

航空工艺技术 资料

螺旋弹簧计算图

航空工艺技术编辑部

1980

螺旋弹簧计算图

设计：
一一六厂陈泽桁
编 绘

说 明

圆柱形圆截面螺旋拉伸、压缩弹簧是一种广泛用于工业、农业和国防的重要的机械零件。在某些机械结构中，弹簧设计质量直接影响到整个机械的性能和安全。因此，弹簧的设计计算和验算在机械设计中占有重要的地位。在机械的研制过程中，对弹簧的反复调试、修改也是经常发生的。这就要求工人和技术人员不断地进行大量的、重复的弹簧计算，而这些计算又是很繁杂的，往往要花费很多时间。为了提高弹簧的计算效率，本图册向大家介绍一种用于螺旋拉伸、压缩弹簧计算的曲线图和列线图（又称NOMO图）。它有助于将从事于螺旋拉伸、压缩弹簧工作的工人和技术人员从繁杂、重复的计算中解放出来，节省时间，提高工作效率。它是一种较方便的弹簧计算的辅助工具。

本图册是以HB/Z18-76为依据编制的，适用于冷卷圆柱形圆截面螺旋拉伸、压缩弹簧的基本参数计算。由于本图册是初次编制，不免存在许多缺点和错误，欢迎同志们提出批评和指教。

目 录

说 明	
一、概述	(1)
1. 定义和作用	(1)
2. 负荷的种类	(3)
3. 弹簧的分类	(4)
4. 弹簧的特性线	(4)
5. 弹簧指数	(4)
6. 弹簧材料和允许工作应力	(5)
7. 高温的影响	(6)
8. 螺旋弹簧的计算	(7)
二、静强度计算图	(7)
1. 基本公式	(7)
2. 最大允许负荷计算图	(8)
3. 温度当量负荷	(9)
4. 弹簧刚度计算图	(10)
5. 弹簧应力计算图	(11)
6. 应用举例	(12)
附 图(图 1 ~图25)	(14~39)

一、概 述

1. 定义和作用

圆柱形圆截面螺旋拉伸、压缩弹簧(图 1—1)是一种广泛使用的、重要的机械零件。它是由丝材(或棒材)卷制成的螺旋形弹性体。负荷作用在它的轴线上。当它承受了负荷以后,就要发生变形,将机械功(或动能)转变为它自身的变形能(或位能)。而当卸掉负荷以后,它又恢复为原来的形状。

拉伸弹簧承受的负荷是与弹簧轴线平行的拉伸力。在这个力的作用下,弹簧的螺旋线被拉伸。压缩弹簧承受的负荷是与弹簧轴线平行的压缩力。在这个力的作用下,弹簧的螺旋线被压缩。

圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧在机械中可以起下列一些作用:减少冲击负荷和控制运动,贮存和提供能量,抑制其他零件和控制振动。

圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧按弹簧丝截面形状可以分为圆截面、方截面和矩形截面三种。按螺旋线的旋向可分为右旋和左旋两种。左旋和右旋弹簧可以用右手定则来判别(见图 1—2)。一般都采用右旋,但在压缩弹簧族中,为了防止相邻弹簧之间的咬合,相邻的两个弹簧的旋向应该相反。本图册只向读者介绍有关圆柱形圆截面拉伸、压缩弹簧的图解算法。为简便起见在文中就简称为螺旋拉伸、压缩弹簧。

圆截面圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧的有关参数、符号见表 1—1。

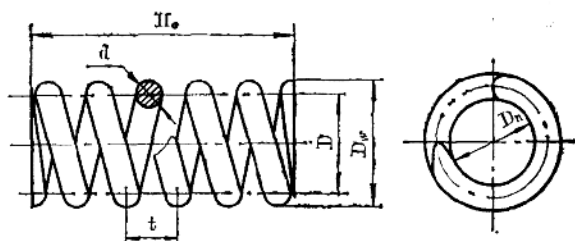
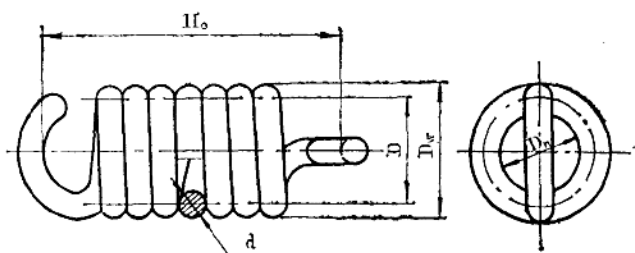


图 1—1 螺旋拉伸、压缩弹簧

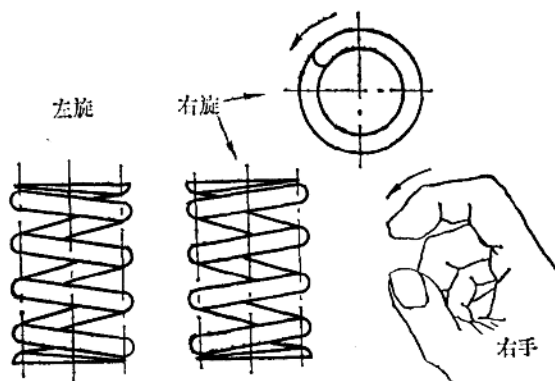


图 1—2 判断弹簧旋向的右手定则

名 称	符 号	单 位
最大计算负荷	P	公 斤
最小工作负荷	P ₁	公 斤
最大工作负荷	P ₂	公 斤
极限负荷	P ₃	公 斤
弹簧刚度	P'	公斤/毫米
允许扭转工作应力	[τ]	公斤/毫米 ²
最小工作负荷下的扭转工作应力	τ_1	公斤/毫米 ²
最大工作负荷下的扭转工作应力	τ_2	公斤/毫米 ²
极限扭转应力	τ_3	公斤/毫米 ²
最大计算负荷下的单圈变形量	f	毫 米
最小工作负荷下的单圈变形量	f ₁	毫 米
最大工作负荷下的单圈变形量	f ₂	毫 米
极限负荷下的单圈变形量	f ₃	毫 米
最大计算负荷下的变形量	F	毫 米
最小工作负荷下的变形量	F ₁	毫 米
最大工作负荷下的变形量	F ₂	毫 米
弹簧丝直径	d	毫 米
弹簧中径	D	毫 米
弹簧外径	D _w	毫 米
弹簧内径	D _i	毫 米
压缩弹簧节距	t	毫 米
在最大工作负荷下的压缩弹簧间距	δ	毫 米
压缩弹簧的支承圈数	n _c	毫 米
弹簧的工作圈数	n	圈
总 圈 数	n ₁	圈

名 称	符 号	单 位
压缩弹簧螺旋角	α	度
压缩弹簧的自由高度 拉伸弹簧的自由长度	H_0	毫 米
常温下弹簧材料的剪切模数	G	公斤/毫米 ²
弹簧指数	C	
应力修正系数	K	
温度系数	K_T	

本表摘自HB/Z18-76表1

2. 负荷的种类

螺旋弹簧承受的负荷的形式，在螺旋弹簧设计中是一个需要考虑的重要因素。一般地，它们所承受的负荷大致分为：（1）常温下的静负荷，（2）高温下的静负荷，（3）动负荷（交变负荷和脉冲负荷）。

常温下静负荷 这类负荷是指在环境温度为常温时承受不变的或变化很小的负荷。在设计中主要考虑避免过分的变形或负荷的损失。也就是在静负荷的作用下，弹簧产生一个变形，随着时间的延长，弹簧要出现永久变形，负荷也要下降（称为弹簧的松弛现象）。一般在常温下，如果在设计计算中，使弹簧的工作应力低于弹簧材料的弹性极限，那么弹簧的永久变形或松弛就会很少发生。对于进行过加荷时效处理的螺旋弹簧，其工作应力可以稍高于材料的弹性极限。

高温下的静负荷 在高温下，弹簧材料的蠕变和松弛现象随着弹簧工作温度的升高而变得愈加明显。这种蠕变和松弛是随着时间的延长而增加。因此，设计人员在设计高温下工作的螺旋弹簧时，必须根据弹簧在工作温度下的材料的蠕变和松弛性能来设计弹簧。但目前有关这方面资料还比较缺乏。

动负荷（交变负荷和脉冲负荷） 这类负荷是指作用在螺旋弹簧上的负荷并不保持常数，而是随着时间的延长而变化。在动负荷的作用下，弹簧丝截面上承受着较高的交变扭转剪切应力。实验证明，当该应力超过某一数值或由于弹簧表面存在着缺陷，就会在弹簧丝截面应力最大的内边处产生疲劳裂缝。随着应力交变次数的增加，裂缝在主应力方向上逐渐地扩大，直到截面积减少到使留下的部分在负荷的作用下突然断裂为止。这样的弹簧破坏，习惯上称为疲劳破坏。疲劳破坏是弹簧材料在低于允许扭转工作应力的交变应力作用下产生疲劳裂缝，在不产生明显的塑性变形的情况下的突然断裂。由于在弹簧断裂前不易察觉出来，所以造成的危害也是十分严重的。因此，当螺旋拉伸、压缩弹簧承受动负荷时，为了保证弹簧的安全工作，除了要进行弹簧的静强度计算以外，还要做动负荷的疲劳强度计算。

3. 弹簧的分类

螺旋拉伸、压缩弹簧按承受的负荷性质可分为三类：

I类弹簧——承受周期性动负荷作用，指作用次数在 10^5 次以上的交变负荷及脉冲负荷的弹簧。

II类弹簧——承受有限次数的交变负荷，指作用次数在 $10^3 \sim 10^5$ 次的交变负荷和脉冲负荷的弹簧。

III类弹簧——承受交变负荷次数在 10^3 次以下及静负荷的弹簧。

一般压缩弹簧可分为以上三类，而拉伸弹簧只分为II、III类弹簧。

4. 弹簧的特性线

螺旋拉伸、压缩弹簧的负荷P与变形量F之间的关系称为弹簧的特性线。螺旋拉伸、压缩弹簧的特性线是一条渐增型的直线（见图1—3）。由于制造的误差，材料的不均匀性，螺旋角在弹簧变形过程中的变化，以及支承圈与工作圈之间存在着间隙，因此实际的特性线与理论计算值之间有一定误差。

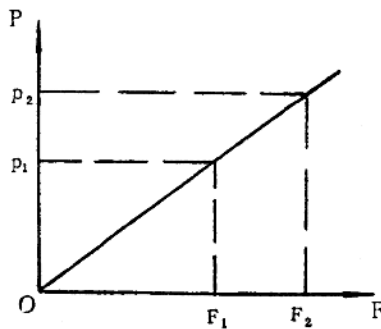


图1—3 弹簧特性线

弹簧特性线的斜率

$$P' = \frac{P_2 - P_1}{F_2 - F_1} = \frac{P}{F} = \frac{Gd^4}{8D^3n}$$

称为螺旋拉伸、压缩弹簧的弹簧刚度，也就是螺旋弹簧的单位变形量所需要的负荷量。它符合虎克定律，在螺旋拉伸、压缩弹簧设计计算中是一个重要的参数。

5. 弹簧指数

螺旋拉伸、压缩弹簧的中径D和弹簧丝直径d的比值叫做弹簧指数C，即

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

弹簧指数C是一个无因次量。它说明弹簧螺圈曲率的相对关系，该值较低相当于有较大的曲率，即弹簧丝的变形程度愈大；反之，则曲率小变形程度也小。其值一般最低不能小于4，最高不能超过25，最佳值一般在4~14的范围内选择，见表1—2。

与弹簧丝直径 d (毫米) 对应的弹簧指数 C

表 1—2

d	0.2~0.4	>0.4~1	>1.0~2.0	>2.0~6.0	>6.0
c	7~14	5~14	5~12	4~10	4~8

6. 弹簧材料和允许工作应力

(1) 弹簧材料

碳素弹簧钢丝 一种价格低廉, 原材料来源方便的钢丝, 具有较高的强度, 较好的表面质量和适当的塑性。在相同的表面质量下, 其强度并不比合金钢差。这种材料广泛地用于制造小弹簧, 其工作温度可达150℃。

根据钢丝机械性能的不同可分为四组: I组、II组、III组和IV组, HB/Z18-76仅规定了II组的有关数据, 见表1—3。

硅锰钨弹簧钢丝 (65Si2MnWA) 是一种低合金弹簧钢丝, 具有较高的强度和弹性, 在较高的温度下仍具有较高的强度。它广泛用于制作承受较高的交变负荷的螺旋拉伸、压缩弹簧, 见表1—3。

铬钒钢丝 (50CrVA) 一种高质量的油淬火回火钢丝, 它具有较高的机械性能, 较好的表面质量, 淬透性好, 良好的工艺性。工作温度可达到180℃, 常用于制作承受动负荷的弹簧, 见表1—3。

几种弹簧材料的有关数据

表 1—3

材 料	技 术 条 件	剪切模数 G (公斤/毫米)	工作温度 (℃)	适 用 范 围
碳素弹簧钢丝 II组	YB248-64	8200	-60~+150	II III类弹簧
65Si2MnWA	YB249-64	7600	-60~+230	II III类弹簧
50CrVA	YB285-64	8100	-60~+180	I、II、III类弹簧

(2) 允许工作应力

螺旋拉伸、压缩弹簧工作应力一般根据材料的性质、热处理、负荷的性质、工作条件及弹簧的用途等因素来确定。碳素弹簧钢丝II组、65Si2MnWA和50CrVA三种材料用作拉

压缩弹簧允许扭转工作应力 $[\tau]$

表 1—4

钢丝牌号	工作温度 (℃)	不同钢丝直径 (毫米) 的允许扭转工作应力 $[\tau]$ (公斤/毫米 ²)				
		0.2~0.8	>0.8~1.5	>1.5~2.5	>2.5~3	>3~3.5
碳素弹簧 钢丝II组	≤60	86	74	66		58
	150	64	55	49		43
50CrVA	≤60		68	62	60	56
	180		58	53	51	48

压缩弹簧允许扭转工作应力 $[\tau]$

表 1—4

钢丝牌号	工作温度 (°C)	不同钢丝直径(毫米)的允许扭转工作应力 $[\tau]$ (公斤/毫米 ²)				
		0.2~0.8	>0.8~1.5	>1.5~2.5	>2.5~3	>3~3.5
65Si- 2MnWA	≤60	76				
	180	65				
	230	57				

伸、压缩弹簧时的允许扭转工作应力在 HB/Z18-76 中做了具体规定。Ⅱ类螺旋拉伸、压缩弹簧的允许扭转工作应力 $[\tau]$ 值分别列在表 1—4 和表 1—5 中。

拉伸弹簧允许扭转工作应力 $[\tau]$

表 1—5

钢丝牌号	工作温度 (°C)	不同钢丝直径(毫米)的允许扭转工作应力 $[\tau]$ (公斤/毫米 ²)			
		0.2~0.8	>0.8~1.5	>1.5~3	>3~6
炭素弹簧	≤60	73	63	56	49
钢丝Ⅱ,组	150	60	52	46	40
65Si 2MnWA	≤60	65			
	180	55			
	230	48			

注: 1. 50CrVA 钢丝用于动负荷时, 其 $[\tau]$ 取表中值的 0.75 倍(相当于Ⅰ类弹簧)。

2. Ⅲ类弹簧, 其 $[\tau]$ 值取表中数值的 1.25 倍。

3. 在中间温度使用时, 其 $[\tau]$ 值按直线规律变化。

4. 表 1—4、表 1—5 均摘自 HB/Z18-76。

7. 高温的影响

弹簧往往要在高温下工作, 设计弹簧时必须注意随着温度的升高所造成的弹簧变形和负荷的损失, 其原因, 一方面由于温度升高, 弹簧材料的屈服强度下降, 使弹簧的最大允许工作应力减少; 另一方面, 高温使弹簧材料的剪切模数 G 值降低, 导致弹簧刚度成比例地下降。为了考虑高温对螺旋拉伸、压缩弹簧的影响, 应选用较低的允许扭转工作应力 $[\tau]$, 见表 1—4 和表 1—5。温度对剪切模数 G 值的影响, 可用下面公式进行计算:

$$G_T = K_T \cdot G$$

式中 G_T 是弹簧材料在高温下的剪切模数。 K_T 是温度系数, 其值见表 1—6。

温度系数 K_T

表 1—6

T (°C)	≤60	150	180	230
K_T	1.0	0.97	0.96	0.95

8. 螺旋弹簧的计算

螺旋拉伸、压缩弹簧的计算一般分为设计计算和验算两大类。

螺旋弹簧的设计计算就是设计人员根据所给定的条件设计出一个满足安装条件和所需承受负荷的弹簧。一般首先给出以下几个已知条件：

- ①工作环境 and 负荷性质。
- ②工作负荷，如 P_1 、 P_2 。
- ③安装空间，如安装孔或轴的尺寸。
- ④弹簧工作变形的空间尺寸，如 F_1 、 F_2 。

在实际的弹簧设计计算中，以上的已知条件都不是独立的参数。设计人员用试算法求出满足以上条件的弹簧。

根据螺旋拉伸、压缩弹簧所承受负荷的性质不同，弹簧的设计计算内容也有所不同，一般可以分为：

(1) 受到冲击负荷或循环次数超过 10^5 次动负荷的弹簧（即 HB/Z18-76中规定的 I 类弹簧）需要进行静强度计算、稳定性计算和疲劳强度计算，在必要时还要进行弹簧的共振性计算。

(2) 承受静负荷或循环次数不超过 10^5 次的交变负荷的弹簧（即 HB/Z18-76中规定的 II、III 类弹簧）要做静强度计算和稳定性计算。

螺旋拉伸、压缩弹簧的验算是指一个弹簧已经制造好了，弹簧材料、尺寸参数等都是已知的，通过计算检查该弹簧是否满足某一特定要求，如在某一负荷下的强度，或满足强度条件下所能承受的最大负荷，或弹簧刚度、稳定性以及疲劳强度等。

二、静强度计算图

1. 基本公式

螺旋拉伸、压缩弹簧计算的基本公式是：

$$\text{应力公式} \quad \tau = K \frac{8PD}{\pi d^3}$$

$$K = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C}$$

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

$$\text{变形公式} \quad F = \frac{8PD^3 n}{Gd^4}$$

刚度公式
$$P' = \frac{P}{F} = \frac{Gd^4}{8D^3n}$$

式中K是应力修正系数，它是修正由于弯曲和正向剪切造成弹簧丝截面的应力增加。

2. 最大允许负荷计算图

图2、4、6、8、10、12、14、16、18分别是碳素弹簧钢丝Ⅱ、组、65Si2MnWA、50CrVA三种材料的最大允许负荷计算图。图上左、右纵坐标分别表示Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类压缩弹簧和Ⅱ、Ⅲ类拉伸弹簧的最大允许负荷；图上横坐标表示弹簧螺圈直径值（即弹簧的内径和外径）；图中的曲线，虚线表示弹簧的内径，实线表示弹簧的外径，曲线上的数字表示弹簧丝的直径值，这些数值符合相应材料的技术条件上规定的直径尺寸系列。材料的允许扭转工作应力符合HB/Z18-76规定值（见表1-4和表1-5）。

在螺旋弹簧的静强度计算中，当设计人员根据已知的负荷情况、工作条件选定一种弹簧材料后，再根据所要求的安装空间、确定弹簧的内径或外径的范围。然后，在该材料的最大允许负荷曲线图上查出满足静强度要求的最小弹簧丝直径值。如图2-1所示，若设计一个Ⅱ类压缩弹簧，要求外径（或内径）为D，承受的最大负荷为P，由曲线图左面纵坐标上找出P值，在横坐标上找出D值，两坐标在曲线图上的交点为a，该值即为所求的弹簧丝直径值。但此值应取相近的弹簧丝直径的标准值 d_1 （实线为外径，虚线为内径）。如果设计一个Ⅲ类压缩弹簧，则在曲线图右边纵坐标（Ⅲ类压缩弹簧最大允许负荷坐标）上找到P值，D值和P值两坐标在曲线图上的交点b即为所求的弹簧丝直径值，取相邻的标准直径值 d_2 。求其他类型弹簧时可以此类推。

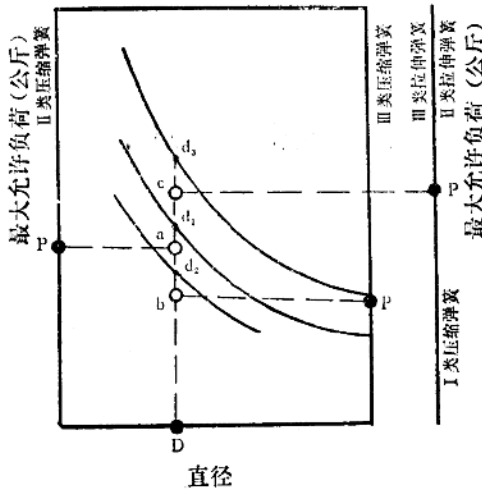


图2-1 求弹簧丝直径示意图

下面举例说明曲线图的使用方法。

例题1 设计一个在常温下工作的承受有限次数交变负荷的Ⅱ类压缩弹簧，最大负荷 $P_1 = 13$ 公斤，要求弹簧外径不大于14毫米，弹簧材料为碳素弹簧钢丝Ⅱ、组，求弹簧丝直径。若设计一个在同样条件下工作的拉伸弹簧，其弹簧丝直径又是多少？

解：查图6 炭素弹簧钢丝Ⅱ.组最大允许负荷图(3)。在横坐标上找出弹簧外径 $D_w = 14$ 毫米，由曲线图左边纵坐标上找出负荷值 $P = 13$ 公斤，两坐标在曲线上的交点为 a 。 a 点接近于弹簧丝直径值为 2 毫米的曲线（图6 中的实线）。故所求的弹簧丝直径 $d = 2$ 毫米。

若是设计一个Ⅱ类拉伸弹簧，可在曲线图右边Ⅱ类拉伸弹簧最大允许负荷纵坐标（见图6）上，找出负荷 $P = 13$ 公斤的点。它与横坐标上 $D_w = 14$ 毫米的点的坐标在曲线图上相交于 C 点。 C 点所接近的弹簧丝直径为 $d = 2.2$ 毫米的曲线。故所求的弹簧丝直径 $d = 2.2$ 毫米。

3. 温度当量负荷

在高温下，弹簧材料的允许扭转工作应力比常温下降低了，见表1—4和表1—5。这样就不能直接使用最大允许负荷曲线图。在这种情况下，应将高温下的实际工作负荷转化为在常温下的当量工作负荷 P_T （称为温度当量工作负荷）。然后按照前节所述的方法直接使用最大允许负荷曲线图。

使用图1 可以将高温下的工作负荷转化为常温下的温度当量工作负荷 P_T 。计算时，首先在右边的曲线图上根据材料、弹簧种类、工作温度查出温度系数 k_T ，然后再由列线图计算出温度当量工作负荷 P_T 。下面举例说明计算方法。

例题2 设计一个在 100°C 高温下工作的Ⅱ类压缩弹簧，最大负荷为 $P_2 = 13$ 公斤，要求弹簧外径 D_w 不大于14毫米，弹簧材料为炭素弹簧钢丝Ⅱ.组，求弹簧丝直径。

解：1. 求出温度系数 k_T ：图2—2 为求温度系数 k_T 及温度当量工作负荷 P_T 示意图。在图1 的右边曲线图上查出在工作温度为 100°C 、材料为炭素弹簧钢丝Ⅱ.组的压缩弹簧，其温度系数 $k_T = 1.147$ 。

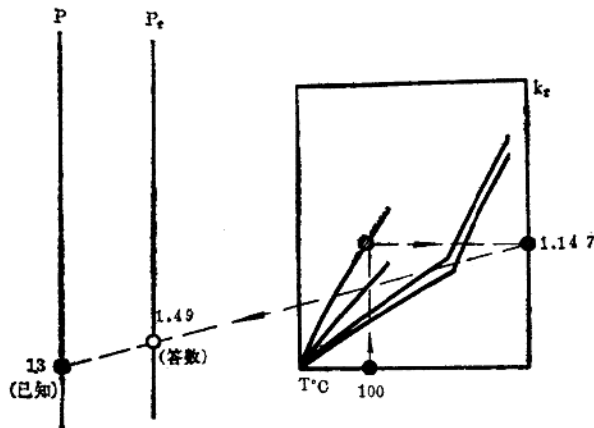


图2—2 求温度系数 k_T 及温度当量工作负荷 P_T 示意图

2. 求出温度当量工作负荷 P_T ：根据温度系数 k_T 和工作负荷 P ，在图1 的列线图上求温度当量工作负荷 P_T 。题设工作负荷 $P = 13$ 公斤超过了 P 图尺的数值范围，不能在 P 图尺上直接找出 $P = 13$ 公斤的点，这时可使用定位法，在工作负荷 P 图尺上找出 $P = 1.3$ 的点（即

$P \times 10 = 1.3 \times 10 = 13$ 公斤), 将它与 $k_r = 1.147$ 点连成一条直线与温度当量工作负荷 P_T 图尺相交于 1.49 点, 该点即为工作温度为 100°C 时的温度当量工作负荷 $P_T = 14.9$ 公斤 (即当 $P \times 10$ 时, $P_T \times 10 = 1.49 \times 10 = 14.9$) (见图 2—2)。

3. 在炭素弹簧钢丝的最大允许负荷曲线图上查出弹簧丝直径 d 值。按照例题 1 的同样方法, 在图 6 上查出在温度当量工作负荷 $P_T = 14.9$ 公斤时弹簧丝直径 $d = 2.2$ 毫米 (请读者自行作图求解)。

4. 弹簧刚度计算图

图 3、5、7、9、11、13、15、17、19 分别是炭素弹簧钢丝 II 组、65Si2MnWA、50CrVA 三种材料的刚度计算图。这些计算图是由弹簧指数 (旋绕比) 计算图和弹簧刚度计算图两部分组成, 见图 2—3。弹簧指数计算图由 d 图尺 (在计算图上方)、 D 图尺和 C 图尺组成。该计算图是根据弹簧指数计算公式 $C = \frac{D}{d}$ 推导出来的。由 d 图尺 (在计算图的下方)、 n 图尺、 P' 图尺和 C 图尺组成弹簧刚度计算图。这些计算图是根据弹簧刚度计算公式 $P' = \frac{Gd^4}{8D^3n}$ 推导出来的, 可用以计算弹簧指数、工作圈数、弹簧刚度等参数。

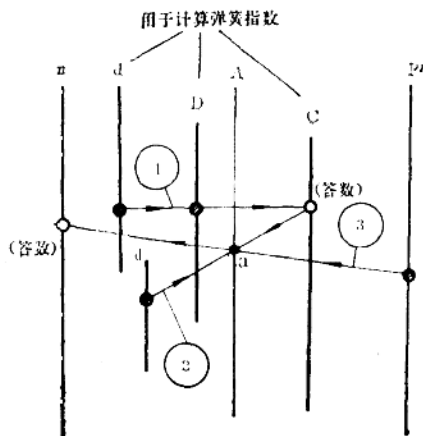


图 2—3 求弹簧指数 C 、弹簧刚度 P' 示意图

下面用例题说明这些计算图的使用方法。

例题 3 由前面例题 1 的计算结果: 弹簧丝直径 $d = 2$ 毫米, 弹簧外径 $D_w = 14$ 毫米, 弹簧材料是炭素弹簧钢丝 II 组, 若要求弹簧刚度为 $P' = 1$ 公斤/毫米, 求弹簧的工作圈数。

解: 1. 求弹簧指数 C : 弹簧中径 $D = D_w - d = 14 - 2 = 12$ 毫米。查图 7, 使用 d 图尺 (在计算图的上方)、 D 图尺和 C 图尺求弹簧指数 C 。首先在 d 图尺上找出 $d = 2$ 点, 在 D 图尺上找出 $D = 12$ 的点, 然后两点连成一条直线 (示意图 2—3 的直线 1), 并延长交于 C 图尺于点 6, 该点即为弹簧指数 $C = 6$ 。

2. 计算弹簧工作圈数：在d图尺（在计算图的下方）上找出d = 2的点，与C图尺上的C = 6的点连成一条直线，交A线于a点（见示意图2—3的直线2）。再在P'图尺上找出P' = 1的点与A线上的a点连成一条直线，并延长交于n图尺的n = 9.5点（见示意图2—3的直线3）。该值即为弹簧的工作圈数。

在高温下，弹簧材料的剪切模数G值减少了，弹簧刚度也随着降低。因此，设计在高温下工作的弹簧时，必须考虑温度对弹簧材料剪切模数的影响。在弹簧刚度计算图的刚度图尺P'上有考虑温度对弹簧刚度影响的计算图线，见示意图2—4。在图2—4上，常温时的弹簧刚度值为M，则Q₁、Q₂、Q₃分别为弹簧在150℃、180℃和230℃时的弹簧刚度值。若弹簧在其他温度下工作时，则可在M和Q值之间取值。在参数计算时可根据具体情况将常温下的P'值转化为高温下的P'值，或者将高温下的P'值转化为常温下的P'值。

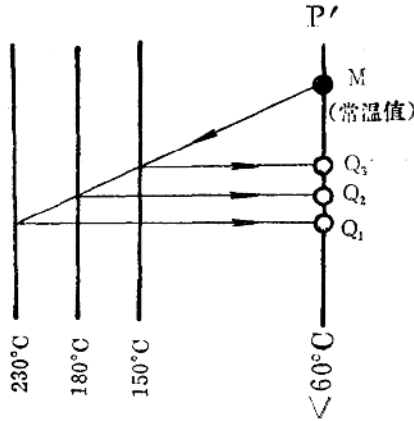


图2—4 考虑温度对弹簧刚度影响计算图示意

5. 弹簧应力计算图

图20、21、22是根据螺旋拉伸、压缩弹簧修正应力公式推导出来的应力计算图。这些列线图可以进行弹簧修正应力公式的运算。下面举例说明。

例题4 有一螺旋压缩弹簧， $D_w = 16$ 毫米， $d = 2$ 毫米， $n = 5$ 圈，承受的最大工作负荷 $P_2 = 12$ 公斤，求弹簧丝截面在最大工作负荷时的工作应力。

解：1. 计算弹簧指数C：弹簧中径 $D = D_w - d = 16 - 2 = 14$ 毫米，查图24得弹簧指数 $C = 7$ 。

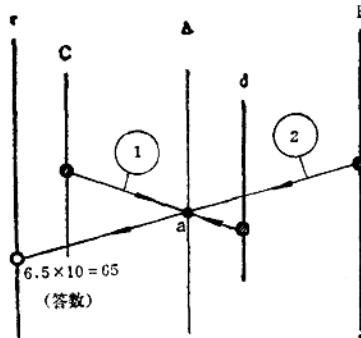


图2—5 示意图

2. 计算弹簧在最大工作负荷下的工作应力：查图21或图22，将d图尺上的d = 2点与C图尺上的C = 7点连成一条直线，交A线于a点（见图2—5的直线1）。将P图尺上P = 12点与a点连成一条直线，并延长该直线交于τ图尺于τ = 65点（见图2—5的直线2）。该值即为在最大工作负荷P = 12公斤时的工作应力τ = 65公斤/毫米²。

6. 应用举例

螺旋拉伸、压缩弹簧的静强度计算是比较繁杂的。通过前面介绍的一些曲线图和列线图可以将螺旋拉伸、压缩弹簧的繁杂计算简化。下面用例题介绍螺旋拉伸、压缩弹簧静强度计算的一般程序和如何应用曲线图和列线图。

例题5 设计一个在常温下工作的阀门弹簧，原始数据是：最大工作负荷P₂ = 12公斤，
 弹簧其他参数及计算公式 表2

名称	符号	单位	计算公式	说明
支撑圈	n _s	圈	当d ≤ 3时 取2.5 当d > 3时 取2	
总圈数	n ₁	圈	n ₁ = n + n _s	
弹簧节距	t	毫米	t = d + f ₂ + δ	
在最大工作负荷下的弹簧间距	δ	毫米	δ = 0.25f ₂ > 0.2毫米 δ = 0.1d ≥ 0.2毫米	用于不经加温加荷时效处理的弹簧 用于加温加荷时效处理的弹簧
压缩弹簧的自由高度	H ₀	毫米	H ₀ = t · n + (n _s - 0.5)d	两端磨平 3/4 圈
拉伸弹簧的自由高度	H ₀	毫米	H ₀ = d(n - 1) + 钩环尺寸	
最小工作负荷P ₁ 下的弹簧变形量	F ₁	毫米	F ₁ = $\frac{P_1}{P_1}$	
最小工作负荷P ₁ 下的弹簧高度	H ₁	毫米	H ₁ = H ₀ - F ₁ H ₁ = H ₀ + F ₁	压缩弹簧 拉伸弹簧
最大工作负荷P ₂ 下的弹簧高度	H ₂	毫米	H ₂ = H ₀ - F ₂ H ₂ = H ₀ + F ₂	压缩弹簧 拉伸弹簧
压缩弹簧并紧高度	H _b	毫米	H _b ≈ (n ₁ - 0.5)d H _b ≈ (n ₁ + 1)d	端面磨平 3/4 圈 端面不磨
弹簧展开长度压	L	毫米	L = $\sqrt{(\pi D)^2 + t^2} \cdot n_1$ = $\frac{\pi D n_1}{\cos \alpha}$	
拉伸弹簧展开长度	L	毫米	L ≈ πD · n + 钩环展开长度	
压缩弹簧重量	Q	克	Q = $\frac{\pi^2 d_2 D (n_1 - 0.5)}{4 \cos \alpha} \cdot \gamma$	
拉伸弹簧重量	Q	克	Q = $\frac{\pi d^2}{4} L \cdot \gamma$	
材料比重	γ	克/毫米 ³	γ = 0.00785	

最大工作负荷下的变形量 $F_2 = 15$ 毫米；最小工作负荷 $P_1 = 7$ 公斤；负荷是有限次数的交变负荷；弹簧外径不大于16毫米；工作介质为空气；根据安装情况，弹簧两端形式为并紧和磨平。弹簧不需进行加温加荷时效处理。

解：1. 根据工作条件和负荷情况选用炭素弹簧钢丝Ⅱ组，弹簧是Ⅱ类弹簧，Ⅱ级精度

2. 计算弹簧刚度：查图25弹簧刚度—变形量计算图。已知弹簧最大工作负荷 $P_2 = 12$ 公斤，最大工作负荷下的变形量为 $F_2 = 15$ 毫米，查图得 $P' = 0.8$ 公斤/毫米。

3. 确定弹簧钢丝直径值：查图6炭素弹簧钢丝Ⅱ组最大允许负荷曲线图。已知最大工作负荷 $P_2 = 12$ 公斤，弹簧外径不超过16毫米，查图得弹簧丝直径 $d = 2$ 毫米。

4. 确定弹簧工作圈数：查图7弹簧刚度计算图。已知 $d = 2$ 毫米， $D_w = 16$ 毫米， $D = 16 - 2 = 14$ 毫米，查图得 $C = 7$ ；再由 $C = 7$ ， $d = 2$ 毫米， $P' = 0.8$ 公斤/毫米查得 $n = 7.3$ 圈，取 $n = 7.0$ 圈。

5. 弹簧单圈变形量：已知 $F_2 = 15$ 毫米， $n = 7$ 圈，单圈变形量 $f_2 = \frac{F_2}{n} = \frac{15}{7} = 2.15$ 毫米。

6. 计算弹簧节距 t ：由表2中公式，

$$t = d + f_2 + 0.25f_2 = 2 + 2.15 + 0.25 \times 2.15 = 4.69 \text{ 毫米}$$

7. 验算螺旋角 α ：查图23(弹簧螺旋角计算图)。已知 $t = 4.69$ 毫米， $D = 14$ 毫米，查图得 $\alpha = 6.1$ 度，符合HB/Z18-76的推荐值。

其他参数可按表2进行，具体计算从略。