

# 第21章 压力弹簧管

## 1 压力弹簧管的类型与用途

压力弹簧管是具有椭圆形、扁平形或偏心圆等不同形状的截面（图 12-21-2），且一端固定，一端自由并封闭的金属管。工作时，一般将管的开口端固定，当管的内腔受流体压力  $P$  作用时，管的曲率改变，自由端产生直线位移。因此，它能用作测量压力的敏感元件。与其他测压元件相比，压力弹簧管具有测压范围广的优点，同时结构简单，制造容易，使用可靠。

压力弹簧管一般做成如图 12-21-1 所示的 C 形管。为了增大灵敏度，还可以做成 S 形管、盘簧管和螺旋管等，而盘簧管和螺旋管的自由端可获得较大的转角。

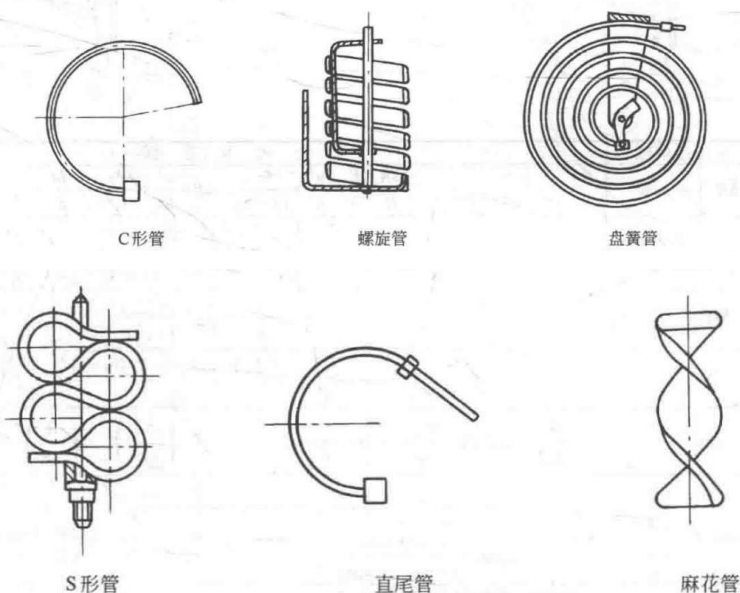


图 12-21-1 压力弹簧管类型

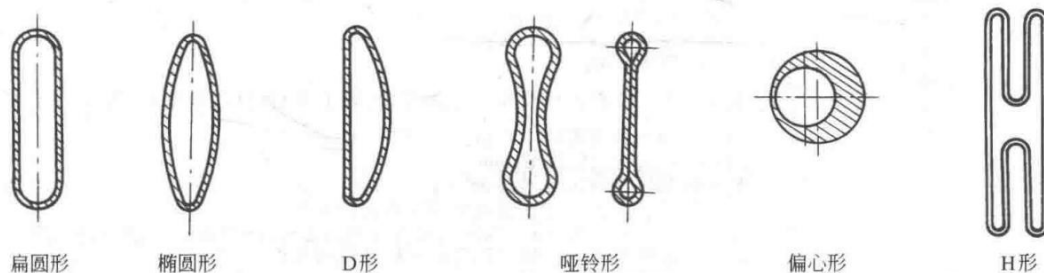


图 12-21-2 压力弹簧管截面形状

## 2 压力弹簧管的材料

表 12-21-1

材 料	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	比例极限 $\sigma_p$ /MPa	弹性模量 $E$ /MPa	硬 度/HV
QSn4-3	784	540	107800	
QBe2	1226	1000	136000	380
1Cr18Ni9Ti	539	107.8	203000	155
50CrVA	1273	1000	212000	450
3J53 (Ni42CrTiAl)	1372	1000	181300	411

## 3 压力弹簧管计算公式

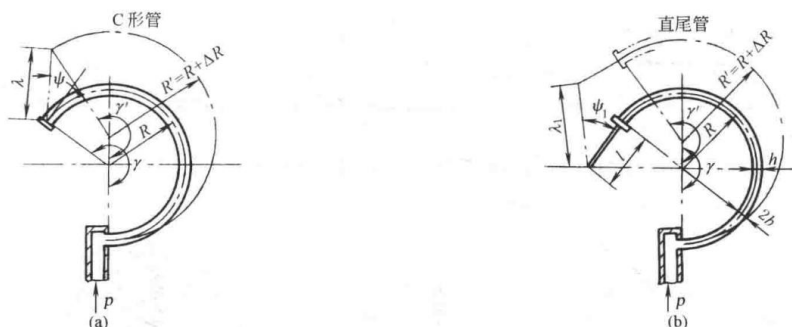


表 12-21-2

项 目	单位	公 式 及 数 据
曲率半径增量 $\Delta R$	mm	$\frac{\Delta R}{R} \times \frac{E}{p} = \frac{a^3}{h^3} \times \frac{k_3}{1+x^2 k_1}, \Delta R = \frac{a^3}{h^3} \times \frac{k_3}{1+x^2 k_1} \times \frac{Rp}{E}$
牵引力矩 $T$	N · mm	$\frac{T}{pa^3} = \frac{a}{R} \times \frac{a^2}{h^2} \times \frac{k_4}{1+x^2 k_2}$
最大应力 $\sigma_{\max}$	MPa	$\frac{\sigma_{\max}}{p} = \frac{a^2}{h^2} \times \frac{k_5}{1+x^2 k_1}$
管端牵引力 $F$	N	$\frac{FR}{T} = \frac{\sqrt{2(1-\cos\gamma)-2rsin\gamma+r^2}}{k_0}$
管 端 位 移 量 $\lambda, \lambda_1$	mm	$\frac{\lambda}{\Delta R} = \sqrt{2(1-\cos\gamma)-2rsin\gamma+r^2}, \left(\frac{\lambda_1}{\Delta R^2}\right)^2 = \left(\frac{\lambda}{\Delta R}\right)^2 + 2 \times \frac{\lambda}{\Delta R} \times \frac{l}{R} \times r \sin\psi + \left(\frac{l}{R}\right)^2 r^2$
管端位移方向角 $\psi, \psi_1$	(°)	$\psi = \frac{3}{2}\pi - \gamma - \varphi$ $\tan\varphi = \frac{rsin\gamma - sin\gamma}{1 - \cos\gamma - rsin\gamma}$ $\tan\psi_1 = \tan\varphi + \frac{\Delta R}{\lambda} \times \frac{l}{R} \times \frac{r}{\cos\psi}$
附 注		<p><math>R</math>——弹簧管的曲率半径,mm  <math>E</math>——弹性模量,MPa  <math>p</math>——工作压力,MPa  <math>a</math>——截面长半径,mm  <math>b</math>——截面短半径,mm  <math>x</math>——主参数, <math>x = a^2/(Rh)</math>  <math>h</math>——壁厚,mm  <math>k_1, k_2, k_3, k_4, k_5</math>——取决于截面形状和 <math>\frac{b}{a}</math> 值的系数,列于图 12-21-3 及图 12-21-4  <math>\gamma</math>——压力弹簧管的中心角,(°)  <math>\lambda</math>——C 形管端位移量,mm  <math>\lambda_1</math>——直尾管端位移量,mm  <math>\psi</math>——位移方向与弹簧管圆弧切线方向的夹角,(°)  <math>\varphi</math>——位移方向与连杆(与使用仪表连接的连杆,图中未示出)方向的夹角,(°)  <math>\psi_1</math>——直尾管末端位移方向与直尾杆轴线间夹角,(°)  <math>l</math>——自由端直尾杆长度,mm  <math>k_0</math>——取决于 <math>r</math> 的系数</p>

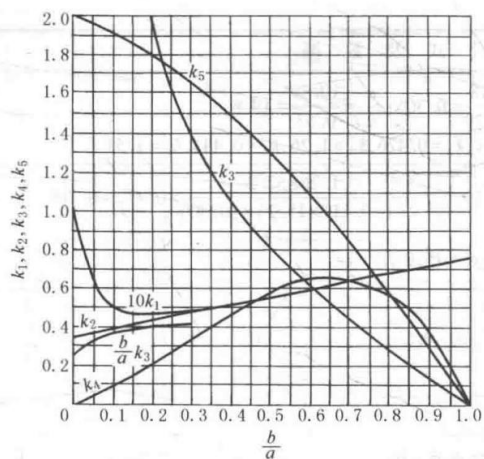


图 12-21-3 近似椭圆截面的  $k_1 \sim k_5$  值

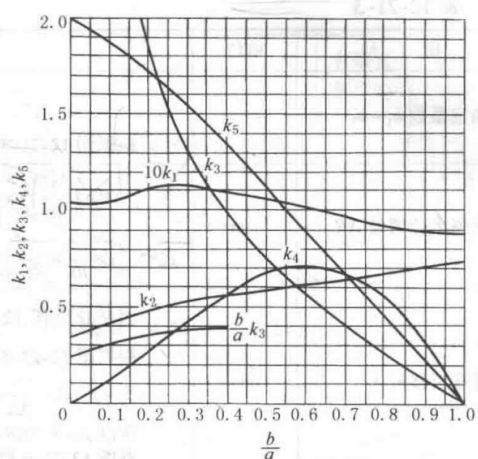


图 12-21-4 扁圆截面的  $k_1 \sim k_5$  值

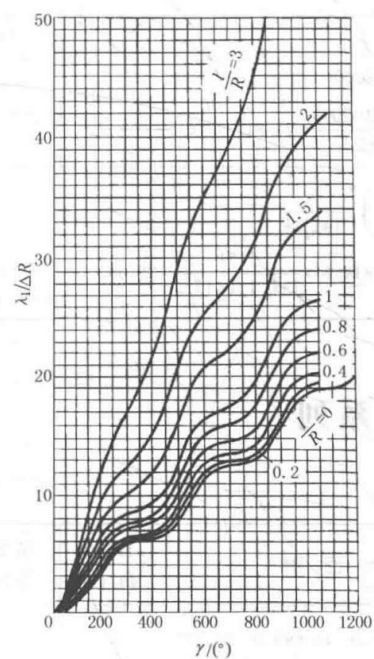


图 12-21-5  $\frac{\lambda_1}{\Delta R}$  与  $\gamma$  的关系

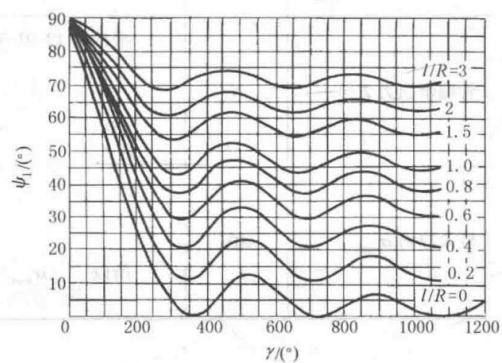


图 12-21-6  $\psi_1$  与  $\gamma$  的关系

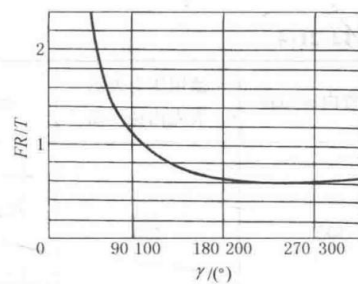


图 12-21-7  $\frac{FR}{T}$  与  $\gamma$  的关系

## 4 压力弹簧管计算示例

例 求承受压力  $p=0.412\text{MPa}$  的扁圆截面弹簧管的位移、最大应力、牵引力矩、牵引力。尺寸为  $a=10.39\text{mm}$ ,  $b=3.18\text{mm}$ ,  $h=0.53\text{mm}$ ,  $R=52.3\text{mm}$ ,  $\gamma=241^\circ$  (图 12-21-3), 其弹性模量  $E=107800\text{MPa}$ 。

表 12-21-3

项 目	单位	公 式 及 数 据
确定系数 $k_1 \sim k_5$		$\frac{b}{a} = \frac{3.18}{10.39} = 0.306; \frac{a}{h} = \frac{10.39}{0.53} = 19.6$ 根据图 12-21-4 查得: $k_1 = 0.111, k_2 = 0.426, k_3 = 1.26, k_4 = 0.444, k_5 = 1.51$
曲率半径增量 $\Delta R$	mm	$\Delta R = \left(\frac{a}{h}\right)^3 \times \frac{k_3}{1+k_1x^2} \times \frac{R}{E} p = (19.6)^3 \times \frac{1.26 \times 52.3}{(1+0.111 \times 15.2) \times 107800} \times 0.412 = 0.706$ 式中 $x = \frac{a^2}{Rh} = \frac{10.39^2}{52.3 \times 0.53} = 3.89$ 故 $x^2 = 15.2$
管端位移量 $\lambda$	mm	因是 C 形管, 故 $\frac{l}{R} = 0$ 根据图 12-21-5 查得 当 $\gamma = 241^\circ, \frac{\lambda}{\Delta R} = 5.3$ 所以 $\lambda = 5.3 \Delta R = 5.3 \times 0.706 = 3.74$ 查图 12-21-6 得管端位移方向角 $\psi, \psi = 16^\circ$
牵引力矩 $T$	N · mm	$\frac{T}{pa^3} = \frac{a}{R} \left(\frac{a}{h}\right)^2 \frac{k_4}{1+k_2x^2}$ 故 $T = pa^3 \frac{a}{R} \left(\frac{a}{h}\right)^2 \frac{k_4}{1+k_2x^2} = 0.412 \times 10.39^3 \times \frac{10.39}{52.3} \times 19.6^2 \times \frac{0.444}{1+0.426 \times 15.2} = 2093$
管端牵引力 $F$	N	根据图 12-21-7 查得 $\gamma = 241^\circ$ 时 $\frac{FR}{T} = 0.62$ 所以 $F = \frac{0.62T}{R} = \frac{0.62 \times 2093}{52.3} = 24.81$
最大应力 $\sigma_{\max}$	MPa	$\frac{\sigma_{\max}}{p} = \left(\frac{a}{h}\right)^2 \frac{k_5}{1+k_1x^2}$ 所以 $\sigma_{\max} = p \left(\frac{a}{h}\right)^2 \times \frac{k_5}{1+k_1x^2} = 0.412 \times 19.6^2 \times \frac{1.51}{1+0.111 \times 15.2} = 88.94$

5 压力弹簧管的尺寸系列

表 12-21-4

弹簧管内径/mm	适用压力表的表壳内径/mm	测量类别	承 压 范 围	有效张角/(°)	精度等级
100	150	压力/ $10^4$ Pa	0~5.886, 0~9.81, 0~15.696, 0~24.525, 0~39.24, 0~58.86, 0~98.1, 0~156.96, 0~245.25, 0~392.4, 0~588.6, 0~981	270	1.5~2.5
		真空/Pa	101324.72~0		
64	100	压力/Pa	101324.7~0~79.99 $\times 10^4$ , 101324.7~0~133.32 $\times 10^4$ , 101324.7~0~213.3 $\times 10^4$ , 101324.7~0~333.2 $\times 10^4$ , 101324.7~0~533.3 $\times 10^4$ , 101324.7~0~799.9 $\times 10^4$		
		真空/Pa	101324.7~0~98.1 $\times 10^4$ , 101324.7~0~156.96 $\times 10^4$ , 101324.7~0~245.25 $\times 10^4$		

续表

弹簧管内径/mm	适用压力表的 表壳内径/mm	测量类别	承 压 范 围	有效张 角/(°)	精度 等级
37	60	压力/ $10^4$ Pa	0~9.81, 0~15.696, 0~24.525, 0~39.24, 0~58.86, 0~98.1, 0~156.96, 0~245.25, 0~ 392.4, 0~588.6, 0~981	270	1.5~2.5
42.5	60	压力/ $10^4$ Pa	0~392.4, 0~2452.5	—	1.5~2.5
26	40	压力/ $10^4$ Pa	0~9.81, 0~15.696, 0~24.525, 0~39.24, 0~58.86, 0~98.1, 0~156.96, 0~245.25	—	1.5~4

## 参 考 文 献

- [1] [苏] 波诺马廖夫. C. Д 等著. 机器及仪表弹性元件的计算. 王鸿翔译. 北京: 化学工业出版社, 1987.
- [2] 全国弹簧标准化技术委员会编. 中国机械工业标准汇编·弹簧卷. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [3] 张英会, 刘辉航, 王德成主编. 弹簧手册. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [4] 辛一行主编. 现代机械设备设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [5] 郑国伟主编. 机修手册. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [6] 徐灏主编. 新编机械设计师手册. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [7] 航空制造工程手册总编委主编. 航空制造工程手册. 北京: 航空工业出版社, 1994.
- [8] 朱炎. 引导伞圆锥形弹簧的计算方法. 厦门: 第二届全国航空安全救生学术讨论会, 1984.
- [9] 朱琪. 等螺旋升角截锥形弹簧的计算机辅助设计. 无锡: 第八届全国弹簧学术会, 2000.
- [10] [日本] ばね技术研究会编. ばね. 第三版. 东京: 丸善株式会社, 1982.