

# 第11篇 弹 簧

主要撰稿 王鸿翔

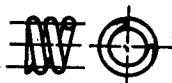

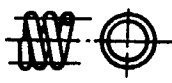
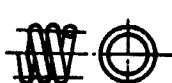
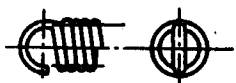



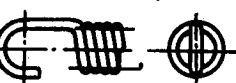
审 稿 王省三 王繁滨 韩学铨




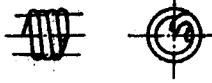
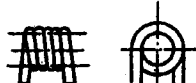
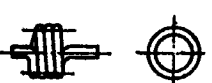
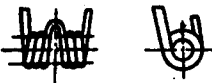

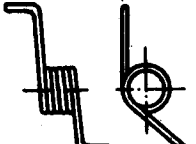


# 第 1 章 圆柱螺旋弹簧

## 1 圆柱螺旋弹簧的型式、特点及应用

表 11-1-1

型 式	代 号	简 图	特 点	用 途	
压 缩 弹 簧 (Y)	弹 簧 受 轴 向 压 缩 负 荷	Y I RY I		两端圈并紧并磨平	广泛应用于冷卷弹簧及热卷弹簧
		RY II		两端圈并紧不磨或磨平	广泛应用于热卷弹簧
		Y II		两端圈并紧不磨	用于 $d < 0.5\text{mm}$ , 且对支承要求不是很高的情况下使用, 应用于冷卷弹簧
		Y III		两端圈不并紧	一般用于不太重要的弹簧, 应用于冷卷弹簧
拉 伸 弹 簧 (L)	弹 簧 受 轴 向 拉 伸 负 荷	L I RL I		半圆钩环	两端弯有钩环, 钩环形式视装配要求而定, 推荐采用半圆钩环、圆钩环与圆钩环压中心 3 种形式。钩环弯折处应力较大, 易折断, 半钩环体积较小, 多用于拉力不太大的情况, 除 RL I、RL II 和 RL III 应用于热卷弹簧外, 其余均应用于冷卷弹簧
		L II RL II		圆钩环	
		L III RL III		圆钩环压中心	
		L IV		偏心圆钩环	
		L V		大臂半圆钩环	

型 式	代 号	简 图	特 点	用 途
拉 伸 弹 簧 (L)	弹 簧 受 轴 向 拉 伸 负 荷	LVI	 长臂小圆钩环	应用于冷卷弹簧
		LVII	 可调式拉簧	一般多用于受力大, 钢丝直径较粗( $d > 5\text{mm}$ )的弹簧。可以调节长度。应用于冷卷弹簧
		LVIII	 两端装有可转钩环	弹簧不弯钩环, 强度不受削弱。应用于冷卷弹簧
扭 转 弹 簧 (N)	弹 簧 受 扭 转 负 荷	NI	 内臂扭转弹簧	扭转弹簧型式繁多、端部结构视装配要求而定, 推荐采用外臂、内臂及直臂扭转弹簧均应用于冷卷弹簧
		NI	 外臂扭转弹簧	
		NI	 中心臂扭转弹簧	
		NI	 双扭簧	
		NI	 直臂扭转弹簧	
		NI	 单臂弯曲扭转弹簧	

## 2 弹簧材料及许用应力

弹簧材料的许用应力 $[\tau_p]$ 及 $[\sigma_{BP}]$ 必须按照负荷性质来确定。

弹簧按负荷性质分为三类：

I类：受变负荷作用，次数在 $10^4$ 次以上的弹簧；

II类：受变负荷作用，次数在 $10^3 \sim 10^4$ 次或冲击负荷的弹簧；

III类：受变负荷作用，次数在 $10^3$ 次以下的弹簧。

为了便于计算，现将常用弹簧材料的许用应力列于表11-1-2，表中所列各种弹簧材料的化学成分及力学性能参见本手册第1卷材料篇。

表 11-1-2

弹簧材料及许用应力

类别	牌 号	弹簧许用切应力 ( $\tau_p$ ), MPa			许用弯曲应力 ( $\sigma_{BP}$ ), MPa		剪切弹性模 量 G, GPa	弹性模量 E, GPa	推荐硬 度范围 HRC	推荐使 用温度 ℃	特性及用途							
		I类	II类	III类	I类	II类												
钢 丝	碳素弹簧钢丝* B、C、D级	0.3 $\sigma_b$	0.4 $\sigma_b$	0.5 $\sigma_b$	0.5 $\sigma_b$	0.625 $\sigma_b$	0.5 $\leq d \leq 4$ 81.5~78.5	0.5 $\leq d \leq 4$ 204~202	—	-40~120	强度高，加工性能 好，淬透性差。适用于 做小弹簧（钢丝直径 $d \leq 8$ mm冷卷弹簧）， 或要求不高的大弹簧							
	特殊用途弹簧* 钢丝甲、乙、丙						$d > 4$ 78.5	$d > 4$ 197										
	65Mn																	
	60Si2Mn	471	627	785	785	981	78.5	197	45~50	-40~200	弹性好，回火稳定 性好，易脱碳。用于 受高负荷的弹簧							
	60Si2MnA																	
	60Si2CrA											47~52	-40~250	有较好的弹性，淬 透性和回火稳定性				
	70Si3MnA											530	706	883	883	1110	47~52	-40~200
65Si2MnWA 60Si2CrVA	560											745	931	931	1167	47~52	-40~250	强度高，耐高温， 弹性好，淬透性好
50CrVA	442											588	735	735	920	45~50	-40~210	有高的疲劳性能， 淬透性和回火稳定性 好
30W4Cr2VA						43~47	-40~350	高温时强度高，淬 透性好										
不 锈 钢 丝	1Cr18Ni9 1Cr18Ni9Ti 2Cr18Ni9	324	482	540	540	677	71.5	183	—	-250~300	耐腐蚀，耐高低温， 有良好的工艺性，但 不能用淬火方法硬化， 只能在固溶处理后， 通过加工来提高强度。 适用于做小弹簧							
	4Cr13	442	588	735	735	920	75.5	215	48~53	-40~300	耐腐蚀，耐高温， 适用于做较大弹簧							
	Cr17Ni7Al Cr16Ni7MoAl	471	627	785	785	981	73.5	183	—	300	耐腐蚀，加工性能 好							
	Ni36CrTiAl	442	588	735	735	920	75.5	197	—	-40~250	耐腐蚀，弱磁性， 高弹性							
	Ni42CrTi	412	550	687	687	862	65.6	186	—	-60~100	耐腐蚀，加工性能 好，恒弹性							
Co40CrNiMo	500	666	834	834	1000	76.5	197	—	-40~400	耐腐蚀，高强度， 无磁，低后效，高弹 性								

类别	牌 号	弹簧许用切应力 〔 $\tau_F$ 〕, MPa			许用弯曲应力 〔 $\sigma_{BF}$ 〕, MPa		剪切弹性模 量G, GPa	弹性模量 E, GPa	推荐硬 度范围 HRC	推荐使 用温度 ℃	特性及用途		
		I类	II类	III类	II类	III类							
青 铜	QSi3-1	265	353	442	442	550	40.2	93	HB	-40~120	强度、弹性和耐磨性均高, 低温时不降低塑性, 耐腐蚀, 防磁好		
	QSn4-3 QSn6.5-0.1						39.2						
线	QBe2	353	442	550	550	735	42.2	129.5	37~40		强度、弹性和耐磨性均高, 耐腐蚀, 无磁性, 导电性和弹性好		
轧 材	65Mn	412	550	687	687	862	78.5	197	45~50	-40~120	机械性能略优于碳素钢, 有过热敏感性和回火脆性		
	55Si2Mn	422	588	735	735	912					弹性极限、淬透性和抗回火稳定性均较高, 过热敏感性较小, 易脱碳。用于车辆上的板簧和螺旋弹簧		
	60Si2Mn	471	627	785	785	981					-40~200	有较好的弹性、淬透性和回火稳定性	
	60Si2MnA										-40~250		
	60Si2CrA	529	705	883	883	1110					-40~200	强度高, 易脱碳, 有较好的弹性和回火稳定性	
	70Si2MnA										-40~250	强度高, 耐高温, 弹性好	
	65Si2MnWA	559	745	931	931	981					47~52	有高的疲劳性能, 弹性、淬透性和回火稳定性好	
	60Si2CrVA										-40~210		
	50CrMn	470	627	785	785	981					43~47	-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
	55SiMnVB	442	588	735	735	912					45~50	-40~210	
50CrVA	-40~250												
30W4Cr2VA													

- 注: 1.  $[\tau_F]$ 、 $[\sigma_{BF}]$ 、G和E值是在常温下, 按表中硬度范围的下限数值测得。  
 2. 拉伸弹簧的许用应力为压缩弹簧许用应力的80%。  
 3. 对损坏会引起整个机械损坏的重要弹簧, 其许用应力 $[\tau_F]$ 应适当降低。  
 4. 经强压(或强扭)处理的弹簧, 会产生塑性变形层和反向应力。塑性变形愈深, 反向应力愈大, 可提高弹簧的许用应力。  
 5. 当工作温度超过60℃时, 应对G值进行修正, 其公式为:  $G_t = K_t \cdot G$   
 式中 G——常温下剪切弹性模量;  $G_t$ ——工作温度下的剪切弹性模量;  $K_t$ ——温度修正系数, 其值见下表:

材 料	工作温度, ℃				材 料	工作温度, ℃			
	≤60	150	200	250		≤60	150	200	250
$K_t$					$K_t$				
50CrVA	1	0.96	0.95	0.94	1Cr17Ni7Al	1	0.95	0.94	0.92
60Si2Mn	1	0.99	0.98	0.98	QBe2	1	0.95	0.94	0.92
1Cr18Ni9Ti	1	0.98	0.94	0.9					

6. \* 表示碳素弹簧钢丝的 $\sigma_b$ 见GB4357—89(第1卷材料篇), 特殊用途弹簧钢丝见YB647—67。

表 11-1-3

常用弹簧钢在油中能淬透的尺寸

钢 号	碳素弹簧钢 (65, 70)	65Mn	60Si2Mn	50CrMn	60Si2CrA 60CrVA	65Si2MnWA 60Si2CrVA
在油中能淬透 的尺寸, mm	7	15	25	30	45	50

### 3 圆柱螺旋压缩弹簧

#### 3.1 圆柱螺旋压缩弹簧计算公式

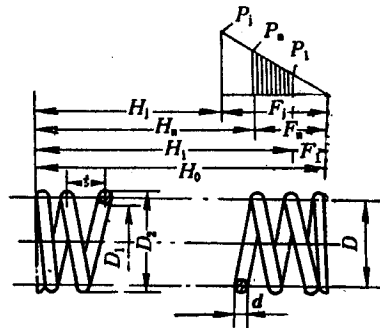


表 11-1-4

项 目	单 位	公 式 或 数 据	
最大工作负荷 $P_n$	N	Ⅲ类 给定或按 $P_n = \frac{\pi d^3}{8KD} [\tau_P]_{III}$ 计算 Ⅱ类 给定或按 $P_n = \frac{\pi d^3}{8KD} [\tau_P]_{II}$ 计算 Ⅰ类 给定或按 $P_n = \frac{\pi d^3}{8KD} [\tau_P]_{I}$ 计算	工作负荷为 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 最小工作负荷为 $P_1$ 最大工作负荷为 $P_n$
弹簧许用应力 $[\tau_P]$	MPa	根据负荷类别按表 11-1-2 选取	
旋绕比 $C$		$C = \frac{D}{d}$ ; 或查表 11-1-6	
曲度系数 $K$		$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$ ; 或查表 11-1-6	
弹簧丝直径 $d$	mm	$d = 1.6 \sqrt{\frac{P_n K C}{[\tau_P]}}$	
弹簧中径 $D$	mm	$D = D_2 - d$ , $D_2$ ——弹簧外径	
最大工作负荷下的变形 $F_n$	mm	给定或按 $F_n = \frac{P_n}{P}$ 计算	
有效圈数 $n$		$n = \frac{F_n G d^4}{8 P_n D^3}$ ; 或 $n = \frac{P d}{P}$ , 或参见表 11-1-6 选取 $G$ 的单位用 MPa, 下同	
总圈数 $n_1$		计算公式见表 11-1-5	

项 目	单 位	公 式 或 数 据
工作极限负荷 $P_1$	N	$P_1 = \frac{\pi d^3}{8KD} \cdot \tau_1$ III类: $\tau_1 \leq 1.12(\tau_F)_{III}$ II类: $\tau_1 \leq 1.25(\tau_F)_{II}$ I类: $\tau_1 \leq 1.67(\tau_F)_{I}$
最小工作负荷 $P_1$	N	$P_1 = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}\right) P_1$
弹簧刚度 $P'$	N/mm	$P' = \frac{Gd^4}{8D^3n} = \frac{P_d'}{n} = \frac{P_n - P_1}{h}$
单圈刚度 $P_d'$	N/mm	$P_d' = \frac{Gd^4}{8D^3} = n \cdot P'$
工作极限负荷下变形 $F_1$	mm	$F_1 = \frac{P_1}{P'}$ 或 $F_1 = n \cdot f_1$
节距 $t$	mm	$t = d + \frac{F_n}{n}$ 一般取 $t \approx \frac{D}{3} \sim \frac{D}{2}$
间距 $\delta$	mm	$\delta = t - d$
自由高度 $H_0$	mm	计算公式见表11-1-5
压并高度 $H_b$	mm	计算公式见表11-1-5
最小工作负荷下的变形 $F_1$	mm	$F_1 = \frac{P_1}{P'}$
工作极限负荷下的单圈变形 $f_1$	mm	$f_1 = \frac{\pi D^2}{GdK} \cdot \tau_1$ 或 $f_1 = \frac{8D^3}{Gd^4} \cdot P_1$
最大负荷下的单圈变形 $f_n$	mm	$f_n = \frac{P_n}{P_1} \cdot f_1$
工作行程 $h$	mm	$h = F_n - F_1$
工作极限负荷下高度 $H_1$	mm	$H_1 = H_0 - F_1$
最大工作负荷下高度 $H_n$	mm	$H_n = H_0 - F_n$
最小工作负荷下高度 $H_1$	mm	$H_1 = H_0 - F_1$
螺旋角 $\alpha$	(°)	$\alpha = \arctg \frac{t}{\pi D}$ , 推荐 $\alpha = 5 \sim 9^\circ$
弹簧单圈展开长度 $l$	mm	$l = \sqrt{(\pi D)^2 + t^2} \approx \pi D$
展开长度 $L$	mm	$L = l \cdot n_1$



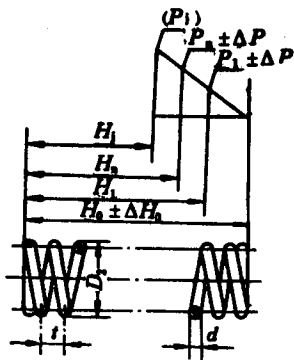


图 11-1-1 以高度  $H$  表示的圆柱螺旋压缩弹簧工作图

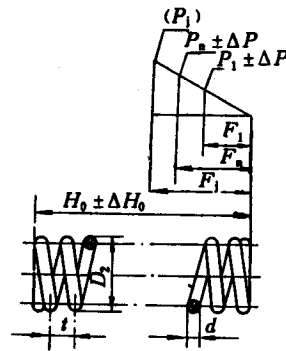


图 11-1-2 以变形  $F$  表示的圆柱螺旋压缩弹簧工作图

技术要求

1. 总圈数  $n_1$
2. 工作圈数  $n$
3. 旋向
4. 展开长度  $L$
5. 热处理后硬度

### 3.2 压缩弹簧端部型式与高度、总圈数的关系

表 11-1-5

端部型式	总圈数 $n_1$	自由高度 $H_0$	压并高度 $H_b$
端部不并紧不磨平 	$n$	$nt + d$	$(n+1)d$
端部不并紧磨平 1/4 圈 	$n + \frac{1}{2}$	$nt$	$(n+1)d$
端部并紧不磨平, 支承圈为 1 圈 	$n+2$	$nt+3d$	$(n+3)d$
端部不并紧, 磨平, 支承圈为 3/4 圈 一般用于 $d > 8\text{mm}$	$n+1.5$	$nt + d$	$(n+1)d$
端部并紧, 磨平, 支承圈为 1 圈 一般用于 $d \leq 8\text{mm}$	$n+2$	$nt+1.5d$	$(n+1.5)d$
端部并紧, 磨平, 支承圈为 1 1/4 圈 	$n+2.5$	$nt+2d$	$(n+2)d$

### 3.3 圆柱螺旋压缩弹簧有关参数的选取

表 11-1-6

项 目	参 数 选 取																						
旋 绕 比	一般按下述范围选取: 热卷弹簧4~10 冷卷弹簧4~14 超出选取范围较难制造																						
曲度系数K	C	4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.2	5.4	5.5	5.6	5.8	6	6.2	6.4	6.5	6.8	
	K	1.4	1.59	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	
曲度系数K	C	6.8	7	7.2	7.4	7.5	7.6	7.8	8	8.5	9	9.5	10	11	12	14							
	K	1.22	1.21	1.21	1.2	1.19	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.15	1.14	1.13	1.12	1.10							
K值也可按表11-1-5中K值公式计算																							
弹 簧 直 径 <i>d</i>	第一系列 (优先选用)														第二系列 (括号内尺寸只限于老产品用)								
	0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80														0.7, 0.9, 1.4, (1.5), 1.8, 2.2, 2.8, 3.2, 3.8, 4.2, 5.5, 7, 9, 14, 18, 22, (27), 28, 32, (36), 38, 42, 55, 65								
弹 簧 中 径 <i>D</i>	0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1.2, 1.6, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 360, 400														1.4, 1.8, 2.2, 2.8, 3.2, 3.8, 4.2, 4.8, 5.5, 6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 14, 18, 22, 28, 32, 38, 42, 48, 52, 58, 65, 75, 85, 95, 105, 115, 125, 135, 145, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290, 340, 380, 450								
	有效圈数 <i>n</i>																						
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, 11.5, 12, 13, 14, 15, 15.5, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30																							
自 由 高 度 <i>H<sub>0</sub></i>	4.5, 6, 7, 8, 9, 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, 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																						

尺 寸 参 数 (GB1358-78)

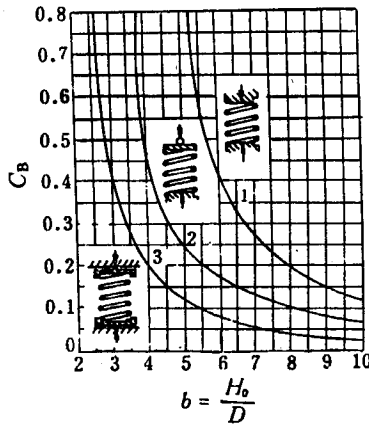
## 3.4 弹簧的稳定性、疲劳强度及共振验算

表 11-1-7

项目

公式或数据

为了便于制造及使用的稳定,一般  $b$  (细长比  $b = \frac{H_0}{D}$ ) 值按下图情况选取:



- 曲线1——两端固定  $b < 5.3$ ;  
 2——一端固定, 另一端回转  $b < 3.7$ ;  
 3——两端回转  $b < 2.6$

当  $b$  大于上述数值时, 应进行稳定性验算, 且满足:

$$P_0 = C_B P' H_0 > P_n$$

式中  $P_0$ ——稳定性临界负荷;  $C_B$ ——不稳定系数, 由上图求出。

如当  $P_0 < P_n$  时, 要重新选取参数, 改变  $b$  值, 提高  $P_0$  值, 使其大于  $P_n$  值以保证弹簧的稳定性。

如设计结构受限制, 不能改变参数时, 应设置导杆或导套。导杆 (导套) 与弹簧的间隙值, 按下表选取。

D	mm							
	≤5	>5~10	>10~18	>18~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~150
间隙	0.6	1	2	3	4	5	6	7

当弹簧受变负荷作用次数  $> 10^3$  时, 应进行疲劳强度的验算, 其公式如下:

$$s \approx \frac{\tau_0 + 0.75\tau_{\min}}{\tau_{\max}} \geq [s]$$

[s]——许用安全系数, 当弹簧的设计计算和材料试验数据精确性高时, 取 [s] = 1.3~1.7; 当精确度低时,

取 [s] = 1.8~2.2

$\tau_{\max}$ ——最大工作负荷所产生的最大切应力,  $\tau_{\max} = \frac{8KD}{\pi d^3} P_n$  (MPa)

$\tau_{\min}$ ——最小工作负荷所产生的最小切应力,  $\tau_{\min} = \frac{8KD}{\pi d^3} P_1$  (MPa)

$\tau_0$ ——弹簧材料的脉动循环剪切疲劳极限 MPa

对于优质钢丝、不锈钢丝、铍青铜的  $\tau_0$  可按下表选取

变载荷作用次数 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. \*对于铍青铜、不锈钢丝, 此值取  $0.35\sigma_b$ 。

2. 对于喷丸处理的弹簧, 表中数字可提高 20%

圆柱螺旋弹簧细长比  $b$  的确定及稳定性验算

疲劳强度验算

项目	公式或数据
弹 簧 的 共 振 验 算	对于高速运转中承受变载荷的 I 类弹簧需进行共振验算 对于减振弹簧,按下式验算
	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P'g}{W}} \leq 0.5f_r$
	式中 $f$ ——自振频率, Hz $g$ ——9800mm/s <sup>2</sup> $W$ ——重物负荷, N $P'$ ——弹簧刚度, N/mm $f_r$ ——强迫机械振动频率, Hz
	对于类似气门弹簧机构,按下式验算
	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{G}{2\rho} \frac{d}{nD^2}} > 10f_r$
	式中 $d$ ——弹簧钢丝直径, m $D$ ——弹簧中径, m $n$ ——弹簧有效圈数 $\rho$ ——钢制弹簧密度 $\rho = 7.8 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ $G = 78.5 \times 10^9 \text{Pa}$

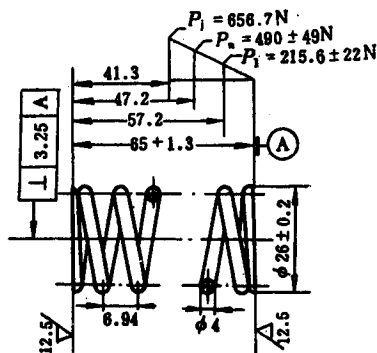
### 3.5 圆柱螺旋压缩弹簧计算示例

表 11-1-8

项 目	单 位	公 式 或 数 据								
原 始 条 件	最大工作负荷 $P_n$	N	$P_n = 490$							
	最小工作负荷 $P_1$	N	$P_1 = 215.6$							
	工作行程 $h$	mm	$h = 10$							
	负荷种类		II 类							
	端部型式		端部并紧并磨平, 支承圈为 1 圈							
	制造精度		主要参数的制造精度为 2 级							
	弹簧材料		碳素弹簧钢丝 C 级							
	根据 $P_n$ 按表 11-1-4 公式求得		$d$	$D$	$t$	$P_n$	$f_n$	$P_d'$	$l$	$Q$
			4	22	7.12	525.417	2.23	235.611	69.08	0.0068
	弹簧要求刚度 $P'$	N/mm	$P' = \frac{P_n - P_1}{h} = \frac{490 - 215.6}{10} = 27.44$							
有效圈数 $n$		$n = \frac{P_d'}{P'} = \frac{235.611}{27.44} = 8.59$ 取 $n = 8.5$								

项 目	单 位	公 式 或 数 据
弹簧实际刚度 $P'$	N/mm	$P' = \frac{P_d'}{n} = \frac{235.611}{8.5} = 27.7$ 与要求刚度接近
总圈数 $n_1$		$n_1 = n + 2 = 8.5 + 2 = 10.5$
自由高度 $H_0$	mm	$H_0 = nt + 1.5d = 8.5 \times 7.12 + 1.5 \times 4 = 66.5$ , 圆整取标准值65
弹簧实际节距 $t$	mm	$t = \frac{H_0 - 1.5d}{n} = \frac{65 - 1.5 \times 4}{8.5} = 6.94$
工作极限负荷下的变形 $F_3$	mm	$F_3 = \frac{P_3}{P'} = \frac{656.766}{27.7} = 23.7$ 取 $\tau_3 = 1.25[\tau_P]_{II}$ , 根据表11-1-2 $[\tau_P]_{III} = 1.25[\tau_P]_{II}$ , 所以 $\tau_3 = [\tau_P]_{III}$ 故 $P_3$ 等于同样规格弹簧的III类弹簧的最大工作负荷, 从表11-1-8查得 $P_3 = 656.766$ 。 如取 $\tau_3 < 1.25[\tau_P]_{II}$ , 则 $P_3$ 需自行计算
最大工作负荷下的变形 $F_n$	mm	$F_n = \frac{P_n}{P'} = \frac{490}{27.7} = 17.7$
最小工作负荷下的变形 $F_1$	mm	$F_1 = \frac{P_1}{P'} = \frac{215.6}{27.7} = 7.8$
最大工作负荷下高度 $H_n$	mm	$H_n = H_0 - F_n = 65 - 17.7 = 47.3$
最小工作负荷下高度 $H_1$	mm	$H_1 = H_0 - F_1 = 65 - 7.8 = 57.2$
工作极限负荷下高度 $H_3$	mm	$H_3 = H_0 - F_3 = 65 - 23.7 = 41.3$
展开长度 $L$	mm	$L = l \cdot n_1 = 69.08 \times 10.5 = 725$
细长比 $b$		$b = \frac{H_0}{D} = \frac{65}{22} = 2.9 < 5.3$ 故稳定

工 作 图



## 技术要求

1. 总圈数 $n_1 = 10.5 \pm 0.5$
2. 有效圈数 $n = 8.5$
3. 旋向 右旋
4. 展开长度 $L = 725$
5. 热处理后硬度HRC = 45~50

## 3.6 组合弹簧的设计计算

当设计受压负荷较大而尺寸受安装条件限制的螺旋压缩弹簧时,可采用组合弹簧。这种弹簧与普通单根弹簧相比,不但可以减少弹簧重量,且由于钢丝直径小,便于制造。

设计组合弹簧时应注意下列事项(参见图11-1-3)。

(1) 要满足(或接近)组合弹簧的等强度关系:

$$\frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{P_{n1}}{P_{n2}}} = \frac{D_{21}}{D_{22}} \quad \text{及} \quad P_n = P_{n2} + P_{n1}$$

一般组合弹簧的 $P_{n1}$ (外弹簧最大工作负荷)与 $P_{n2}$ (内弹簧最大工作负荷)之比为25:10

$$\text{即} \quad \frac{P_{n1}}{P_{n2}} = 2.5$$

(2) 要满足(或接近)组合弹簧的等变形关系:

$$F_{n1} \approx F_{n2}$$

其中一个弹簧的最大工作变形 $F_n$ 不应大于另一个弹簧的工作极限变形 $F_1$ ,实际上所产生的变形差可用垫圈调整。

(3) 为保证组合弹簧的同心关系,防止内外弹簧产生歪斜现象,两个弹簧的旋向应相反,一个右旋,另一个应为左旋。

(4) 组合弹簧的径向间隙 $\delta_r$ 要满足:

$$\delta_r = \frac{D_{11} - D_{02}}{2} \geq \frac{d_1 - d_2}{2}$$

(5) 弹簧端部的支承设计必须考虑防止内、外弹簧在工作过程中的偏移(见图11-1-3)。

组合弹簧计算时,通常先对内外弹簧按等强度原则以25:10(即 $\frac{P_{n1}}{P_{n2}} = \frac{25}{10}$ )分配负荷,然后按普通单根圆柱螺旋压缩弹簧的计算步骤进行,见表11-1-9。

表 11-1-9

组合弹簧计算示例

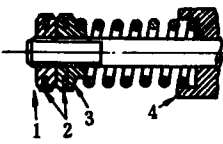
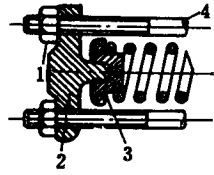
项 目	单 位	公 式 或 数 据
最大工作负荷 $P_n$	N	$P_n = 784$
最小工作负荷 $P_1$	N	$P_1 = 294$
工作行程 $h$	mm	$h = 10$
负荷种类		II类
端部型式		端部并紧并磨平,支承圈为1圈
制造精度		主要参数的制造精度为2级
弹簧材料		碳素弹簧钢丝C级

项 目	单 位	公 式 或 数 据																														
确定外、内弹簧的最大工作负荷 $P_{n1}$ 、 $P_{n2}$	N	$\because P_n = P_{n1} + P_{n2} \text{ 又 } \frac{P_{n1}}{P_{n2}} = \frac{25}{10}$ $\therefore P_{n1} = \frac{25P_n}{35} = \frac{25 \times 784}{35} = 560$ $P_{n2} = P_n - P_{n1} = 784 - 560 = 224$																														
根据 $P_{n1}$ 及 $P_{n2}$ 按表 11-1-4 所列公式求得:		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>d</math></th> <th><math>D</math></th> <th><math>t</math></th> <th><math>P_1</math></th> <th><math>P_n</math></th> <th><math>f_1</math></th> <th><math>f_n</math></th> <th><math>P'_d</math></th> <th><math>l</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>外</td> <td>5</td> <td>40</td> <td>13.32</td> <td>711.01</td> <td>568.817</td> <td>7.429</td> <td>5.943</td> <td>95.706</td> <td>125.60</td> </tr> <tr> <td>内</td> <td>3</td> <td>25</td> <td>9.43</td> <td>291.55</td> <td>233.25</td> <td>5.739</td> <td>4.591</td> <td>50.803</td> <td>78.50</td> </tr> </tbody> </table>		$d$	$D$	$t$	$P_1$	$P_n$	$f_1$	$f_n$	$P'_d$	$l$	外	5	40	13.32	711.01	568.817	7.429	5.943	95.706	125.60	内	3	25	9.43	291.55	233.25	5.739	4.591	50.803	78.50
	$d$	$D$	$t$	$P_1$	$P_n$	$f_1$	$f_n$	$P'_d$	$l$																							
外	5	40	13.32	711.01	568.817	7.429	5.943	95.706	125.60																							
内	3	25	9.43	291.55	233.25	5.739	4.591	50.803	78.50																							
验算径向间隙 $\delta_r$		$\delta_r = \frac{D_{11} - D_{02}}{2} \geq \frac{d_1 - d_2}{2} = \frac{35 - 28}{2} > \frac{5 - 3}{2} \text{ 满足条件}$																														
确定外、内弹簧在最大工作负荷下的变形 $F_{n1}$ 、 $F_{n2}$	mm	因组合弹簧要求等变形, 即: $F_{n1} = F_{n2} = F_n = \frac{P_n \times h}{P_n - P_1} = \frac{784 \times 10}{784 - 294} = 16$																														
外、内弹簧有效圈数	外 $n_{01}$ 内 $n_{02}$	$n_{01} = \frac{F_{n1}}{f_{n1}} = \frac{16}{5.94} = 2.69 \text{ 取 } n_{01} = 2.75$ $n_{02} = \frac{F_{n2}}{f_{n2}} = \frac{16}{4.59} = 3.49 \text{ 取 } n_{02} = 3.5$																														
总圈数	外 $n_{11}$ 内 $n_{12}$	$n_{11} = n_{01} + 2 = 2.75 + 2 = 4.75$ $n_{12} = n_{02} + 2 = 3.5 + 2 = 5.5$																														
外、内弹簧最小工作负荷	外 $P_{11}$ 内 $P_{12}$	N $P_{11} = \frac{P_{n1}(F_{n1} - h)}{F_{n1}} = \frac{568.817 \times (16 - 10)}{16} = 213.3$ $P_{12} = \frac{P_{n2}(F_{n2} - h)}{F_{n2}} = \frac{233.25 \times (16 - 10)}{16} = 87.4$																														
验算最小工作负荷 $P_1$	N	$P_1 = P_{11} + P_{12} = 213.3 + 87.4 = 300.7 > 294$																														
外弹簧的工作极限变形 $F_{j1}$	mm	$F_{j1} = n_{01} f_{j1} = 2.75 \times 7.429 = 20.4$																														
外弹簧的最大工作变形 $F_{n1}$		$F_{n1} = n_{01} f_{n1} = 2.75 \times 5.94 = 16.33 \approx 16$																														
外弹簧的最小工作变形 $F_{11}$		$F_{11} = F_{n1} \times \frac{P_{11}}{P_{n1}} = 16 \times \frac{213.3}{568.817} = 5.99 \approx 6$																														
内弹簧的工作极限变形 $F_{j2}$	mm	$F_{j2} = n_{02} f_{j2} = 3.5 \times 5.739 = 20.1$																														
内弹簧的最大工作变形 $F_{n2}$		$F_{n2} = n_{02} \times f_{n2} = 3.5 \times 4.59 = 16.07 \approx 16$																														
内弹簧的最小工作变形 $F_{12}$		$F_{12} = F_{n2} \times \frac{P_{12}}{P_{n2}} = 16 \times \frac{87.4}{233.25} = 5.99 \approx 6$																														
自由高度	外 $H_{01}$ 内 $H_{02}$	mm $H_{01} = n_{01} t + 1.5d = 2.75 \times 13.32 + 1.5 \times 5 = 36.6 + 7.5 = 44.1$ $H_{02} = n_{02} t + 1.5d = 3.5 \times 9.43 + 1.5 \times 3 = 33 + 4.5 = 37.5$ 因 $H_{01} > H_{02}$ , 在设计端部结构时可用 6.6mm 垫片																														

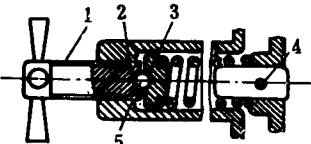
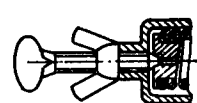
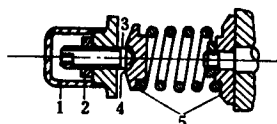
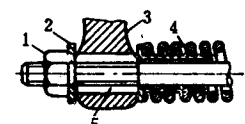
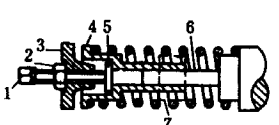
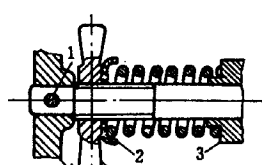
项 目	单 位	公 式 或 数 据
工作极限高度	外 $H_{j1}$	$H_{j1} = H_{01} - F_{j1} = 44.1 - 20.4 = 23.7$
	内 $H_{j2}$	$H_{j2} = H_{02} - F_{j2} = 37.5 - 20.1 = 17.4$
最大工作高度	外 $H_{n1}$	$H_{n1} = H_{01} - F_{n1} = 44.1 - 16 = 28.1$
	内 $H_{n2}$	$H_{n2} = H_{02} - F_{n2} = 37.5 - 16 = 21.5$
最小工作高度	外 $H_{11}$	$H_{11} = H_{01} - F_{11} = 44.1 - 6 = 38.1$
	内 $H_{12}$	$H_{12} = H_{02} - F_{12} = 37.5 - 6 = 21.5$
弹簧刚度	外 $P_1'$	$P_1' = \frac{P' d_1}{n_{01}} = \frac{95.706}{2.75} = 34.80$
	内 $P_2'$	$P_2' = \frac{P' d_2}{n_{02}} = \frac{50.803}{3.5} = 14.51$
旋绕比	外 $C_1$	$C_1 = \frac{D_{21}}{d_1} = \frac{40}{5} = 8$
	内 $C_2$	$C_2 = \frac{D_{22}}{d_2} = \frac{25}{3} = 8.3$
细长比	外 $b_1$	$b_1 = \frac{H_{01}}{D_{21}} = \frac{44.1}{40} = 1.1 < 5.3$ (见表11-1-7)
	内 $b_2$	$b_2 = \frac{H_{02}}{D_{22}} = \frac{37.5}{25} = 1.5 < 5.3$ (见表11-1-7)
展开长度	外 $L_1$	$L_1 = n_{11} l_1 = 4.75 \times 125.6 = 596.6$
	内 $L_2$	$L_2 = n_{12} l_2 = 5.5 \times 78.50 = 431.8$
工 作 图		略

### 3.7 圆柱螺旋压缩弹簧调整结构的典型示例

表 11-1-10

典型结构示例	典型结构示例
 <p>调节时把扳手插入孔 2 中转动, 根据要求把弹簧座 3 移至适当距离, 然后用锁紧螺母 1 锁紧。弹簧座 4 是固定的</p>	 <p>利用螺杆与螺母进行调节。当对心顶 2 移至一定距离后, 用螺母 1 锁紧。3 为弹簧座, 4 为螺杆</p>



典型结构示例	典型结构示例
 <p>利用螺旋 1 进行调整。凹口 2 处的角度为 90°，3 为导杆，4 为销，5 为淬火硬钢球</p>	 <p>利用调节螺旋调整，然后用锁紧螺母锁紧定位</p>
 <p>利用内六角螺旋 3 进行调整。1 为护套，凹圆 4 为对心用，5 为弹簧座，2 为螺母</p>	 <p>利用螺旋及螺母 1 调节。2 为垫片，3 为摇动杠杆，4 为空心导套，间隙 5 供角位移用</p>
 <p>利用调节螺旋 1 及螺母 2 调整。3 为定位板，4 为空心导杆，5 为硬钢球，6 为导杆，7 为当螺旋很长时用的支挡</p>	 <p>利用调节螺母 5 进行调整。2 为弹簧支座，3 为弹簧座，4 为定位板，1 为销钉</p>

## 4 圆柱螺旋拉伸弹簧

### 4.1 圆柱螺旋拉伸弹簧计算公式

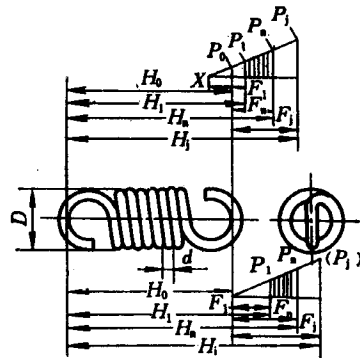


表 11-1-11

项 目	单 位	公 式 或 数 据	
		无 初 应 力	有 初 应 力
最大工作负荷 $P_n$	N	Ⅲ类	给定；或按 $P_n = \frac{\pi d^3}{8KD} [\tau_p]_{III}$ 计算
		Ⅱ类	给定；或按 $P_n = \frac{\pi d^3}{8KD} [\tau_p]_{II}$ 计算
		Ⅰ类	给定；或按 $P_n = \frac{\pi d^3}{8KD} [\tau_p]_{I}$ 计算