08~1.5	表6-8-11	
弹簧用不 锈钢冷轧钢带	GB4231-84	1Cr17Ni7、3Cr13、 0Cr19Ni9、 0Cr17Ni7Al	GB4231-84	0.1~1.6	表6-8-12	按冷作硬化程 度分1/2H、3/4H、 H、EH
硅青铜板	GB2047-80	QS13-1	YB147-71	0.5~10	表6-8-14	软M 硬Y 特硬T
锡青铜板	GB2048-80	QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4 QSn4-3 QSn4-0.3	YB147-71	0.2~12	表6-8-15	冷轧板: M Y <sub>2</sub> Y T
硅青铜带	GB2065-80	QS13-1	YB147-71	0.05~1.2	表6-8-14	M、Y、T
锡青铜带	GB2066-80	同锡青铜板	YB147-71	0.05~1.2	表6-8-15	M、Y <sub>2</sub> 、 Y、T

表6-8-4 碳素弹簧钢丝抗拉强度 (GB4357-84)

钢丝直径 (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )			钢丝直径 (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	A 组	B 组	C 组		A 组	B 组	C 组
0.08	2059	2403	2746	0.35	1618	1961	2206
0.09	2010	2354	2697	0.40	1569	1912	2158
0.10	1961	2305	2648	0.45	1471	1863	2108
0.12	1912	2256	2599	0.50	1471	1863	2108
0.14	1863	2206	2550	0.55	1471	1814	2059
0.16	1814	2158	2501	0.60	1471	1765	2010
0.18	1814	2158	2452	0.65	1471	1765	2010
0.20	1814	2158	2403	0.70	1422	1716	1961
0.23	1765	2108	2354	0.80	1422	1716	1912
0.26	1716	2059	2305	0.90	1422	1716	1912
0.29	1667	2010	2256	1.00	1373	1667	1863
0.32	1618	1961	2206	1.20	1324	1618	1814

(续)

钢丝直径 (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )			钢丝直径 (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	A 组	B 组	C 组		A 组	B 组	C 组
1.40	1324	1618	1765	5.0	1079	1324	1471
1.60	1275	1569	1765	5.5	1030	1275	1471
1.80	1226	1520	1716	6.0	981	1226	1422
2.0	1177	1471	1716	6.5	981	1226	1422
2.3	1177	1422	1667	7.0	932	1177	1373
2.6	1177	1422	1667	8.0	932	1177	1373
2.9	1128	1373	1618	9.0	932	1128	1324
3.2	1128	1324	1569	10.0	932	1128	1324
3.5	1128	1324	1569	11.0		1079	1275
4.0	1128	1324	1520	12.0		1079	1275
4.5	1079	1324	1520	13.0		1030	1226

表6-8-5 琴钢丝抗拉强度 (GB4358—84)

琴钢丝按用途分为三组:

G1组, 用于各种重要用途弹簧 G2组, 用于各种高应力弹簧 F组, 用于阀弹簧

d (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )			d (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	G1组	G2组	F组		G1组	G2组	F组
0.08	2950~3250	3250~3550		0.70	2200~2450	2450~2700	
0.09	2900~3200	3200~3500		0.80	2150~2400	2400~2650	
0.10	2850~3150	3150~3450		0.90	2150~2350	2350~2550	
0.12	2800~3100	3100~3400		1.0	2100~2300	2300~2500	
0.14	2750~3050	3050~3350		1.2	2050~2250	2250~2450	
0.16	2700~3000	3000~3300		1.4	2000~2200	2200~2400	
0.18	2650~2950	2950~3250		1.6	1950~2150	2150~2350	
0.20	2650~2900	2900~3150		1.8	1900~2100	2100~2300	
0.23	2600~2850	2850~3100		2.0	1850~2050	2050~2250	1750~1900
0.26	2550~2800	2800~3050		2.3	1800~2000	2000~2200	1750~1900
0.29	2500~2750	2750~3000		2.6	1800~2000	2000~2200	1700~1850
0.32	2450~2700	2700~2950		2.9	1750~1950	1950~2150	1700~1850
0.35	2450~2700	2700~2950		3.2	1700~1900	1900~2100	1650~1800
0.40	2400~2650	2650~2900		3.5	1700~1850	1850~2000	1650~1800
0.45	2350~2600	2600~2850		4.0	1650~1800	1800~1950	1600~1750
0.50	2350~2600	2600~2850		4.5	1600~1750	1750~1900	1550~1700
0.55	2300~2550	2550~2800		5.0	1550~1700	1700~1850	1500~1650
0.60	2250~2500	2500~2750		5.5	1500~1650	1650~1800	
0.65	2250~2500	2500~2750		6.0	1450~1600	1600~1750	

表6-8-6 弹簧用不锈钢丝抗拉强度(YB(T)11)

钢丝直径 (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )			钢丝直径 (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )				
	A 组	B 组	C 组		A 组	B 组	C 组		
0.08 0.09 0.10 0.12	1618	2157	1961	1.0	1471	1863	1765		
0.14 0.16 0.18				1569	2059	1.2 1.4	1373	1765	1687
						1.6 1.8 2.0	1324	1667	1569
	2.3 2.6	1275	1569			1471			
0.23 0.26 0.29 0.32 0.35 0.40	1569	1961	1814	2.9 3.2 3.5 4.0	1177	1471	1373		
				4.5 5.0 5.5 6.0	1079	1373	1275		
				6.5 7.0 8.0	981	1275			
0.80 0.90	1471	1863	1765	9.0 10.0 12.0		1128 981 883			

表6-8-7 油淬火一回火碳素弹簧钢丝的抗拉强度

d (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )			d (mm)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	阀门油淬火一回火碳素弹簧钢丝65Mn、70(GB4359-84)	油淬火一回火碳素弹簧钢丝(GB4360-84)			阀门油淬火一回火碳素弹簧钢丝65Mn、70(GB4359-84)	油淬火一回火碳素弹簧钢丝(GB4360-84)	
		A 类	B 类			A 类	B 类
2.0	1450~1600	1650~1800	1750~1900	5.5	1350~1500	1300~1450	1400~1550
2.2		1600~1750	1700~1850	6.0		1300~1450	1400~1550
2.5		1600~1750	1700~1850	6.5		1300~1450	1400~1550
3.0		1550~1700	1650~1800	7.0		1250~1400	1350~1500
3.2		1500~1650	1600~1750	8.0		1250~1400	1350~1500
3.5		1500~1650	1600~1750	9.0		1250~1400	1350~1500
4.0		1450~1600	1550~1700	10.0		1200~1350	1300~1450
4.5	1400~1550	1400~1550	1500~1650	11.0	1200~1350	1300~1450	
5.0		1350~1500	1450~1600	12.0	1200~1350	1300~1450	

表6-8-8 油淬火一回火合金弹簧钢丝直径抗拉强度

直径 d (mm)	抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )				阀门油淬火一回火铬硅合金弹簧钢丝 55CrSi (GB4362-84)
	阀门油淬火一回火铬硅合金弹簧钢丝 50CrVA GB2271-84	油淬火一回火硅锰合金弹簧钢丝 65Si2MnA (GB4361-84)			
		A 类	B 类	C 类	
1	1700~1900	-	-	-	-
1.2		-	-	-	-



(续)

直径 $d$ (mm)	抗 拉 强 度 ( $N/mm^2$ )			阀门油淬火一回火铬硅 合金弹簧钢丝 55CrSi (GB4362-84)	
	阀门油淬火一回火 铬钼合金弹簧钢丝 50CrVA GB2271-84	油淬火一回火硅锰合金弹簧钢丝 65Si2MnA (GB4361-84)			
		A 类	B 类		C 类
1.4	1700~1900	—	—	—	
1.6					
1.8					
2.0	1650~1800	1600~1750	1700~1850	1800~1950	
2.2					
2.5					
3.0					
3.2	1600~1750	1550~1700	1650~1800	1750~1900	
3.5					
4.0	1550~1700	1500~1650	1600~1750	1700~1850	
4.5					
5.0	1500~1650				
5.5					
6.0					
6.5	1450~1600				1450~1600
7.0					
8.0	1400~1550	1450~1600	1550~1700	1650~1800	
9.0					
10					
11	—	1400~1550	1500~1650	1600~1750	
12					
13				—	
14					

表6-8-9 不锈钢酸钢丝抗拉强度 (YB252-79)

钢 号	抗 拉 强 度 $\sigma_b(N/mm^2)$		
	供 应 状 态		
	冷 拉	热 处 理	
1 Cr18Ni9 1 Cr18Ni9Ti	>1100	>850	
2 Cr18Ni10	>1100	>900	
		I 组      II 组	
1 Cr13	—	>450	>550
2 Cr13		>500	>650
3 Cr13		>550	>700
4 Cr13		>600	>750

表6-8-10 弹簧热轧钢板、冷轧钢带的抗拉强度 $\sigma_b$

材料牌号	热轧钢板 GB3279-82 $\sigma_b(N/mm^2)$	冷轧钢带 (GB3525-83)		
		厚度 (mm)	材料状态	
			退火	冷硬
		抗拉强度 $\sigma_b(N/mm^2)$		
85	$\geq 800$	0.1~3	$\geq 750$	750~1200
65Mn	$\geq 850$	$\leq 1.5$	$\geq 650$	
		$> 1.5$	$\geq 750$	
55Si2Mn	$\geq 950$	—	—	—
60Si2Mn		0.1~3	$\geq 900$	800~1200
60Si2MnA				
60Si2CrA	$\geq 1100$	—	—	—
65Si2MnWA		0.1~3	$\geq 900$	800~1200
50CrVA				
70Si2CrA	—	—	$\geq 850$	—

表6-8-11 热处理弹簧钢带力学性能 (GB3530-83)

强度级别	抗拉强度 $\sigma_b(N/mm^2)$	维氏硬度HV
I	1300~1600	375~485
II	1610~1900	486~600
III	$> 1900$	$> 600$

表6-8-12 弹簧用不锈钢带的力学性能 (GB4231-84)

类别	牌号	交货状态	冷轧固溶或退火状态			沉淀硬化处理状态				
			屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	硬度 HV	热处理	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	硬度 HV	
奥氏体型	1Cr17Ni7	1/2H	$\geq 520$	$\geq 850$	$\geq 310$	—	—	—	—	
		3/4H	$\geq 760$	$\geq 1150$	$\geq 370$					
		H	$\geq 1050$	$\geq 1350$	$\geq 430$					
		EH	$\geq 1300$	$\geq 1600$	$\geq 490$					
	0Cr19Ni9	1/2H	$\geq 480$	$\geq 800$	$\geq 250$					
		3/4H	$\geq 680$	$\geq 950$	$\geq 310$					
H		$\geq 900$	$\geq 1150$	$\geq 370$						
马氏体型	3Cr13	O	—	—	$\leq 210$	固溶 + 565°C 时效 510°C	$\geq 980$ $\geq 1050$	$\geq 1160$ $\geq 1250$	$\geq 345$ $\geq 392$	
沉淀硬化型	0Cr17Ni7Al	O	—	$\leq 1050$	$\leq 200$		$\frac{1}{2}$ H + 475°C 时效	$\geq 800$	$\geq 1250$	$\geq 380$
		1/2H	—	$\geq 1100$	$\geq 350$		$\frac{3}{4}$ H + 475°C 时效	$\geq 1100$	$\geq 1450$	$\geq 450$
		3/4H	—	$\geq 1200$	$\geq 400$		H + 475°C 时效	$\geq 1350$	$\geq 1750$	$\geq 530$
		H	—	$\geq 1450$	$\geq 450$					

表9-8-13 硅青铜线、锡青铜线、铍青铜线抗拉强度

材 料 名 称		硅 青 铜 线	锡 青 铜 线	铍 青 铜 线				
标 准 号		GB3123—82 (代YB453—64)	GB3124—82 (代YB454—64)	GB3134—82 (代YB565—65)				
材 料 牌 号		QSi3-1	QSn4-3, QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4, QSn7-0.2	QB2				
供 应 状 态		硬态和经低温退火 消除内应力处理	硬态和经低温退火 消除内应力处理		软 M	半硬 Y <sub>2</sub>	硬 Y	
抗 拉 强 度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	直 径 (mm)	0.1~0.5	900~1150	硬化 调质前	380~580	550~800	>800	
		>0.5~1	900~1100					900~1150
		>1~2						880~1080
	>2~2.5	850~1050	硬化 调质后	>1050	>1200	>1300		
	>2.5~4						850~1050	
	>4~6						800~1000	800~1000

表6-8-14 硅青铜板、带的力学性能

材料状态	硅青铜板GB247—80		硅青铜带GB2065—80	
	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta_{10}$ (%)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta_{10}$ (%)
软	$\geq 350$	$\leq 40$	$\geq 380$	$\leq 45$
硬	600~750	$\leq 3$	650~800	$\leq 5$
特硬	$\geq 700$	$\leq 1$	$\geq 750$	$\leq 2$

表6-8-15 锡青铜板、带的力学性能

牌 号	材 料 状 态	锡青铜板GB2048—80		锡青铜带GB2066—80	
		抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta$ ( $L_0=11.3\sqrt{F_0}$ ) (%)	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta$ ( $L_0=11.3\sqrt{F_0}$ ) (%)
QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4 QSn4-3 QSn4-0.3	软M	$\geq 300$	$\leq 38$	$\geq 300$	$\leq 38$
QSn6.5-0.1	半硬Y <sub>2</sub>	450~580	$\leq 8$	450~580	$\leq 10$
QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4 QSn4-3 QSn4-0.3	硬Y	500~700	$\leq 5$	650~700	$\leq 8$
			$\leq 3$		$\leq 3$
QSn6.5-0.1 QSn6.5-0.4 QSn4-3 QSn4-0.3	特硬T	$\geq 650$	$\leq 1$	$\geq 680$ $\geq 650$	$\leq 2$

## 参 考 文 献

〔1〕 张英会主编。弹簧。北京：机械工业出版社，1982

〔2〕 机械工程手册编辑委员会。机械工程手册  
(第5卷)。北京：机械工业出版社，1980

〔3〕 汪曾详等编著。弹簧设计手册。上海：上海科学技术文献出版社，1986