



# 廣東工業大學

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 27 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：

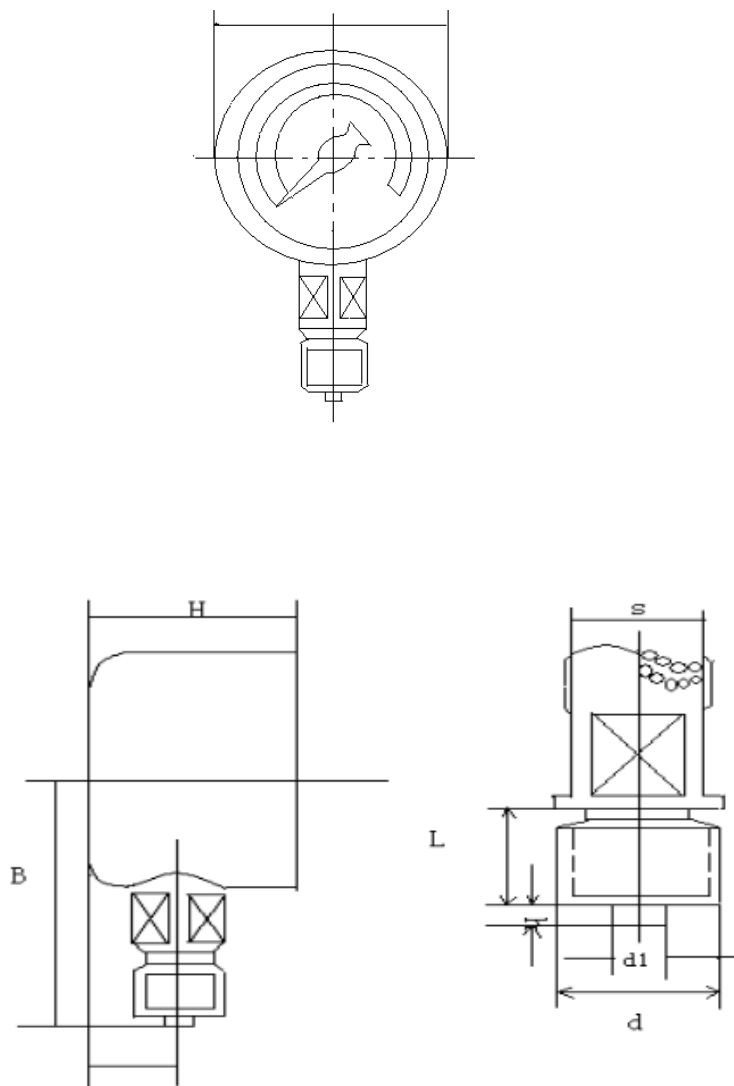


图 1.1 表壳外形尺寸

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。

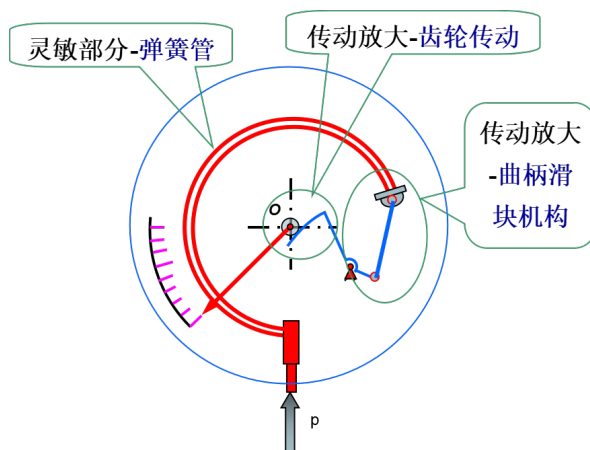


图 2.1 压力表工作原理

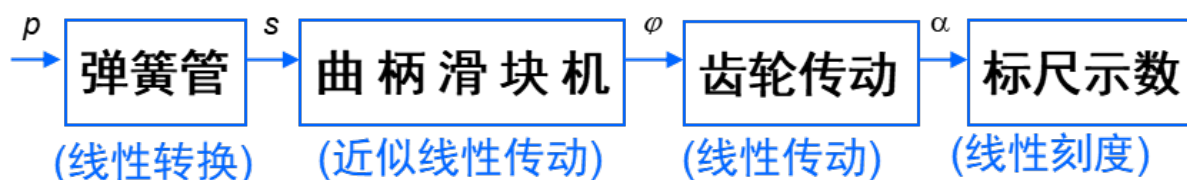


图 2.2 压力表工作原理框图

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：

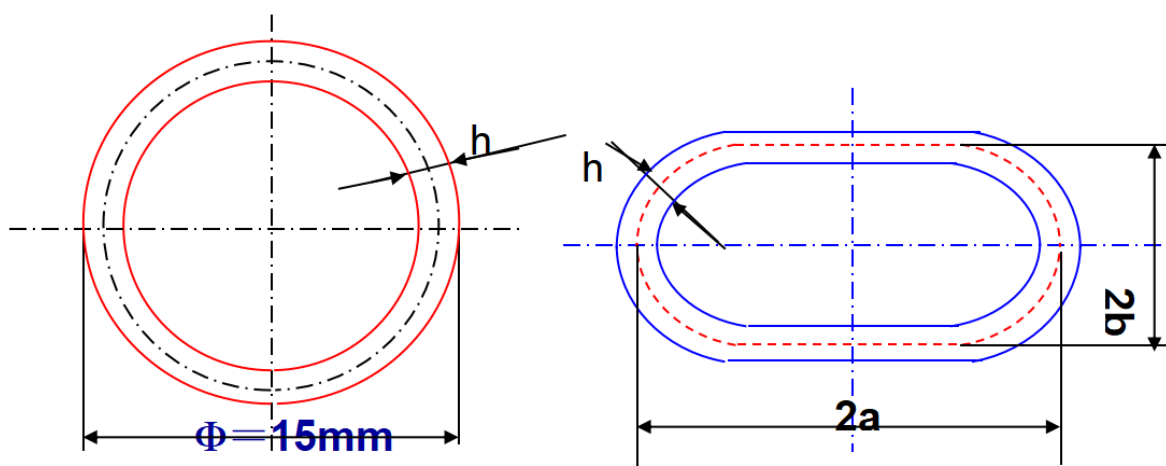


图 3.1 弹簧管尺寸示意图

#### 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  $C_1 = 0.437, C_2 = 0.121, \gamma = 250^\circ$

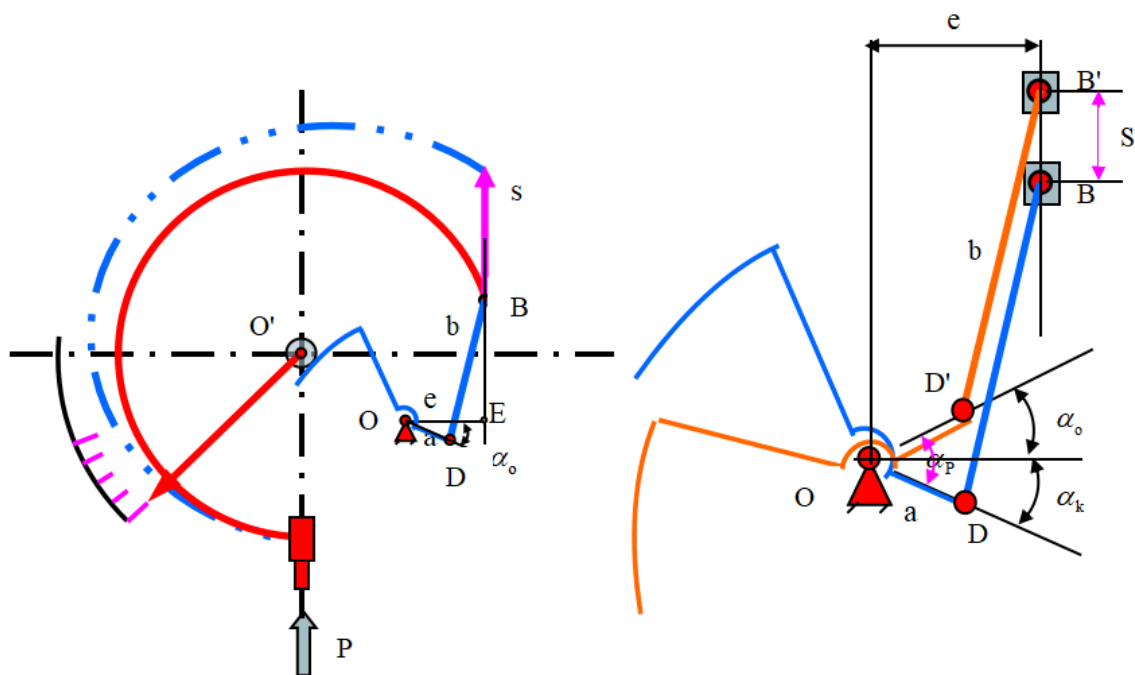


图 4.1 曲柄滑块结构简图

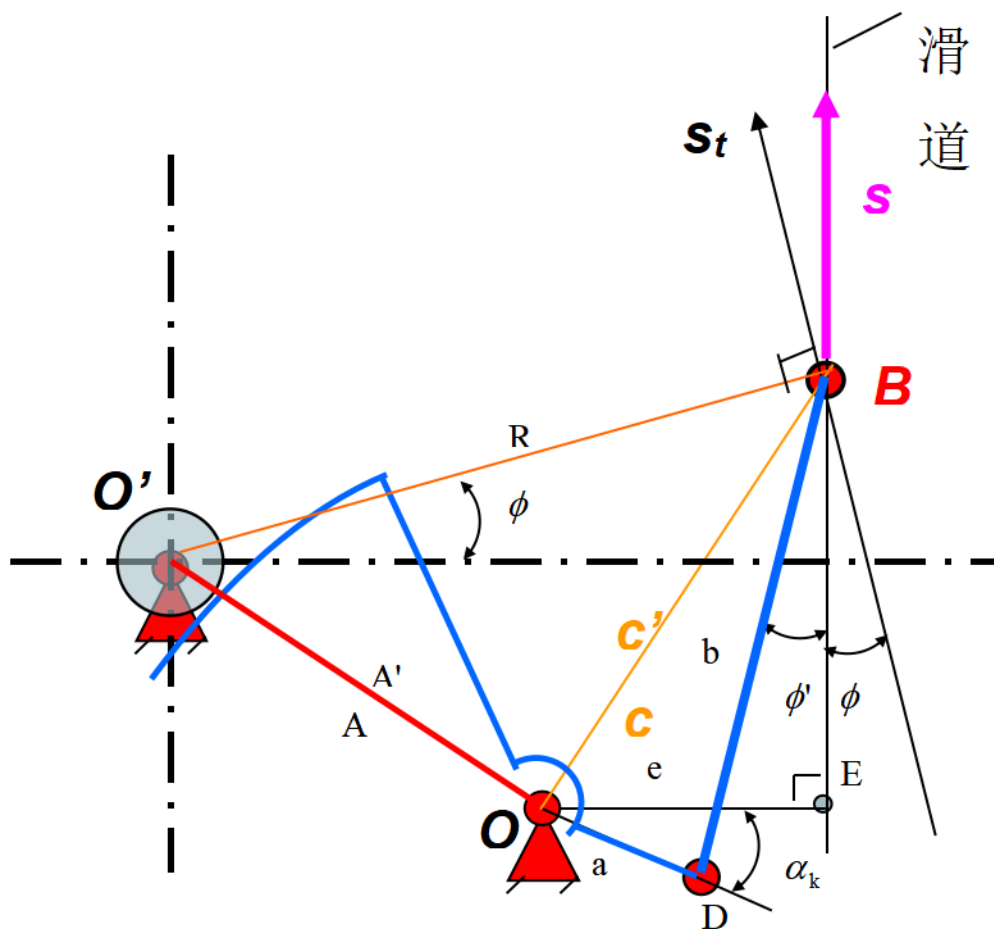


图 4.2 中心距计算图

## 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	$Mf_{z1}$	$Mf_{z1} = \frac{1}{2} f_v P_1 d, f_v = 0.2, f = 0.314$
	$Mf_{z2}$	$Mf_{z2} = \frac{1}{2} f_v P_2 d$
	$Mf_z$	$Mf_z = Mf_{z1} + Mf_{z2} \frac{1}{i} \frac{1}{\eta} (\eta = 0.9)$
水 平 放	$Mf_{z1}$	$Mf_{z1} = \frac{1}{3} P_1 f \frac{d_1^3 - d_2^3}{d_1^2 - d_2^2}, d_1 = 1.1 d_2, f = 0.2$
	$Mf_{z2}$	$Mf_{z2} = \frac{1}{3} P_2 f \frac{d_1^3 - d_2^3}{d_1^2 - d_2^2}$
	$Mf_z$	$Mf_z = Mf_{z1} + Mf_{z2} \frac{1}{i_{\text{齿}21}} \frac{1}{\eta_{21}}$
$\max(Mf_z)$	$\max(Mf_z \text{ 竖直}, Mf_z \text{ 水平})$	$31.27 \times 10^{-5} N m$
$M_{\min}$	(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) $n = \frac{2 L}{\pi (D_1 + D_2)}$	$9$
圈间距 $a$	(15) $a = \frac{D_1 - D_2}{2 n}$	$1.6 \text{ mm}$
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。

本项目的设计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，忽视了这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 my 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.