

第6章 弹 簧

王 织 曹木根[⊖]

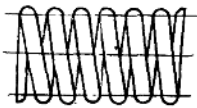
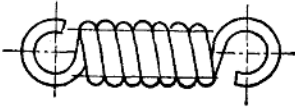
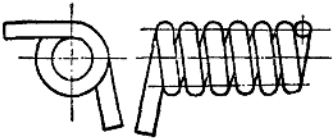
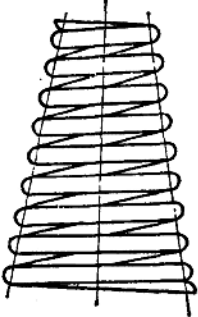
第1节 弹簧的种类及其应用

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

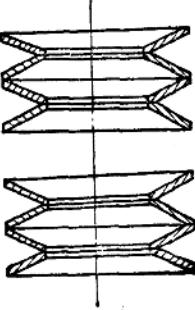
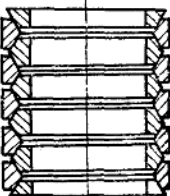
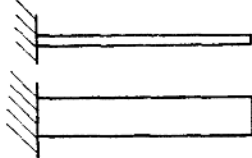
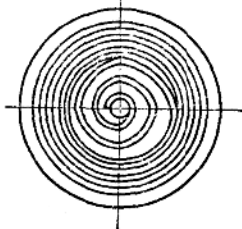
锥螺旋弹簧，按应力可称为扭转弹簧，按力的作用可称为压缩弹簧，按用途可称为缓冲弹簧，按材料可称为钢弹簧。

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震场合

[⊖] 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, 因而特性线为非直线性</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

元件中的液压件圆柱螺旋弹簧, 简称为液压件弹簧。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 $N = (10^3 \sim 10^5)$ 次及冲击负荷
III类	变负荷 $N < 10^3$ 次


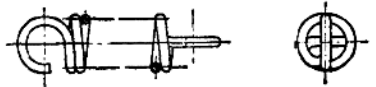
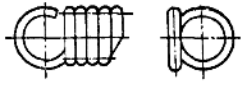
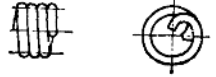

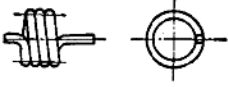
(二) 圆柱螺旋弹簧的标记方法

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

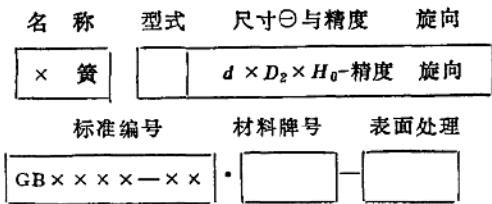
种类	端部结构型式	弹簧标准编号	简图
压缩弹簧	两端圈并紧磨平 A型	GB2089—80	
	两端圈并紧磨平 B型	GB2089—80	
	两端圈并紧不磨		
	两端圈不并紧		
拉伸弹簧	圆钩环 A型	GB4142—84	
	圆钩环 B型	GB4142—84	
	半圆钩环 A型	GB2087—80	
	半圆钩环 B型	GB2087—80	

(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。

标识示例:

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 $3 \times 20 D_1 \times 80$ 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 $1.0 \times 5 \times 16.7$ 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_1	弹簧内径
D_2	弹簧中径
E	弹性模量
f	弹簧自振频率
f_{1000}	弹簧产生应力 $\tau = 1000 \text{ N/mm}^2$ 时的单圈变形量
f_j	工作极限负荷下的单圈变形量
f_n	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)
$F_{1,2,\dots,n}$	工作负荷下的变形量(挠度)
F_j	工作极限负荷下的变形量
F_n	极限负荷下的变形量
G	切变模量
h	工作行程
H_0	自由高度(长度)
$H_{1,2,\dots,n}$	工作高度(长度)
H_b	压并高度
H_j	工作极限负荷下的高度
H_n	极限[负荷下的]高度
K, K_1	曲度系数(旋绕比对应力影响的修正系数)

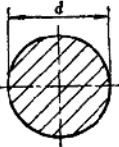
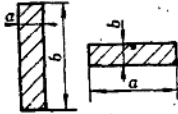

代 号	术 语 名 称
L	展开长度
M'	弹簧刚度(产生单位变形量的弹簧负荷)
$M_{1,2,\dots,n}$	工作负荷(扭矩)
M_n	极限负荷(扭矩)
n	有效圈数
n_1	总圈数
n_2	支承圈数
(nP')	单圈刚度
P'	弹簧刚度(产生单位变形量的弹簧负荷)
P_0	初拉力
$P_{1,2,\dots,n}$	工作负荷(力)
P_{1000}	弹簧产生应力 $\tau = 1000 \text{ N/mm}^2$ 时的负荷
P_b	压并负荷
P_j	工作极限负荷(弹簧工作中可能出现的最大负荷或指试验弹簧时所施加的负荷)
P_n	极限负荷(对应于材料达到屈服限 τ_s 的负荷)
Q	弹簧单件重量
t	节距
α	弹簧螺旋角
δ	间距(两相邻有效圈的轴向内侧间距)
σ_b	抗拉强度极限
σ_j	工作极限弯曲应力
τ_0	初应力
$\tau_{1,2,\dots,n}$	工作切应力
τ_b	压并应力
τ_n	扭转弹性极限
τ_j	工作极限切应力
τ_s	扭转屈服极限
φ'	弹簧柔度(单位工作负荷下的变形量)
φ_0	自由角度(扭转弹簧无负荷时两臂的夹角)
$\varphi_{1,2,\dots,n}$	工作扭转角
φ_j	工作极限扭转角
φ_n	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	$C = \frac{D_2}{d}$	$C = \frac{D_2}{a}$	$C = \frac{D_2}{a}$
变形式 $F = \frac{\pi PD_2^3 n}{4 \cos \alpha} \left(\frac{\cos^2 \alpha}{GI_p} + \frac{\sin^2 \alpha}{EI} \right)$ 当 $\alpha < 10^\circ$ 时, $\cos \alpha \approx 1$, $\sin \alpha \approx 0$ 则 $F = \frac{\pi PD_2^3 n}{4 GI_p}$	$F = \frac{8 PD_2^3 n}{Gd^4}$ $= \frac{8 PC^3 n}{Gd}$	$F = \nu \frac{PD_2^3 n}{Ca^2 b^2}$ $= \nu \frac{PC^3 n D_2}{Gb^2}$ * 见图6-2-1	$F = \frac{5.57 PD_2^3 n}{Ca^4}$ $= \frac{5.57 PC^3 n}{Ga}$
应力 $\tau = K_p \frac{PD_2}{2Z_t}$	$\tau = K \frac{8 PD_2}{\pi d^3}$ $= K \frac{8 PC}{\pi d^2}$	$\tau = \beta \frac{PD_2}{ab \sqrt{ab}}$ $= \beta \frac{PC}{b \sqrt{ab}}$ β 见图6-2-2	$\tau = K' \frac{2.4 PD_2}{a^3}$ $= K' \frac{2.4 PC}{a^2}$ $= \beta \frac{PC}{a^2}$
刚度 $P' = \frac{P}{F}$	$P' = \frac{Gd^4}{8D_2^3 n}$ $= \frac{Gd}{8C^3 n}$	$P' = \frac{Ca^2 b^2}{\nu D_2^3 n}$	$P' = \frac{Ca^4}{5.57 D_2^3 n}$ $= \frac{Ca}{5.57 C^3 n}$
有效圈数 $n = \frac{Gd^4 F}{8 PD_2^3} = \frac{GdF}{8 PC^3}$	$n = \frac{Gd^4 F}{8 PD_2^3}$ $= \frac{GdF}{8 PC^3}$	$n = \frac{Ca^2 b^2 F}{\nu PD_2^3}$ $= \frac{GFa \left(\frac{b}{a}\right)^2}{\nu PC^3}$	$n = \frac{Ca^4 F}{5.57 PD_2^3}$ $= \frac{GFa}{5.57 PC^3}$
截面惯性矩 I	$I = \frac{\pi d^4}{64}$	$I_x = \frac{ab^3}{12}, I_y = \frac{a^3 b}{12}$	$I = \frac{a^4}{12}$
极惯性矩 I_p	$I_p = \frac{\pi d^4}{32}$	$I_p = k_1 a^3 b$	$I_p = 0.141 a^4$
抗扭截面系数 Z_t	$Z_t = \frac{\pi d^3}{16}$	$Z_t = k_2 a^2 b$	$Z_t = 0.208 a^3$

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 $K' = 1 + \frac{1.2}{C} + \frac{0.56}{C^2} + \frac{0.5}{C^3}$, $K' \approx K_p$ 。

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	0.992
10	1.134	1.088	0.966

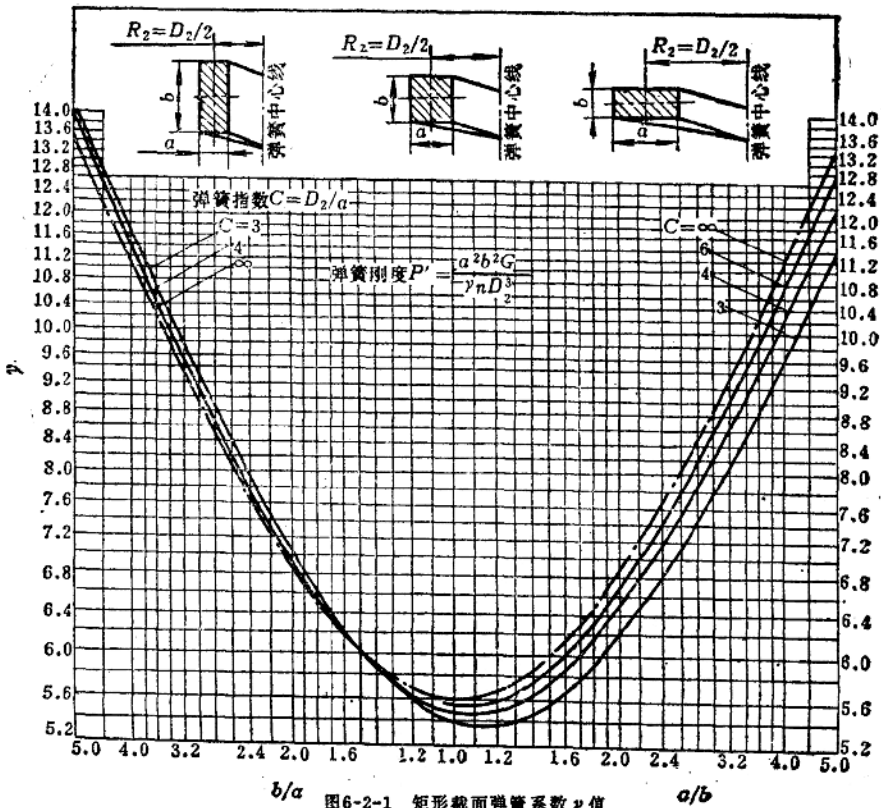


图6-2-1 矩形截面弹簧系数 ν 值

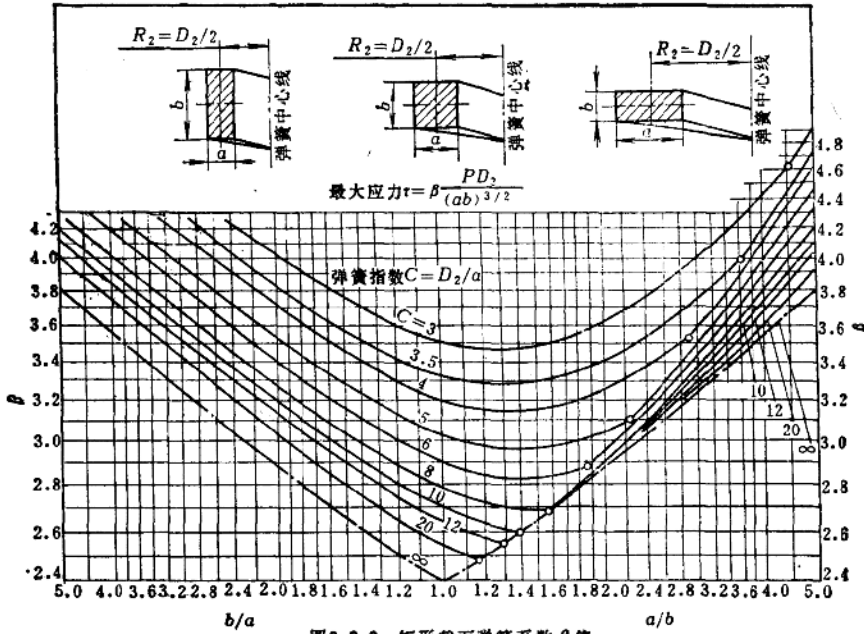


图6-2-2 矩形截面弹簧系数β值

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 $\varphi = \frac{180^\circ MD_2 n}{EI}$	$\varphi = \frac{3667 MD_2 n}{Ed^4}$	$\varphi = \frac{2160 MD_2 n}{Ea^3 b}$	$\varphi = \frac{3667 MD_2 n}{Ea^3 b}$
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 $M' = \frac{M}{\varphi} = \frac{E \textcircled{3} I}{180^\circ D_2 n}$	$M' = \frac{Ed^4}{3667 D_2 n}$	$M' = \frac{Ea^3 b}{2160 D_2 n}$	$M' = \frac{Ea^3 b}{3667 D_2 n}$
圈数 $n = \frac{EI\varphi}{180^\circ MD_2}$	$n = \frac{EK_1 d \varphi}{360 D_2 [\sigma]}$ $= \frac{Ed^4 \varphi}{3667 D_2 M}$	$n = \frac{EK_1' a \varphi}{360 D_2 [\sigma]}$ $= \frac{Ea^3 b \varphi}{2160 D_2 M}$	$n = \frac{EK_1 a \varphi}{360 D_2 [\sigma]}$ $= \frac{Ea^3 b \varphi}{3667 D_2 M}$
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	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6
(0.7)	0.8	(0.9)	1	1.2	(1.4)	(1.5)*	1.6	1.8	2
(2.2)	2.5	(2.8)	3	(3.2)	3.5	(3.8)	4	(4.2)	4.5
5	(5.5)	6	(7)	8	(9)	10	12	(14)	16
(18)	20	(22)	25	(27)*	(28)	30	(32)	35	(36)*
(38)	40	(42)	45	50	(55)	60	(65)	70	80

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	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	(1.4)	1.6
(1.8)	2	(2.2)	2.5	(2.8)	3	(3.2)	3.5	(3.8)	4
(4.2)	4.5	(4.8)	5	(5.5)	6	(6.5)	7	(7.5)	8
(8.5)	9	(9.5)	10	12	(14)	16	(18)	20	(22)
25	(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	(125)	130	(135)
140	(145)	150	160	(170)	180	(190)	200	(210)	220
(230)	240	(250)	260	(270)	280	(290)	300	320	(340)
360	(380)	400	(450)						

注: 表中插弧 () 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 τ_j	工作极限负荷 P_j	工作极限弯曲应力 σ_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。

σ_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 [τ](N/mm ²)			许用弯曲应力 [σ](N/mm ²)	
				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 σ_s	0.4 σ_s	0.5 σ_s	0.5 σ_s	0.625 σ_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	1 Cr18Ni9	—	330	440	550	550	690
	1 铬18镍9钨	1 Cr18Ni9 Ti						
	2 铬18镍9	2 Cr18Ni9						
	4 铬13	4 Cr13						
不 锈 钢 丝	0 铬17镍7铝	0 Cr17Ni7Al	GB1220—75	480	640	800	800	1000
	0 铬15镍7钼铝	0 Cr15Ni7 MoAl	—	450	600	750	750	940
	镍36铬钨铝	Ni36CrTiAl		420	560	700	700	880
	镍42铬钨	Ni42CrTi		510	680	850	850	1020
	钴40铬镍钼	Co40CrNiMo	—	270	360	450	450	560
硅青铜	QS13-1	—		360	450	560	560	750
锡青铜	QS14-3 QS16.5-0.1							
铍青铜	QB12							
扎 材	65锰	65Mn	GB1222—75	420	560	700	700	880
	55硅2锰	55Si2Mn		450	600	750	750	930
	60硅2锰	60Si2Mn		480	640	800	800	1000
	60硅2锰高	60Si2MnA		540	720	900	900	1130
	60硅2铬高	60Si2CrA						
	70硅3锰高	70Si3MnA						
	65硅2锰钨高	65Si2MnWA		570	760	950	950	1000
	60硅2铬钒高	60Si2CrVA		480	640	800	800	1000
	50铬锰	50CrMn						
	55硅锰钒硼	55SiMnVB						
	50铬钒高	50CrVA		450	600	750	750	930
30钨4倍2钒高	30W4Cr2VA	—	270	360	450	450	560	

注：表中[τ]、[σ]、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 ²)	弹性模量 E (N/mm ²)	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, 防磁, 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
QBe2	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 τ_0 (GB1239-76)

变负荷作用次数 N	10^4	10^5	10^6	10^7
τ_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*的值取 $0.35\sigma_b$ 。
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 t	两端圈并紧磨平 $t = \frac{H_0 - (1 \sim 2)d}{n}$ 两端圈不磨 $t = \frac{H_0 - (3 \sim 3.5)d}{n}$ 或 $t = d + \delta = d + f_j = d + \frac{F_j}{n}$	

(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 $b < 2.6$ 一固一转 $b < 3.7$ 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 α	$\alpha > 9^\circ$ 时, 须对变形公式进行修正, $F = \eta \frac{8PD_2^3 n}{Gd^4}$ 式中, $\eta = \cos \alpha + \frac{2G}{E} \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha}$	
压并变形量 压并负荷 工作极限变形量 钩环开口尺寸	$F_b = F_n / 0.65$ $P_b = P_n / F_n = P_n / 0.65$	$F_j \geq 1.25 \left(F_n + \frac{P_0}{P'} \right)$ $\alpha = D_2 / 3$

(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_x 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_1 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 $P_1 = 40\text{N}$ 最大工作负荷 $P_n = 240\text{N}$ 工作行程 $h = 40\text{mm}$ 弹簧芯轴直径 $D_x = 30\text{mm}$ 弹簧外径 $D \leq 45\text{mm}$ 负荷性质 冲击负荷	弹簧类别 按负荷性质选用 II 类弹簧 弹簧端部结构 两端并紧并磨平 材料 碳素弹簧钢丝 C 组 (GB4357—84)

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_j	N	因受冲击负荷, 按表6-2-12选取 $P_j \geq 1.25P_n$	$P_j \geq 1.25 \times 240 = 300$

(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_2, D 三个条件从表6-2-22选取。	<p>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</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>d</th> <th>D_2</th> <th>P_j</th> <th>$D_{\pi \max}$</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> <p>选取 $d = 3.5, D_2 = 38$</p>	d	D_2	P_j	$D_{\pi \max}$	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	$D_{\pi \max}$																										
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	$D_1 = D_2 - d$	$D_1 = 38 - 3.5 = 34.5 > D_2(30)$																								
11	节距	t	mm	$t = \frac{F_j}{n} + d$	$t = \frac{61}{5.5} + 3.5 = 14.59$																								
12	螺旋角	α	(°)	$\alpha = \arctg \frac{t}{\pi D_2}$	$\alpha = \arctg \frac{14.59}{\pi \times 38} = 6.97^\circ$																								
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

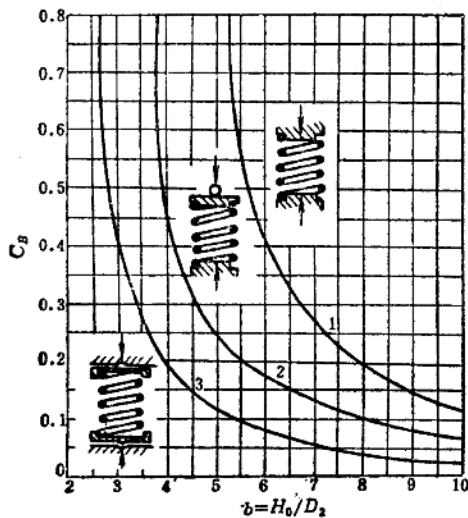
1	选用弹簧的实际刚度	P'	N/mm	$P' = \frac{(nP')}{n}$	$P' = \frac{27.35}{5.5} = 4.97 \approx 5$ 与要求刚度相接近
2	最小工作负荷下的高度	H_1	mm	$H_1 = H_0 - \frac{P_1}{P'}$	$H_1 = 95 - \frac{40}{4.97} = 86.95$

(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	$H_n = H_0 - \frac{F_n}{P'}$	$H_n = 95 - \frac{240}{4.97} = 46.71$
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_e	N	$P_e = C_B P' H_0$ C_B ——不稳定性系数, 图6-2-3	
9	稳定性条件			$P_n < P_e$, P_n ——最大工作负荷 如 $P_n > P_e$, 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 $D' = D + 0.05 \frac{f^2 - d^2}{D_2}$ 两端回转的弹簧 $D' = D + 0.1 \frac{f^2 - 0.8fd - 0.2d^2}{D_2}$	

图6-2-3 不稳定系数 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	≤ 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>d (mm)</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>D_2 (mm)</td> <td>25</td> <td>40</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>P_{1000} (N)</td> <td>1500</td> <td>1733.3</td> <td>1570.4</td> </tr> <tr> <td>f_{1000} (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	$P_j = \frac{P_{1000}'' \times \tau_j}{1000} \geq 1.25 P_n$	τ_j 值从表6-8-8GB2271-84一栏 中查取, $d = 5 \sim 6, \sigma_s = 1500\text{N/mm}^2$ $\tau_j = 0.5\sigma_s = 0.5 \times 1500 = 750\text{N/mm}^2$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>方 案</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P_j</td> <td>1125</td> <td>1300</td> <td>1177.8</td> </tr> </tbody> </table> $1.25 P_n = 1.25 \times 900 = 1125$ $P_j > 1.25 P_n$	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	$f_n = \frac{f_{1000}}{P_{1000}} \times 900$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>方 案</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>f_{1000}</td> <td>3.75</td> <td>8.56</td> <td>11.042</td> </tr> <tr> <td>f_n</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	$n = \frac{20}{f_n}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>方 案</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>n 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	$P_n = 420\text{N}$		$\sigma_s = 1400\text{N/mm}^2$ (表6-8-7)	
最大工作负荷下的变形量	$F_n - F_1 = 10\text{mm}$		$[\tau] = 0.4\sigma_s = 0.4 \times 1400 = 560\text{N/mm}^2$	
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	两端圆并紧并磨平	

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	$\frac{8}{\pi} KC^3 = \frac{[\tau] D_2^2}{P_n}$	$\frac{8}{\pi} KC^3 = \frac{560 \times 32^2}{420} = 1365$
					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 $d = 4.5$