



# 广东工业大学

## 精密机械与仪器设计课程设计 ——弹簧管压力表设计

课程名称	精密机械与仪器设计课程设计
学 院	机电工程学院
专业班级	测控技术与仪器 1 班
学 号	3122000234
姓 名	袁汉阔
联系方式	17811426448
任课教师	姬靖

2024 年 6 月 28 日

# 目录

<b>1</b>	<b>设计要求</b>	<b>1</b>
1.1	测量范围	1
1.2	精度等级	1
1.3	外形尺寸	1
1.4	标尺特性	2
<b>2</b>	<b>方案论证</b>	<b>3</b>
2.1	结构概述	3
2.1.1	灵敏元件	3
2.1.2	传动放大机构	3
2.1.3	示数装置	3
2.1.4	辅助装置	3
2.2	原理分析	3
<b>3</b>	<b>参数选择</b>	<b>5</b>
3.1	弹簧管	5
3.2	曲柄滑块机构	5
3.3	齿轮传动参数的选择	5
3.4	标尺指针参数选择	6
3.5	游丝的选择	6
<b>4</b>	<b>参数计算</b>	<b>7</b>
4.1	弹簧管有关参数的确定	7
4.1.1	弹簧管外型参数的确定	7
4.1.2	弹簧管末端位移的确定	7
4.2	曲柄滑块机构参数的确定	9
4.3	齿轮传动机构有关参数的确定	9
4.4	压力表原理误差分析	10
4.5	游丝应力校核	11
4.6	游丝系数确定	11
<b>5</b>	<b>设计总结</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>标准化统计</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>公式来源</b>	<b>14</b>
	<b>参考文献</b>	<b>15</b>

# 1 设计要求

设计普通型弹簧压力表，其技术要求为：

## 1.1 测量范围

测量下限制为 0，测量上限制为：0.4。单位为 MPa( $\approx 10\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

## 1.2 精度等级

精度等级：1.5 级

## 1.3 外形尺寸

外形尺寸如图 1.1所示：

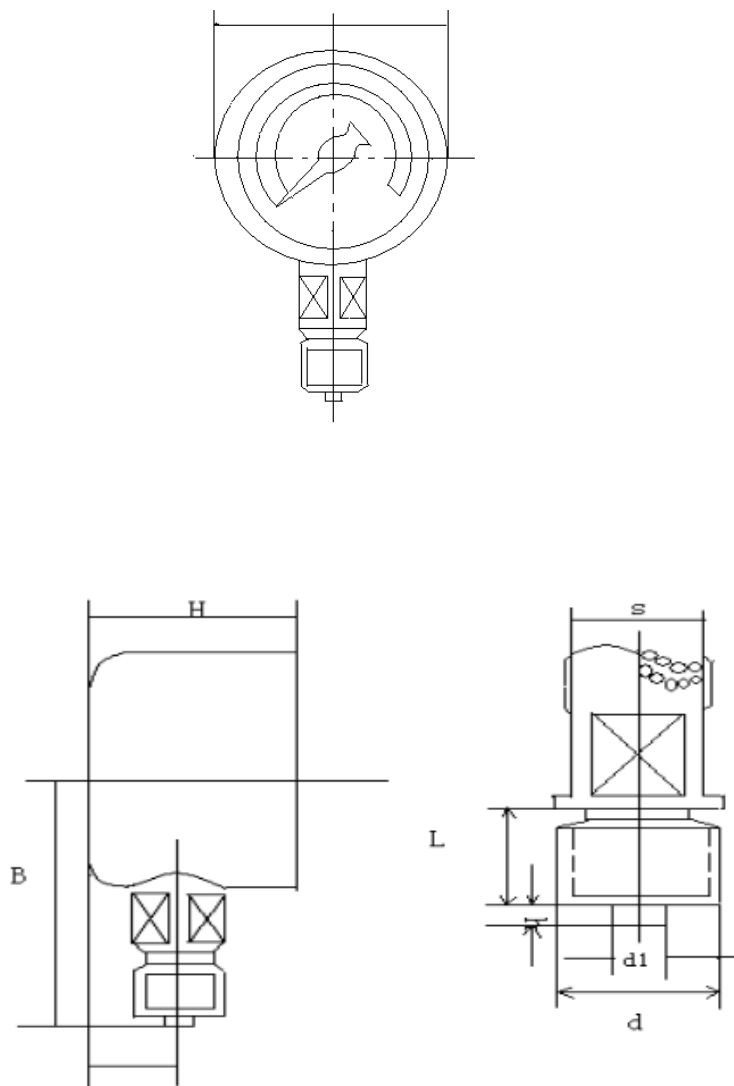


图 1.1 表壳外形尺寸

接头位置为径向；表壳无边；表壳公称直径  $D=100mm$ ； $H\leq 60mm$ ，

$B\leq 100mm, a = M20\times 1.5, S = 17_{-0.28}^{\circ}, L = 20_{\pm 0.52}, h = 5_{\pm 0.30}, d_1 = 6_{-0.30}$

1.4 标尺特性

等分分度；标度角： $270^{\circ}$ ；

表 1.1 测量上限值与最小分度值的关系

测量上限值	0.06	0.1	0.16	0.25	0.4	0.6
测量下限值	0.001	0.002	0.005	0.005	0.01	0.01
测量上限值	1	1.6	2.5	4	0.6	
测量下限值	0.02	0.05	0.05	0.1	0.1	

由表 1.1，由于我们设计的压力表量程上限为  $0.4MPa$ ，所以选择最小分度值为  $0.01MPa$ ，所以，分度数是 40，分度尺寸是  $6.75^{\circ}$ ，表盘设计如图 1.2所示。



图 1.2 表盘设计示意图

## 2 方案论证

### 2.1 结构概述

弹簧管压力表是一种用来测量气体压力的仪表。  
压力表的组成：

- 灵敏部分（弹簧管）
- 传动放大部分（曲柄滑块、齿轮机构）
- 示数部分（指针、刻度盘）
- 辅助部分（游丝）

#### 2.1.1 灵敏元件

将不便测量的物理量转换成易于直接比较的物理量，本设计将弹簧管作为灵敏元件，将不易于比较的压力转换为易于测量的位移。

#### 2.1.2 传动放大机构

本设计由曲柄滑块机构和齿轮传动机构组成。目的在于传递或放大位移，改变位移性质和得到等分刻度，并且应具有一定的补偿特性，同时仪表有较好的线性特性。

#### 2.1.3 示数装置

其作用是在接受传动放大机构的位移后，指示出待测量的数值。本设计采用指针指示标尺刻度。

#### 2.1.4 辅助装置

其作用是保持仪表传动系统单向接触，消除空回，消除齿轮、铰销产生的回差。

### 2.2 原理分析

作为灵敏元件的弹簧管可以把气体压力转变为管末端的位移，通过曲柄滑块机构将此位移转变为曲柄的转角，然后通过齿轮机构将曲柄转角放大，带动指针偏转，从而指示压力的大小。将转角放大便于测量，可以提高测量精度。压力表工作原理和框图如图 2.1和图 2.2所示。

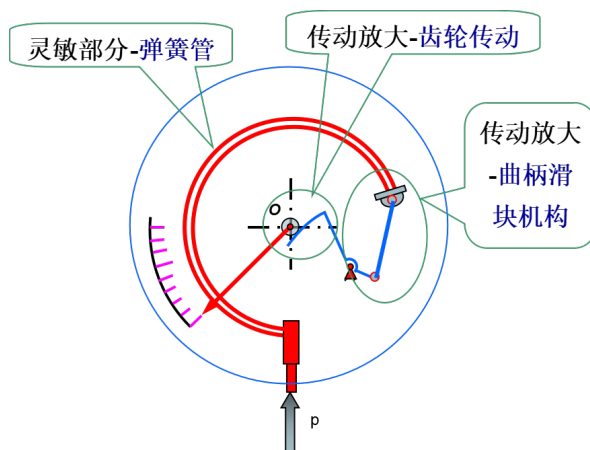


图 2.1 压力表工作原理

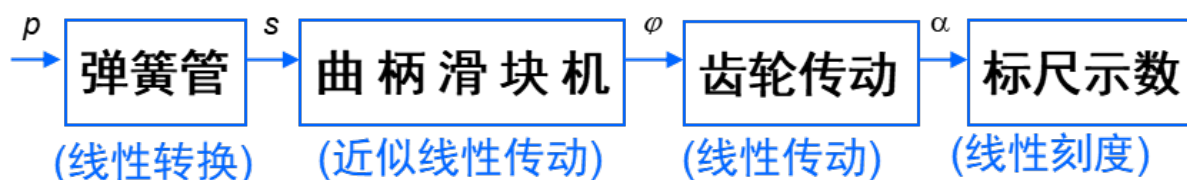


图 2.2 压力表工作原理框图

弹簧管的压力 - 位移是线性关系，但弹簧管本身的工艺问题（如材料、加工等）会造成一些线性误差，弹簧管形状的不直、不均匀也会导致非线性误差。曲柄滑块机构可以补偿弹簧管的线性及非线性误差。从  $0 \sim 0.4 \text{ Mpa}$  调整满足满刻度精度为线性误差调整，中间部分不均匀调整为非线性误差调整。

### 3 参数选择

#### 3.1 弹簧管

毛坯外径

$$\phi = 15mm$$

毛坯中径

$$R = 50mm$$

壁厚

$$h = 0.3mm$$

轴比

$$a/b = 4$$

中心角

$$\gamma' = 265^\circ$$

材料

锡磷青铜 (QSn4-0.3)

泊松比

$$\mu = 0.3$$

弹性模量 E

$$1.127 \times 10^5 MPa$$

如图 3.1所示:

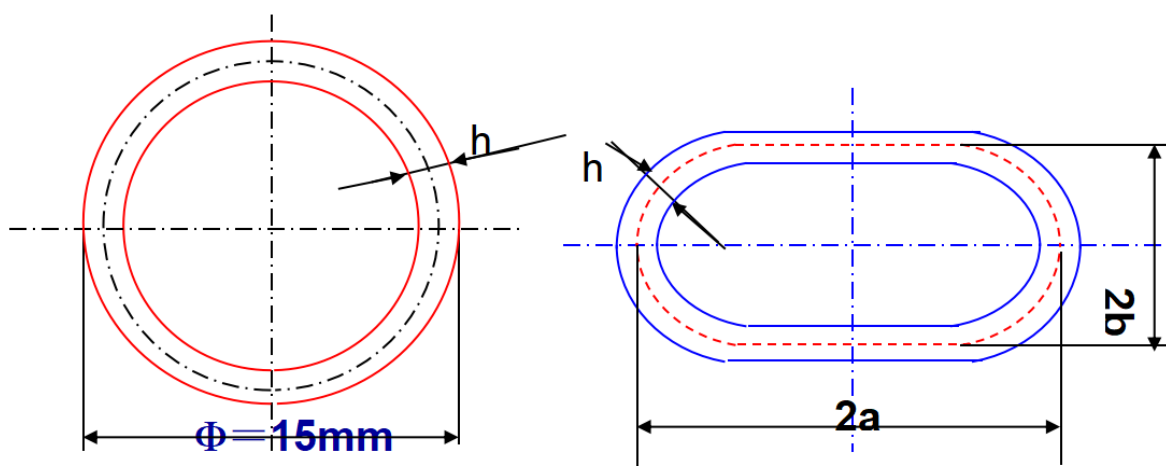


图 3.1 弹簧管尺寸示意图

#### 3.2 曲柄滑块机构

相对杆长:  $\lambda = 4$

相对轴偏量:  $\varepsilon = 1$

转动范围角:  $\alpha_p = 50^\circ$

初始位置角:  $\alpha_0 = -25^\circ$

终止位置角:  $\alpha_k = 25^\circ$

#### 3.3 齿轮传动参数的选择

模数:  $m = 0.7$

传动比:  $i_{21} = 5.4$

### 3.4 标尺指针参数选择

分度尺寸:  $6.75^\circ$

长标线长度: 4mm

指针形状: 楔杆形

短标线长度: 2mm

指针与短标线重合长度: 2mm

指针末端宽度: 0.5mm

### 3.5 游丝的选择

外径:  $D_1 = 35mm$

圈数:  $n = 9$

宽厚比:  $\eta = 6$

当量摩擦系数:  $f_v = 0.314$

内径:  $D_2 = 6mm$

最小工作角度:  $\phi_{min} = \pi/2$

最大工作角度:  $\phi_{max} = 2\pi$

摩擦系数:  $f = 0.2$



## 4 参数计算

### 4.1 弹簧管有关参数的确定

#### 4.1.1 弹簧管外型参数的确定

单位:(mm)

项目	公式依据	计算结果
$x(2b = x, 2a = 4x)$	$\pi(\phi - h) = \pi x + 2(4x - x)$	5.050
短轴中径 $2b$	$2b = x$	5.050
长轴中径 $2a$	$2a = 4x$	20.200
短轴 $2B$	$2B = 2b + h$	5.350
长轴 $2A$	$2A = 2a + h$	20.500

#### 4.1.2 弹簧管末端位移的确定

项目	公式依据	计算结果
$\frac{\gamma - \gamma'}{\gamma}$	(1) $\frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} = p \frac{1 - \mu^2}{E} \frac{R^2 C_1}{bh[C_2 + (\frac{Rh}{a^2})^2]} (1 - \frac{b^2}{a^2})$	$3.06 \times 10^{-2}$
径向位移 $S_r$	(2) $S_r = \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} R(1 - \cos\gamma)$	2.050mm
切向位移 $S_t$	(3) $S_t = \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} R(\gamma - \sin\gamma)$	8.150mm
总位移 $S$	(4) $S = \sqrt{S_r^2 + S_t^2}$	8.407mm
位移方向角 $\phi$	(5) $\phi = \arctan \frac{S_r}{S_t}$	$14.210^\circ$

附：查表  $C_1 = 0.437, C_2 = 0.121, \gamma = 250^\circ$

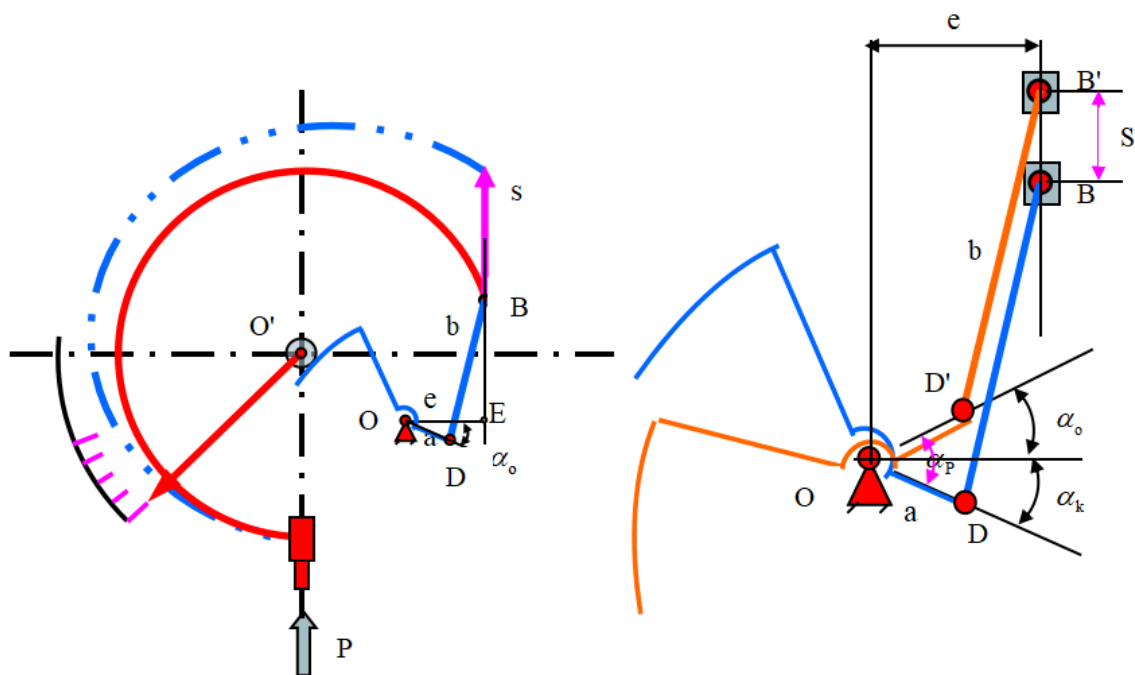


图 4.1 曲柄滑块结构简图

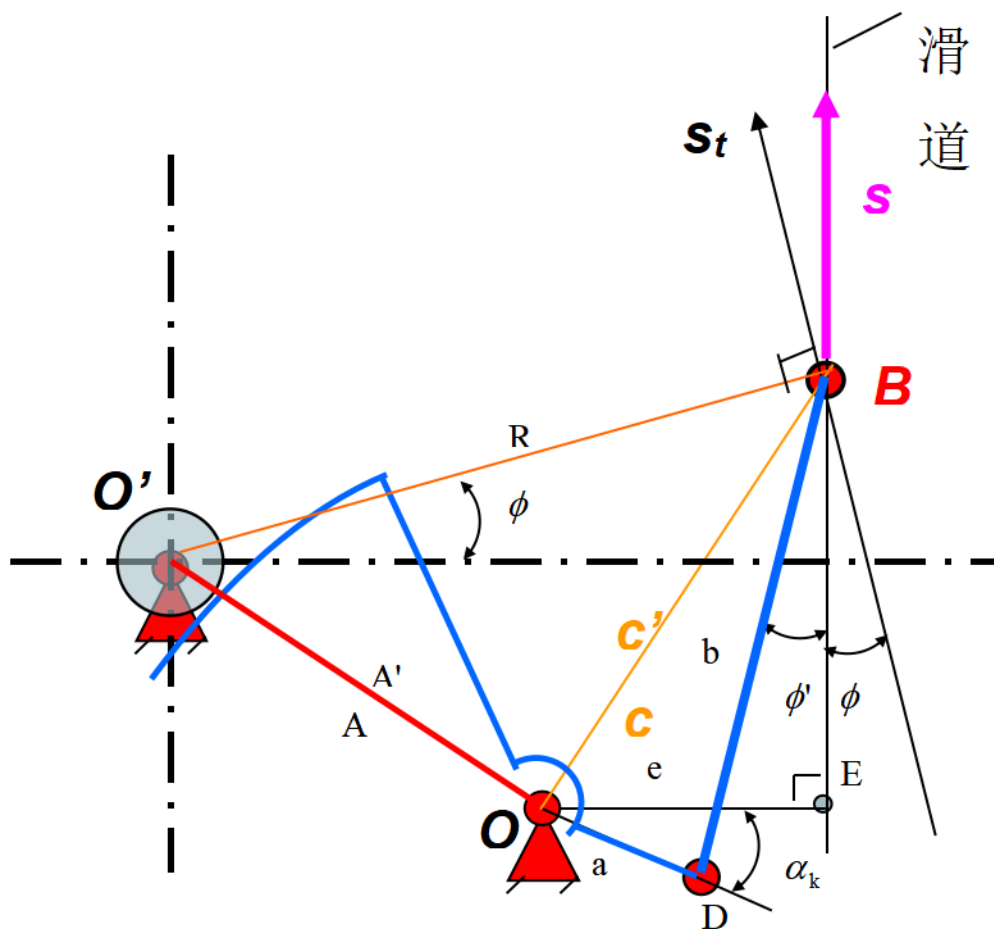


图 4.2 中心距计算图

## 4.2 曲柄滑块机构参数的确定

项目	公式依据	计算结果
曲柄长度 $a$	$a = \frac{s}{(\sin \alpha_k - \sin \alpha_o) + \sqrt{\lambda^2 - (\cos \alpha_o - \varepsilon)^2} - \sqrt{\lambda^2 - (\cos \alpha_k - \varepsilon)^2}}$	9.935mm
连杆初算值 $b'$	$b' = a\lambda$	38.672mm
偏移距 $e$	$e = a\varepsilon$	9.944mm
连杆初始位与滑块运动夹角 $\phi'$	$\phi' = \arcsin \frac{a \cos \alpha_k - e}{b'}$	1.352°
$\angle ODB$	$\angle ODB = 90^\circ - \alpha_k + \phi'$	66.352°
$c'$	$c' = \sqrt{a^2 + (b')^2 - 2ab' \cos \alpha_5}$	36.910mm
$\angle O'BO$	$\angle O'BO = 90^\circ - \phi - \sin^{-1} \frac{e}{c'}$	60.194°
理论中心距 $A'$	$A' = \sqrt{R^2 + (c')^2 - 2Rc' \cos \alpha_7}$	45.013mm
实际中心距 $A$	(6) $A = \frac{mz_2}{2}(i_{21} + 1)$	44.7mm
$\angle BO'O$	$\angle BO'O = \arccos \frac{R \cos \phi - e}{A} + \phi$	44.871°
修正后 $c$	$c = \sqrt{A^2 + R^2 - 2AR \cos \alpha_9}$	36.497mm
修正后 $b$	$b = \sqrt{a^2 + c^2 - 2ac \cos(\alpha_o + \alpha_7 + \phi)}$	39.331mm
扇形角 $V_{\text{齿}}$	$V_{\text{齿}} = \alpha_p(1 + 25\%) + 2 \text{ 个齿的度数}$	99.212°

## 4.3 齿轮传动机构有关参数的确定

选定标准中心距  $A$ , 由验算得  $m = 0.7$ ,  $Z_2 = 20$  时  $A'$  和  $A$  最接近, 因为  $Z_1 = Z_2 \cdot i_{21} = \text{整数}$ ,  $Z_1$  不是整数无法加工。

式子	计算结果
$i_{21} = 5.4$ $A = mZ_2(1 + i_{21})/2$	$A = 44.7mm$
$Z_1 = Z_2 \cdot i_{21}$	$Z_1 = 108$
设定所用齿轮为标准齿轮， 用所学知识可得到右侧结果	$d_{a1} = 15.5mm$
	$d_{a2} = 77.1mm$
	$d_1 = 14.0mm$
	$d_2 = 75.7mm$
	$d_{f1} = 12.35mm$
	$d_{f2} = 73.86mm$

#### 4.4 压力表原理误差分析

$$S_n = \frac{\alpha_n - \alpha_o}{\alpha_k - \alpha_o} S \quad (4.1)$$

$$(7) \quad S'_n = a(\sin \alpha_n - \sin \alpha_o) + a\sqrt{\lambda^2 - (\cos \alpha_o - \varepsilon)^2} - a\sqrt{\lambda^2 - (\cos \alpha_n - \varepsilon)^2} \quad (4.2)$$

$\alpha_n$	理想值 $S_n$	实际值 $S'_n$	原理误差绝对值 $ S_n - S'_n $	原理误差相对值 $ S_n - S'_n /S_n$
$9^\circ$	3.1507	3.1489	0.0001	0.003%
$7^\circ$	2.8179	2.8408	0.0019	0.06%
$5^\circ$	2.4468	2.4562	0.0014	0.076%
$3^\circ$	2.1147	2.1155	0.0018	0.1011%
$1^\circ$	1.7476	1.7462	0.0006	0.0483%
$-1^\circ$	1.4154	1.4166	0.0008	0.0461%
$-3^\circ$	1.0443	1.0443	0.0020	0.1728%
$-5^\circ$	0.7172	0.6886	0.0026	0.3526%
$-7^\circ$	0.3631	0.3580	0.0021	0.5761%
$-9^\circ$	0.0000	0.0000	0.0000	0%

$$\Delta = \frac{|S_n - S'_n|}{S_{max}} \times 100\% < 1.5\%, \text{ 合格。}$$

#### 4.5 游丝应力校核

项目		公式依据	计算结果
$P_1$		$P_1 = m_{\text{轴}} + m_{\text{帽}} + m_{\text{游丝}} + m_{\text{指针}}, m = \rho v g$	$0.066 N$
$P_2$		$P_2 = m_{\text{扇形齿轮}} + m_{\text{齿轮中心轴}}$	$0.054 N$
竖 直 放	$M f_{z1}$	$M f_{z1} = \frac{1}{2} f_v P_1 d, f_v = 0.2, f = 0.314$	$1.97 \times 10^{-5} N m$
	$M f_{z2}$	$M f_{z2} = \frac{1}{2} f_v P_2 d$	$1.77 \times 10^{-5} N m$
	$M f_z$	$M f_z = M f_{z1} + M f_{z2} \frac{1}{i} \frac{1}{\eta} (\eta = 0.9)$	$31.29 \times 10^{-5} N m$
水 平 放	$M f_{z1}$	$M f_{z1} = \frac{1}{3} P_1 f \frac{d_1^3 - d_2^3}{d_1^2 - d_2^2}, d_1 = 1.1 d_2, f = 0.2$	$1.33 \times 10^{-5} N m$
	$M f_{z2}$	$M f_{z2} = \frac{1}{3} P_2 f \frac{d_1^3 - d_2^3}{d_1^2 - d_2^2}$	$1.18 \times 10^{-5} N m$
	$M f_z$	$M f_z = M f_{z1} + M f_{z2} \frac{1}{i_{\text{齿}21}} \frac{1}{\eta_{21}}$	$2.21 \times 10^{-5} N m$
$\max(M f_z)$		$\max(M f_{z \text{ 竖直}}, M f_{z \text{ 水平}})$	$31.27 \times 10^{-5} N m$
$M_{\min}$		(8) $M_{\min} = \frac{k M f_z}{1 - k \xi}, k = 2.5, \xi = 0.1$	$103 \times 10^{-5} N m$
$M_{\max}$		$M_{\max} = M_{\min} \frac{\phi_{\max}}{\phi_{\min}} = 4 M_{\min}$	$412 \times 10^{-5} N m$
初定游丝长 $L$		(9) $L = \pi n \frac{D_1 + D_2}{2}$	$579.7 \text{ mm}$
初定游丝厚 $h$		(10) $h = \sqrt[4]{\frac{12 L M_{\min}}{\mu E \phi_{\min}}}, E = 1.1 \times 10^5 \text{ MPa}$	$0.27 \text{ mm}$
初定游丝宽 $b$		(11) $b = \mu h$	$1.7 \text{ mm}$
最大应力 $\sigma_{\max}$		(12) $\sigma_{\max} = \frac{6 M_{\max}}{b h^2}$	$185 \text{ MPa}$
许用应力 $[\sigma_b]$		$[\sigma_b] = \frac{\sigma_b}{s}, s = 3.2, \sigma_b = 640 \text{ MPa}$	$200 \text{ MPa}$

结论：因为  $\sigma_{\max} < [\sigma_b]$ ，因此各参数选择计算合理。

#### 4.6 游丝系数确定

项目	公式依据	计算结果
游丝长度 $L$	(13) $L = \frac{E b h^3 \phi_{\min}}{12 M_{\min}}$	$579.7 \text{ mm}$
游丝圈数 $n$	(14) $n = \frac{2L}{\pi(D_1 + D_2)}$	$9$
圈间距 $a$	(15) $a = \frac{D_1 - D_2}{2n}$	$1.6 \text{ mm}$
游丝个数 $k$	(16) $k = \frac{a}{h} (k \geq 3)$	$4 \text{ 个}$

## 5 设计总结

压力计作为一种普遍应用于工业领域的工具，专门用于测定气体的压力，其在工业制造中的重要性不容小觑。在真实的生产场景下，对压力计的性能标准极为严苛，强调高精确度、高灵敏度以及高度的安全可靠。此外，鉴于不同的工作需求和环境挑战，压力计还需满足一系列特定要求，比如能够承受高温、抵抗振动、防止湿气侵入及防尘等。

本项目的目标聚焦于一款适用于常规工业环境的气体压力测量设备。我们提出的解决方案采用的是弹簧管式压力表，这种选择得益于其诸多优势：高度的灵敏性、成本效率、简约的构造、平滑稳定的传动机制，以及便于加工制造和广泛适用性。通过全面的设计与计算验证，可以确认该设计方案已基本满足既定的设计标准，圆满实现了预定的设计目标。

此外，本设计亦非无瑕，它未具体限定使用环境及待测气体类型，忽视了一些因素可能对压力表性能产生的影响。更进一步，环境因素如温湿度变化，以及气体本身对压力表材料的潜在腐蚀作用，都可能是导致测量精度下降的不可忽视的因素。

在过去两周的课程项目期间，我成功地将机械部件知识与制图技能融为一体，这一整合不仅增强了我的综合素养，还提升了独立作业的能力。同时，我借此机会初探了机械仪表的设计窍门，并在此过程中逐步建立了正确且全面的设计理念。

在整个工作推进中，我有幸得到了指导教师与同学们的大力协助与宝贵支持，对此，我衷心地表示感谢。

## 6 标准化统计

国标代号	零件名称	数量	材料
GB65-02	螺钉 M2	3	H62
GB65-02	螺钉 M3	4	H62
GB948-02	螺钉 M5	4	HPb59-1
GB97-02	垫圈 2	4	GB97-02
GB97-02	垫圈 3	1	GB97-02
GB117-02	圆柱销	1	HPb59-1Y

- 标准件总数：17
- 零件总数：45
- 标准化率：37.7%

## 7 公式来源

附表：

公式代号	参考书名称	页数
(1)	《精密机械零件》 天津大学 庞振基, 傅雄刚主编	$P_{45}$ 2-51
(2)		$P_{46}$ 2-52
(3)		$P_{46}$ 2-53
(4)		$P_{46}$ 2-54
(5)		$P_{46}$ 2-55
(6)	《精密机械设计》 庞振基, 黄其圣主编	$P_{222}$ 8-94
(7)		$P_{90}$ 5-12
(8)	《仪表零件及机构》	$P_{177}$ 7-44
(9)	《精密机械设计》 庞振基, 黄其圣主编	$P_{347}$ 13-22
(10)		$P_{347}$ 13-24
(11)		$P_{347}$ 13-25
(12)		$P_{347}$ 13-26
(13)		$P_{346}$ 13-21
(14)		$P_{347}$ 13-22
(15)		$P_{348}$ 13-27
(16)		$P_{348}$ 13-28



## 参考文献

- [1] 主编庞振基, 黄其圣. 《精密机械设计基础》.
- [2] 主编庞振基, 傅雄刚. 《精密机械零件》.
- [3] 主编陈文贤. 《仪器仪表结构设计图册》. 哈尔滨工业大学出版社.
- [4] 主编成大先. 《机械设计手册》. 化学工业出版社.