

# 压力表课程设计

# 主要内容

ξ1 压力表课程设计要求

ξ2 压力表设计计算

- 1、压力表概述
- 2、测量环节参数的选择与计算
- 3、游丝设计
- 4、零件尺寸的确定

ξ3 课程设计报告

ξ4 其它

# 目的

- 巩固、实践课堂讲过的知识

本课程设计的内容（任务）：

## 压力表的结构设计

本次课程设计就是把学过的知识应用到机械仪表的设计中，培养同学从整体上分析问题、解决问题的能力。并进一步加深对学过的知识的理解、巩固。

# 目的

- 掌握正确的设计思想。

通过课程设计使同学掌握仪表的设计思路。  
机械产品设计，一般其主要过程为：

（接受）设计任务—（拟定）设计方案—设计计算—绘制装配图—绘制零件图

设计过程中需注意以下内容：

- 1) 满足使用要求（功能、可靠性及精度要求）
- 2) 注意工艺性（结构合理、简单，经济性，外观要求）

# 目的

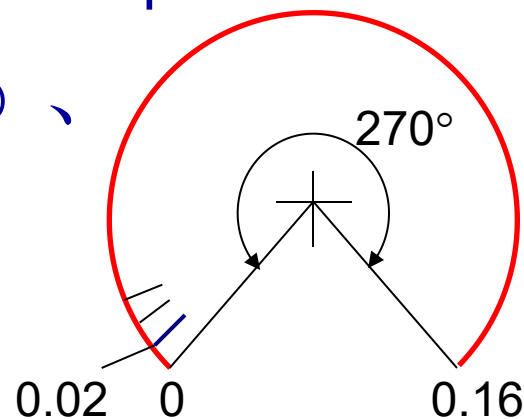
- 熟悉有关规范、标准、手册

设计中涉及到的零件材料、结构等，均需按照有关标准选择；零件的尺寸、公差等亦应符合相关标准；制图也要符合一定的规范。因此在课程设计过程中要求同学学习、掌握查阅标准及使用手册的能力。



# 压力表设计的技术要求

- 测量范围  $0 \sim 0.16\text{Mpa}$
- 外廓尺寸 外径 $<150\text{mm}$  高度 $<55\text{mm}$   
接口 $\text{M20} \times 1.5$ （普通螺纹、外径20、螺距1.5）
- 标尺 等分刻度（满程 $0.16\text{Mpa}$ ）  
标度角 $270^\circ$ 、分度数80（格）、  
分度值（ $0.02\text{Mpa}$ ）
- 精度 1.5级



# 压力表设计任务要求

- 设计说明书
- 两张相关零件图（3号或4号图）
- 压力表三维模型（Pro-E）、爆炸图





# 压力表概述

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（支承、轴、游丝）

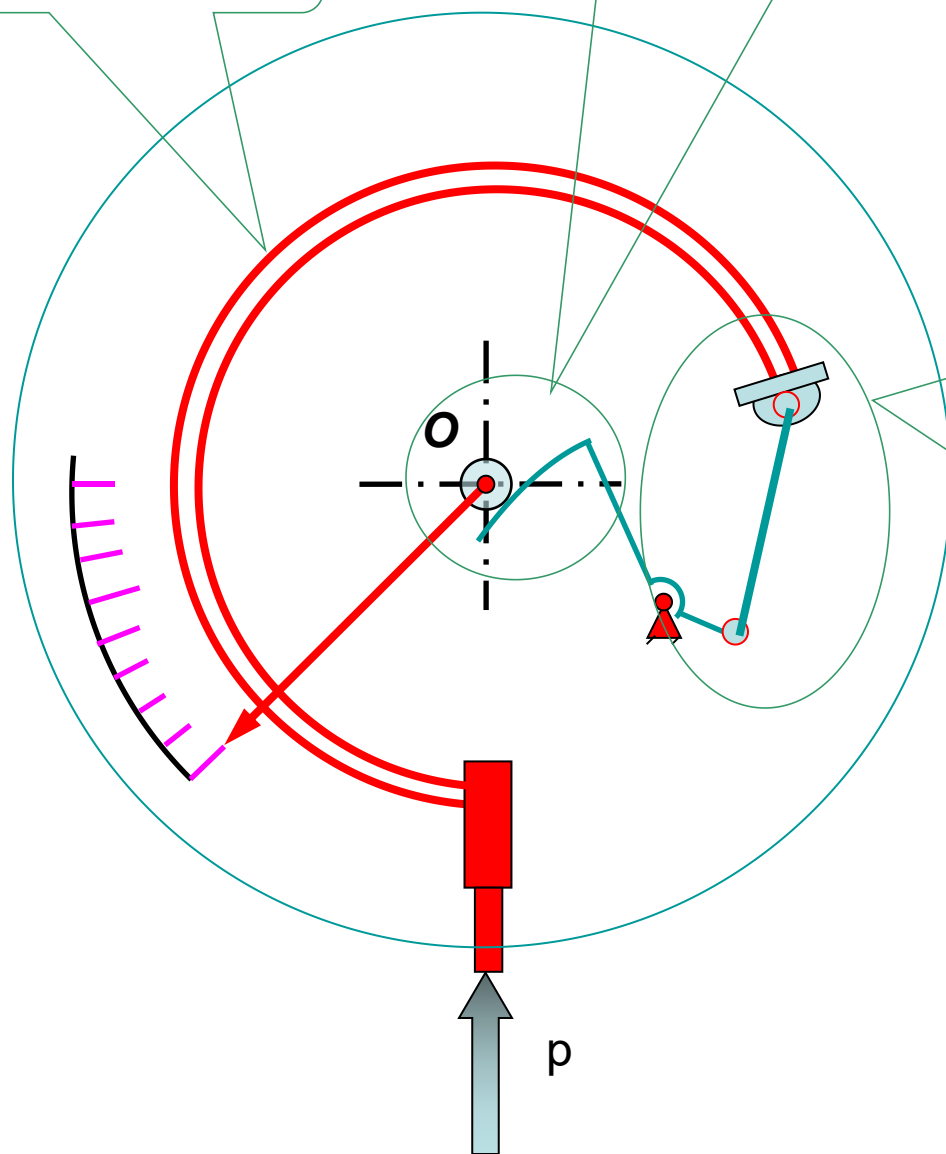
## 工作原理

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。

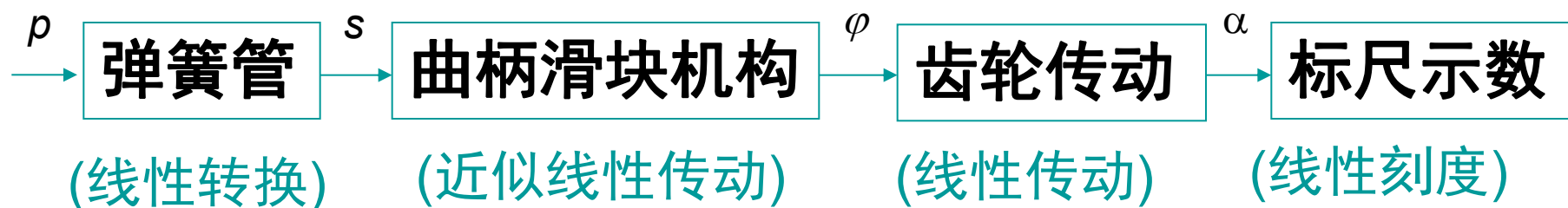
灵敏部分-弹簧管

传动放大-齿轮传动

传动放大-曲柄  
滑块机构



# 压力表工作原理框图



弹簧管的压力一位移是线性关系，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0~0.16Mpa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。

## 本次压力表课程设计的主要设计计算内容

- 1) 弹簧管：结构设计计算、末端位移计算
- 2) 曲柄滑块机构：结构设计计算
- 3) 齿轮传动结构：结构参数计算
- 4) 游丝：参数计算

# 测量环节参数的选择和计算

一、弹簧管设计计算

二、曲柄滑块机构设计计算

三、齿轮传动机构设计计算

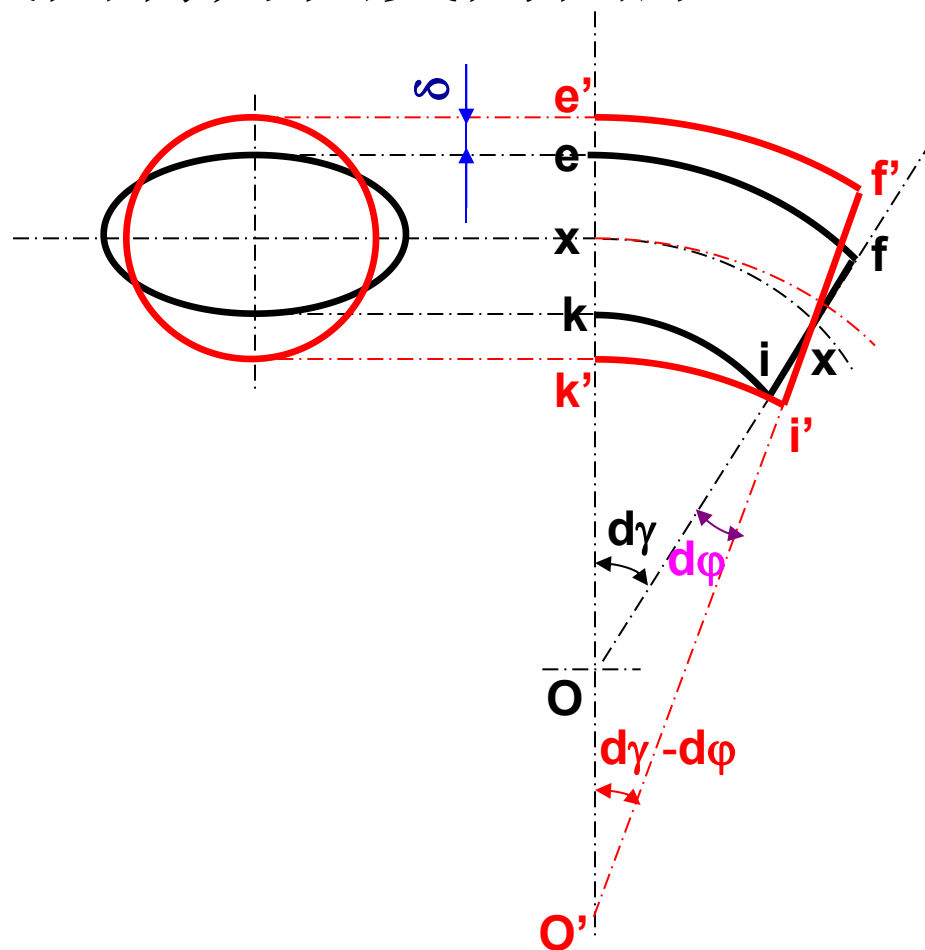
四、原理误差计算

# 弹簧管

- 原理（参阅教材p352）

弹簧管在内压力的作用下，任意非圆截面的弹簧管的截面将力图变为圆形。

从管子中截取中心角为 $d\gamma$ 的一小段。通入压力 $p$ 后，管截面力图变圆，中性层 $x-x$ 以外各层被拉伸（如 $ef \rightarrow e'f'$ ），以内各层被压缩（如 $ki \rightarrow k'i'$ ）。材料产生弹性恢复力矩，力图恢复各层原来长度，从而迫使截面产生旋转角 $d\phi$ ，使管子中心角减小，曲率半径增大。若管子一端固定，自由端便产生位移，直至弹性平衡为止。



10

# 末端位移计算

## 弹簧管

1) 弹簧管中心角变化与作用压力之间的关系

$$\frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} = p \frac{1 - \mu^2}{E} \frac{R^2 C_1}{bh \left( C_2 + \frac{R^2 h^2}{a^4} \right)} \left( 1 - \frac{b^2}{a^2} \right)$$

$\gamma$ 和 $\gamma'$ —弹簧管变形前、后的中心角

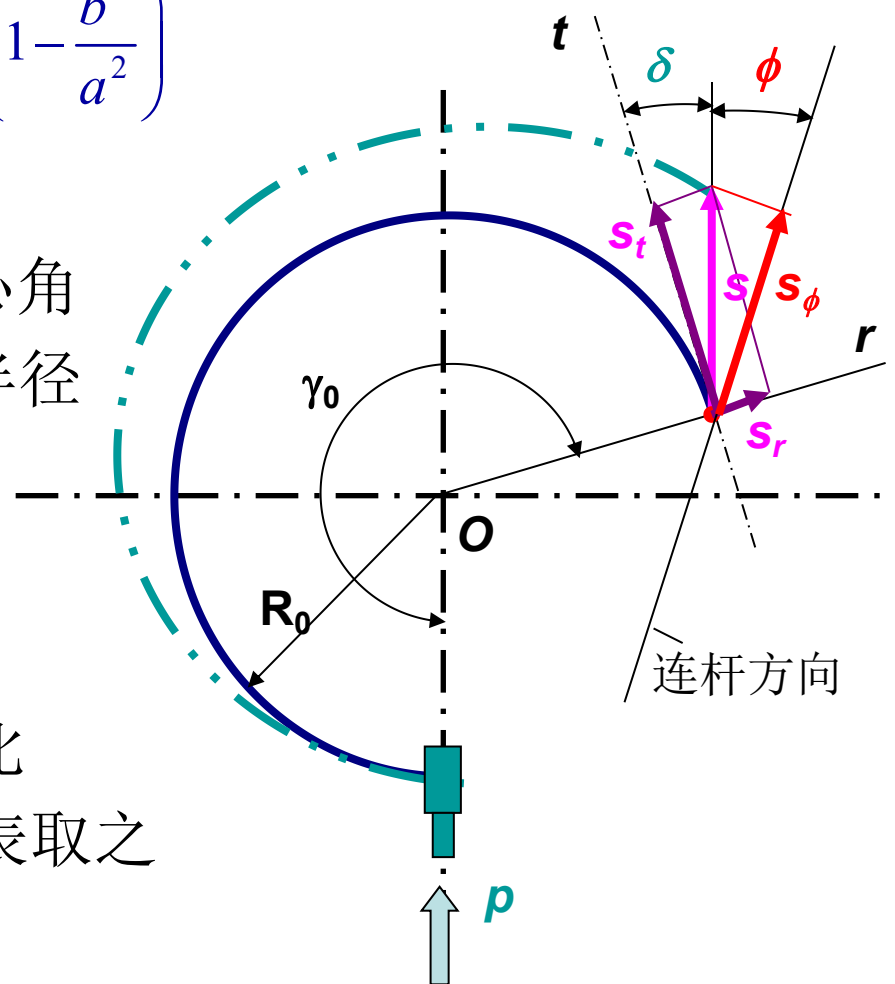
$R$ —弹簧管中性层初始曲率半径

$h$ —管壁厚度

$a$ 和 $b$ —横截面中性层长轴半径  
和短轴半径

$E$ 和 $\mu$ —材料的弹性模量和泊松比

$C_1$ 和 $C_2$ —与 $a/b$ 有关的系数，查表取之





# 弹簧管

2) 位移切向分量 $s_t$

$$s_t = \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} R(\gamma - \sin \gamma)$$

3) 位移径向（法向）分量 $s_r$

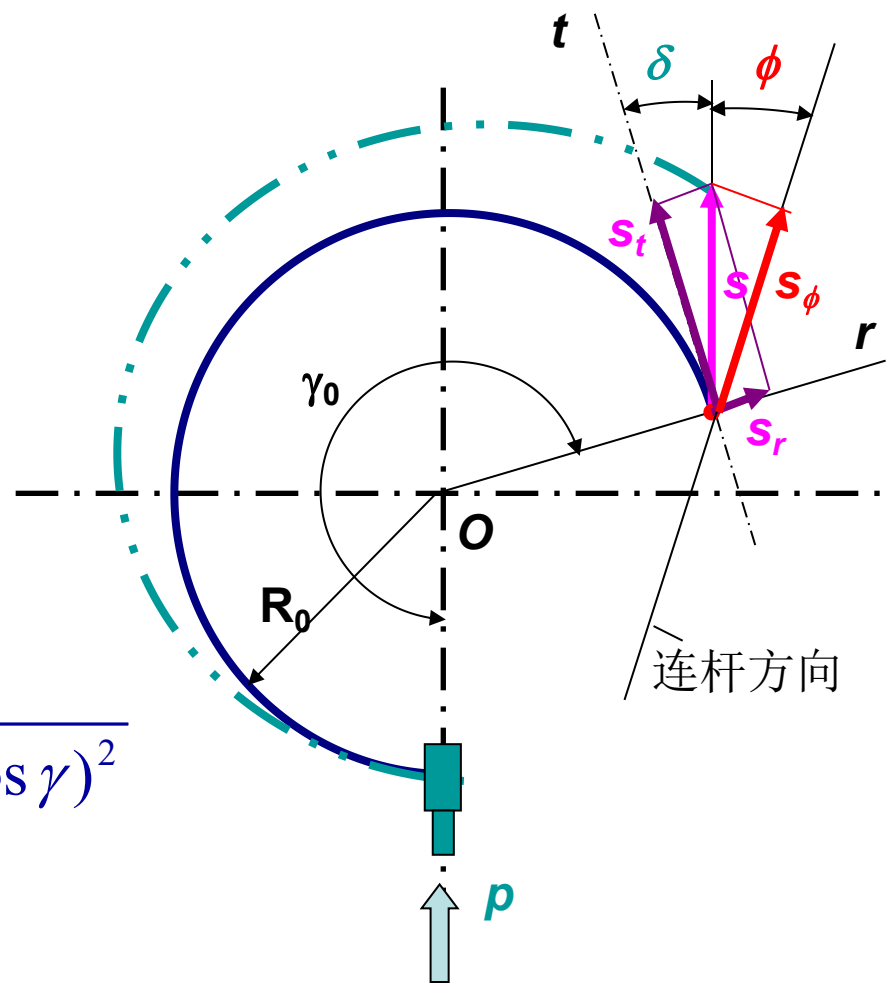
$$s_r = \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} R(1 - \cos \gamma)$$

4) 自由端位移 $s$

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{s_t^2 + s_r^2} \\ &= \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} R \sqrt{(\gamma - \sin \gamma)^2 + (1 - \cos \gamma)^2} \end{aligned}$$

5) 位移与切向分量夹角 $\delta$

$$\delta = \arctan \frac{s_r}{s_t}$$



## 10 弹簧管参数选择与计算

# 弹簧管

按照现有的弹簧产品规格，选定尺寸参数如下的弹簧管：

毛坯外径  $\Phi = 15\text{mm}$

中 径  $R = 50\text{mm}$

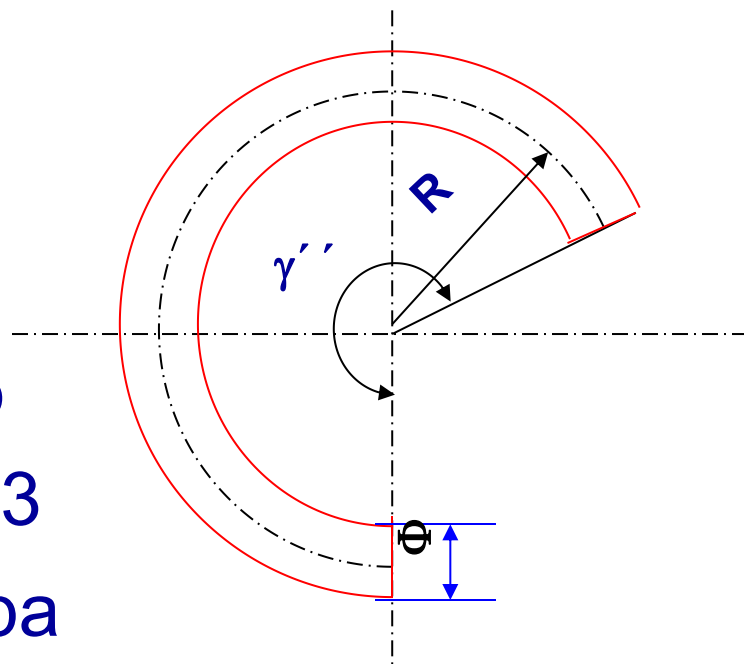
壁 厚  $h = 0.3\text{mm}$

中 心 角  $\gamma'' = 265^\circ$ （参考）

材 料 锡磷青铜Qsn4-0.3

$E = 1.127 \times 10^5 \text{Mpa}$

$\mu = 0.3$



## ⑩ 弹簧管参数选择与计算

# 弹簧管

1) 安全系数  $n$   $p_j / p_g = n$

$p_j$ : 比例极限压力     $p_g$ : 工作压力 (应小于  $p_j$ )

2) 弹簧管截面与轴比  $a/b$

已知毛坯:

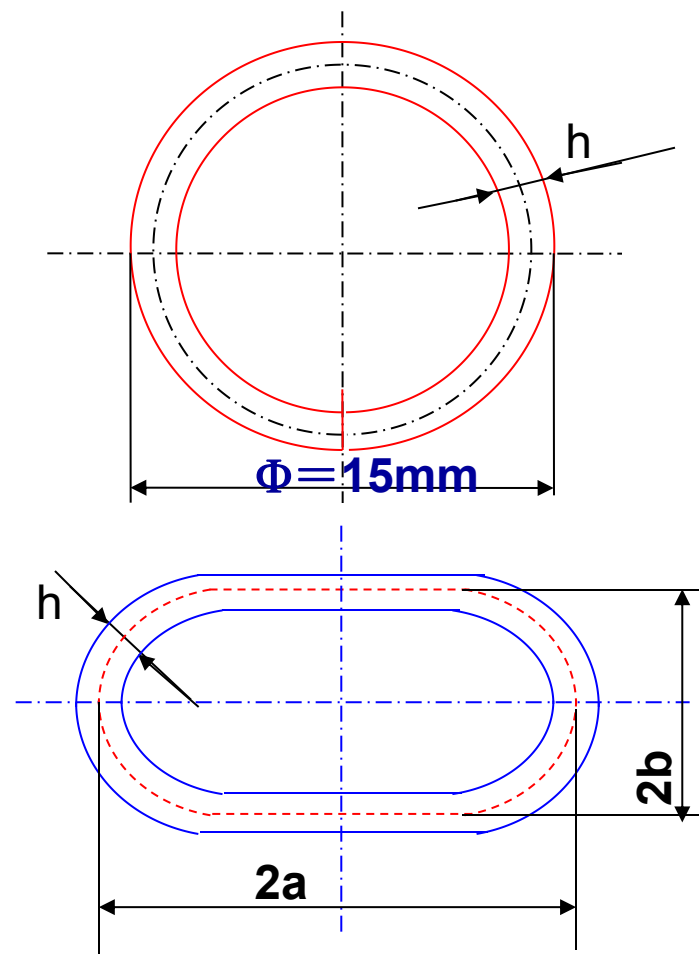
$$\Phi = 15\text{mm}, h = 0.3\text{mm}$$

选用扁圆形弹簧管,  $a = ?$   $b = ?$

$a/b \uparrow$ , 灵敏度  $\uparrow$ , 但  $p_j \downarrow$ ,

建议  $a/b = 4$

提示: 圆形毛坯压扁后  
中性层尺寸不变;



# 弹簧管

3) 中心角 $\gamma$

设  $\Delta = \sqrt{(\gamma - \sin \gamma)^2 + (1 - \cos \gamma)^2}$  则  $s = \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} \cdot R \cdot \Delta$

有  $\gamma \uparrow \rightarrow \Delta \uparrow \rightarrow s \uparrow$

通常取  $\gamma = 200^\circ \sim 270^\circ$ 。

建议：

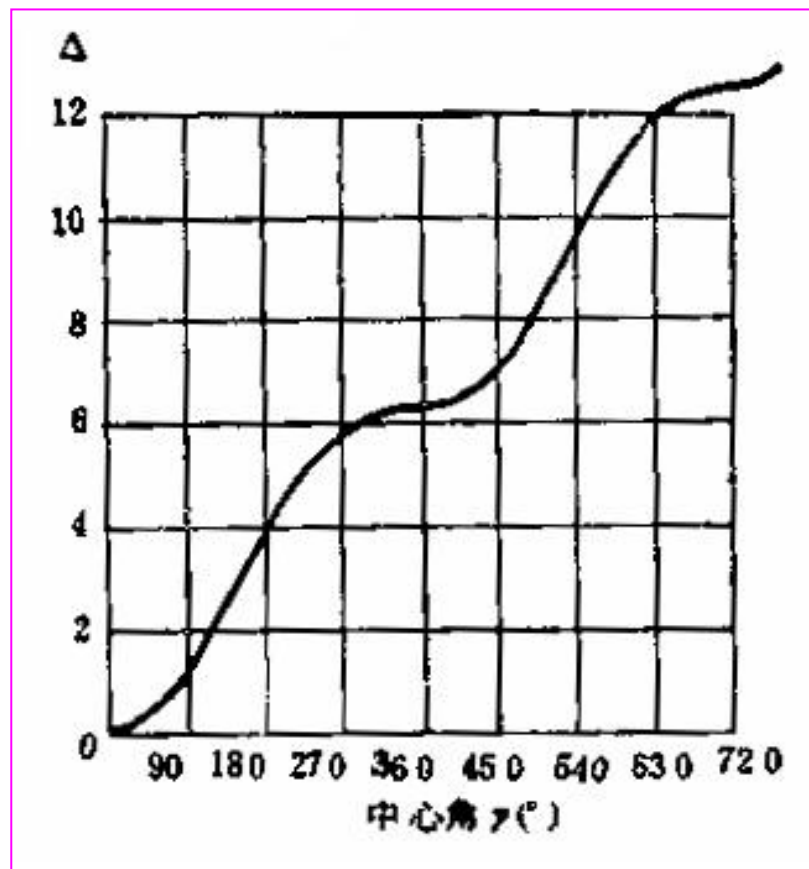
（结构中心角）  $\gamma'' = 265^\circ$

另 插入接口  $10^\circ \sim 15^\circ$

自由端压扁  $4^\circ \sim 6^\circ$

则实际参加变形的中心角：

$$\gamma = \gamma'' - 10^\circ - 5^\circ = 250^\circ$$



# 弹簧管

4) 弹簧管中径  $R=50\text{mm}$

5) 材料 锡磷青铜Qsn4-0.3

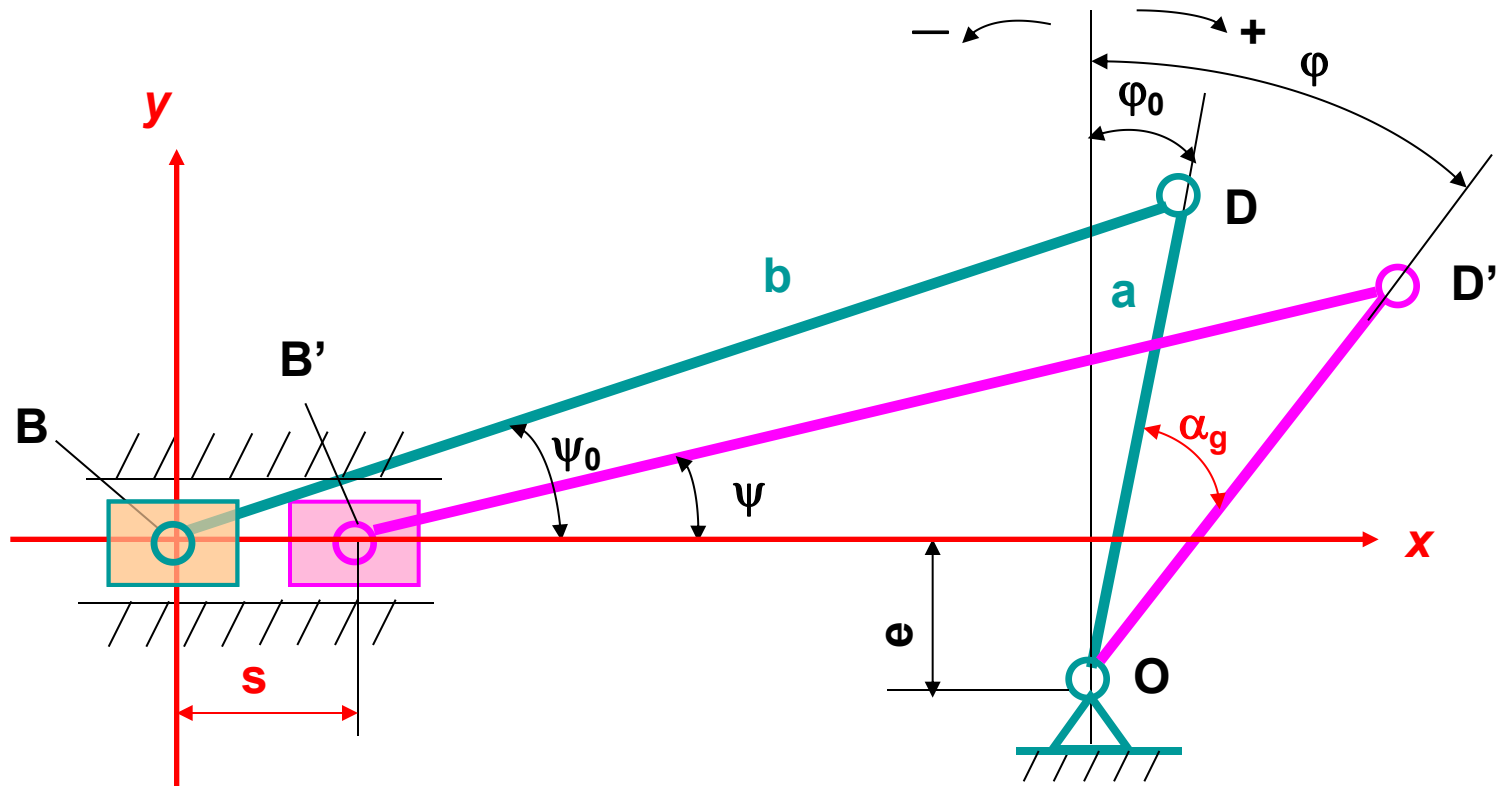
弹性模量  $E=1.127\times 10^5\text{Mpa}$

泊松比  $\mu=0.3$

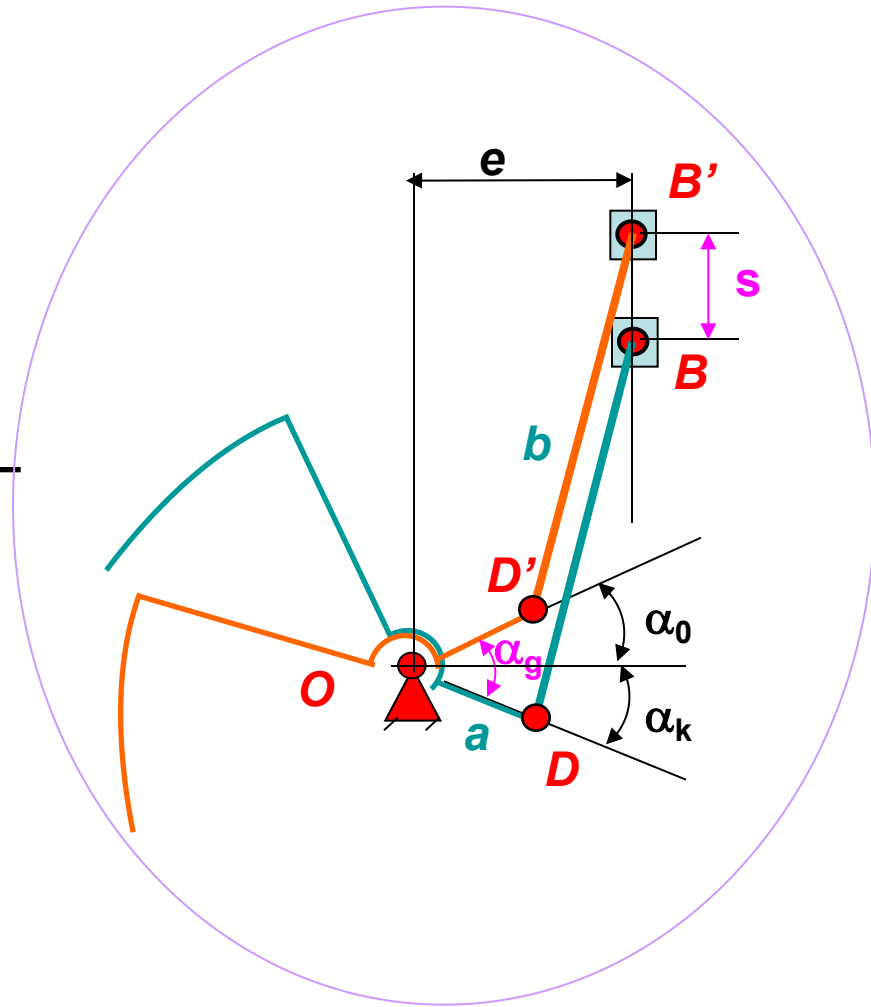
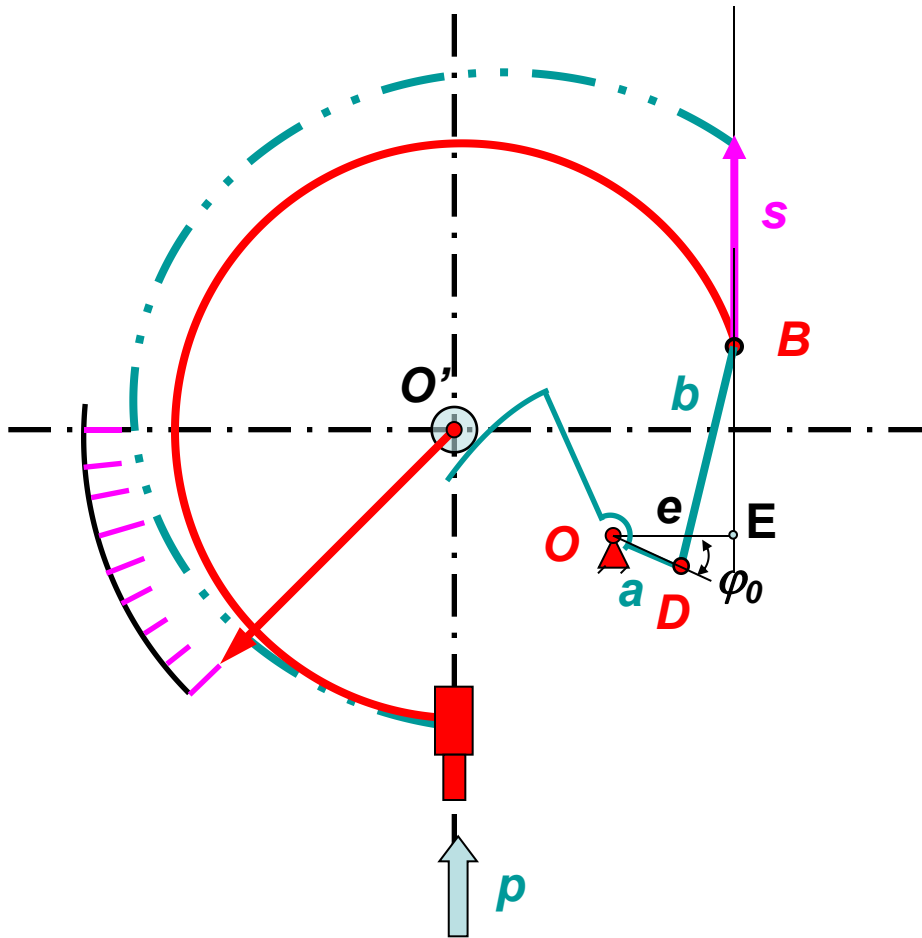


# 曲柄滑块机构

加压后，弹簧管自由端位移 $s$ ，带动曲柄转过角度 $\alpha_g$ 一曲柄滑块机构



# 曲柄滑块机构



# 曲柄滑块机构

- 曲柄最大转角 $\alpha_g$ —工作转角

弹簧管末端→指针：两级传动

一级一曲柄滑块机构、二级一齿轮传动

$$i_{\text{总}} = i_{\text{齿}} \cdot i_{\text{曲}} = 270^\circ / \alpha_g \cdot \alpha_g / s$$

推荐：\*  $i_{\text{齿}} = 13.5$ ,  $\alpha_g = 20^\circ$

\*  $i_{\text{齿}} = 15$ ,  $\alpha_g = 18^\circ$ （建议选取该组参数，

因为 $i$ 是整数，对后面齿轮 $Z_1$ 、 $Z_2$ 选择方便。）



# 曲柄滑块机构

- $\varepsilon$ 、 $\lambda$ 的选择

曲柄滑块机构的传动比  $i = \alpha/s = f(a, b, e, \alpha)$

为简化计算，常引入无量纲系数：

- \* 滑块相对位移  $\chi = s / a$

- \* 连杆相对长度  $\lambda = b / a$

- \* 相对偏距  $\varepsilon = e / a$

- \* 相对传动比  $i_a = a \cdot i$

$$\varepsilon = 0.8 \sim 1.4, \lambda = 2 \sim 5$$

推荐  $\varepsilon = 1, \lambda = 4$

# 曲柄滑块机构

- 确定 $\alpha_0$ 、 $\alpha_k$ (初始角、终止角)

$$\alpha_k - \alpha_0 = \alpha_g$$

在 $i_a - \alpha$ 曲线上找出极点对应的极角 $\alpha_e$ ， $\alpha_0$ 、 $\alpha_k$ 以 $\alpha_e$ 对称分布。 $\rightarrow i$ 变化小，工作过程非线性度减小。

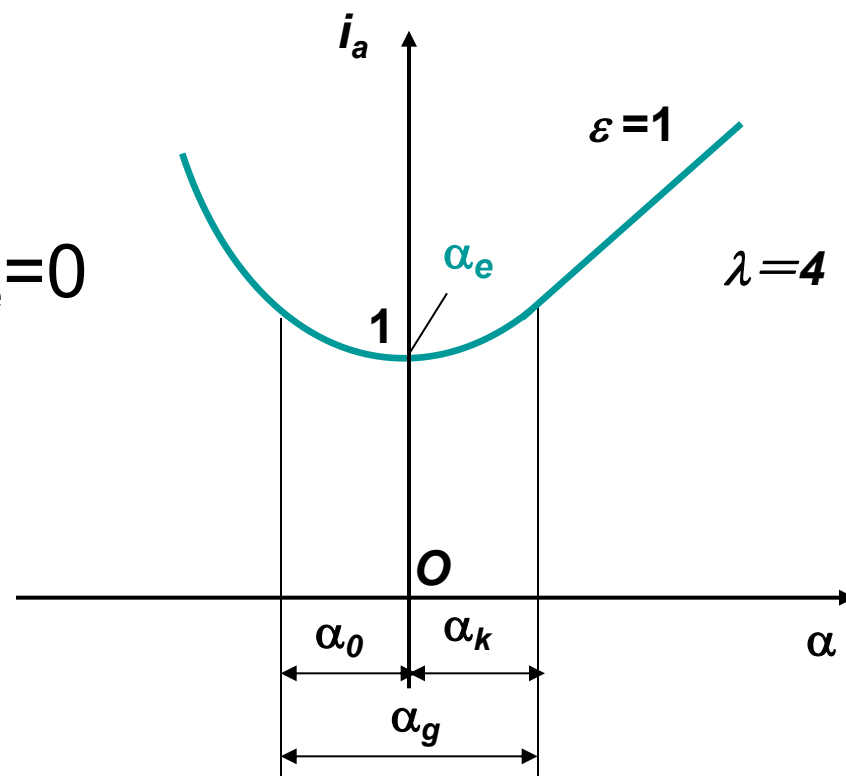
$$\alpha_0 = \alpha_e - \alpha_g/2$$

$$\alpha_k = \alpha_e + \alpha_g/2$$

对于 $\varepsilon=1$ 、 $\lambda=4$ 的曲线有 $\alpha_e=0$

$$\alpha_0 = -\alpha_g/2$$

$$\alpha_k = \alpha_g/2$$



# 曲柄滑块机构

## ⑩ 计算曲柄长度 $a$

$$\chi = \frac{s}{a} = (\sin\alpha - \sin\alpha_o) + \sqrt{\lambda^2 - (\cos\alpha_o - \varepsilon)^2} - \sqrt{\lambda^2 - (\cos\alpha - \varepsilon)^2}$$

最大位移  $s_{max}$  , 上式中  $\alpha \rightarrow \alpha_k$

## ⑩ 计算连杆长度 $b$ 和偏距 $e$

连杆长  $b = \lambda a$       偏距  $e = \varepsilon a$

## ⑩ 连杆 $b$ 初始位置与弹簧管末端位移 $s$ 夹角 $\phi$

$$b \sin\phi = e - a \cos\alpha_k$$



# 齿轮传动机构

⑩ 初定齿轮中心距  $A'$  (根据曲柄滑块机构参数计算)

1) 求  $c'$  (过渡量) :  $\triangle OBD$  中

$$c' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos(\angle ODB)} \rightarrow$$

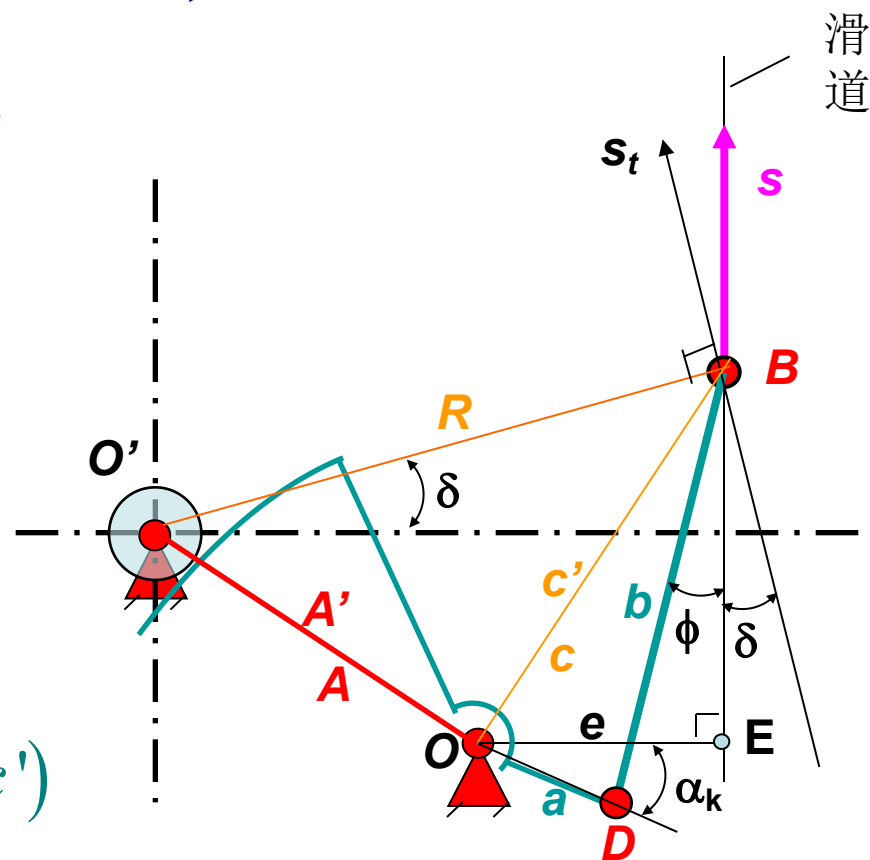
$$\angle ODB = 180^\circ - \alpha_k - (90^\circ - \phi)$$

$$= 90^\circ - \alpha_k + \phi$$

2) 求  $A'$  :  $\triangle O'BO$  中

$$A' = \sqrt{R^2 + c'^2 - 2Rc' \cos(\angle O'BO)}$$

$$\angle O'BO = 90^\circ - \delta - \arcsin(e/c')$$



# 齿轮传动机构

⑩ 选定标准中心距A ( $i_{12}$ 即前述 $i_{\text{齿}}$ )

$$A = mZ_1(1 + i_{12})/2 \quad Z_2 = Z_1 \cdot i_{12}$$

选择适当 $Z_1$ 、 $m$ ，使A尽可能靠近初定值A'

$Z_2 = Z_1 \cdot i_{12}$  = 整数（否则 $Z_2$ 无法加工）

m选用标准值 0.2 0.25 0.3 0.4

对每一个m值适当选择1~2个 $Z_1$ ，使A接近A'，且 $Z_1$ 不小于17、 $Z_2$ 不要太大（参考样机）。

⑩ 计算齿轮参数  $d_a$ 、 $d$ 、 $d_f$

# 齿轮传动机构

## 10 修正连杆长度b

当用中心距**A**代替初定值**A'**后，曲柄回转中心**O**位置将略有改变，此时可重新计算连杆长度**b**，使**O**点与齿轮传动计算得出的**O**点重合。而**a**、**e**、 $\alpha_0$ 、 $\alpha_k$ 、 $\lambda=b/a$ 均不需改变。

1) 求c (改变c') :  $\triangle OBO'$ 中

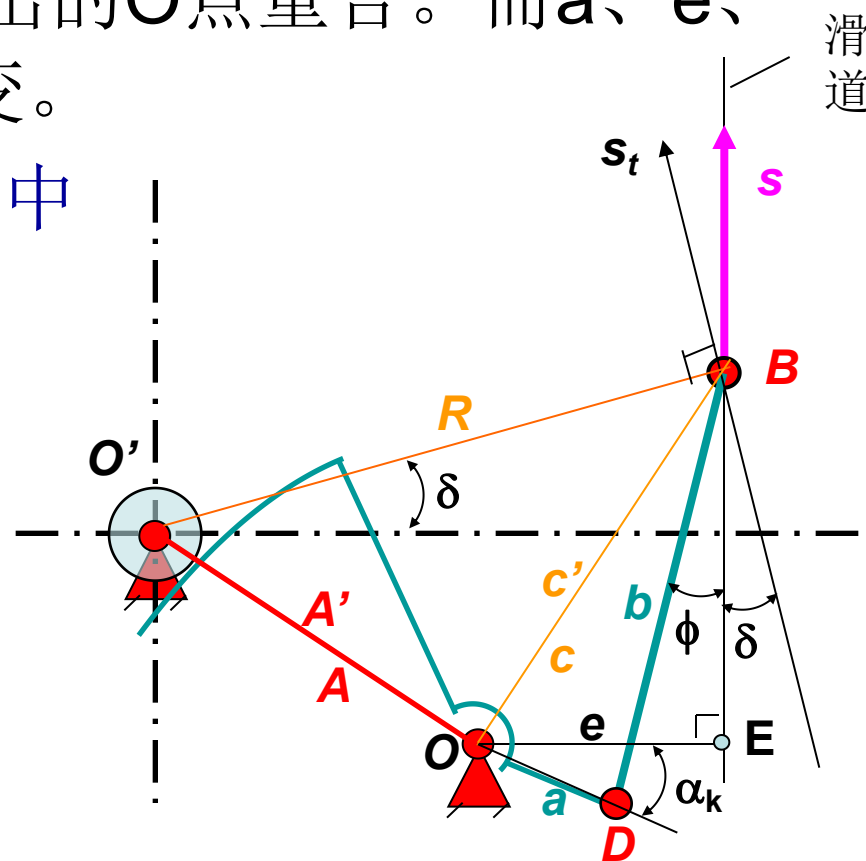
$$c = \sqrt{R^2 + A^2 - 2RA \cos(\angle BO'O)}$$

$$R \cos \delta = A \cos(\angle BO'O - \delta) + e$$

2) 求b:  $\triangle OBD$ 中

$$b = \sqrt{a^2 + c^2 - 2ac \cos(\angle BOD)}$$

$$\angle BOD = \alpha_k + \arccos(e/c)$$

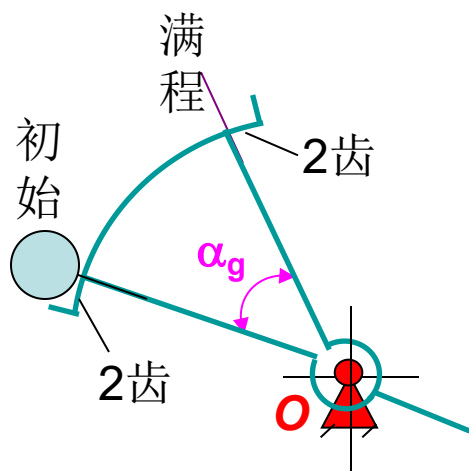


# 齿轮传动机构

- 扇形齿轮扇形角

扇形齿轮回转中心即是曲柄的回转中心，故扇形齿轮的工作转角即为曲柄的工作转角 $\alpha_g$ ，并适当增大即可。

$$\delta_{\text{扇}} = \alpha_g (1 + 25\%) + \underline{2 \times 2 \text{ 齿对应中心角}}$$



工作初始及满程结束时，  
两边各多出**2齿**防脱角。

过载量，指针实际可转  
角比工作转角大一些。



# 原理误差

压力表弹簧管末端位移与指针转角应为线性关系。由于在测量环节中采用了曲柄滑块机构，使转角与位移存在非线性误差，即为原理误差，应加以控制。

对应曲柄转角的理想位移

$$s_n = \frac{\alpha_n - \alpha_0}{\alpha_g} s$$

对应曲柄转角的实际位移

$$s_n' = a(\sin \alpha_n - \sin \alpha_0) + a\sqrt{\lambda^2 - (\cos \alpha_0 - \varepsilon)^2} - a\sqrt{\lambda^2 - (\cos \alpha_n - \varepsilon)^2}$$

原理误差

$$\Delta = \frac{|s_n - s_n'|}{s_{\max}} \times 100\%$$

$\Delta \leq 1\%$  为合格



# 原理误差

非线性度校验:

曲柄每转过 $2^\circ$ 进行一次误差计算。

序号	计算点 $\alpha_n$	理想值 $s_n$	实际值 $s_n'$	绝对值 $ s_n - s_n' $	相对值 $ s_n - s_n' /s_{\max}$
1	$-9^\circ$				
2	$-7^\circ$				
3	$-5^\circ$				
4	$-3^\circ$				
...	...				
	$9^\circ$				

测量环节参数的选择和计算-end



# 游丝设计

压力表中的游丝为接触游丝，其作用是消除空回，使齿轮始终保持单面接触。

由于齿轮轴存在摩擦力矩，所以在游丝安装时应给予一定的预紧力矩，使指针在零位时，在该最小安装力矩下，也能驱动传动链使齿轮保持单面接触，即使小齿轮跟随扇形齿轮（无论正转、反转）消除空回误差。

$$h = \sqrt[4]{\frac{12 L M_{\min}}{\mu E \varphi_{\min}}}$$

$$L = \frac{E b h^3}{12 M_{\min}} \varphi_{\min}$$

# 计算最小力矩 $M_{\min}$

$$M_{\min} = K \left[ M_{fZ} + (M_{fY})_{\min} + M_p \right]$$

安全系数,  $k=2\sim3$

零件偏重力矩

零件自重产生的  
摩擦力矩

游丝压力产生的摩擦力矩

$$(M_{fY})_{\min} = 0.1M_{\min}$$



$$M_{\min} = \frac{KM_{fZ}}{1-0.1K}$$

经过精心设计, 某些零件的偏重力矩 $M_p$ 将有助于完成机构的力封闭, 故可将 $M_p$ 省略。

# 计算最小力矩 $M_{\min}$

## ⑩ $M_{fz}$ 的计算

$M_{fz}$  为中心小齿轮及扇形齿轮的综合影响：

$$M_{fz} = M_{fz1} + M_{fz2} \cdot \frac{1}{i_{21}} \cdot \frac{1}{\eta}$$

中心小齿轮支承  
上的摩擦力矩

将扇形齿轮的影  
响诱导至中心轴

$M_{fz2}$ —扇形齿轮支承上的摩  
擦力矩；

$i_{21}$ —齿轮传动的传动系数；

$\eta$ —齿轮传动效率

# 计算最小力矩 $M_{\min}$

- $M_{fz}$ 的计算（续）说明

- ①估算重量;

小齿轮：齿轮轴、指针(Al)、指针帽(Cu)

扇形齿轮：齿轮轴、扇形齿轮（估算）

- ②连杆重量忽略;

- ③分析压力表水平放置、垂直放置两种情况，取其大者;

- ④近似计算， $\eta=0.9$ 。

比重：Cu 8.59g/cm<sup>3</sup>    Al 2.49g/cm<sup>3</sup>

# 计算最小力矩 $M_{\min}$

1) 中心小齿轮 $M_{fz1}$ 的计算—取两者中大者参与后序计算

\* 压力表立放，轴水平

式11-1

$$M_{fz1} = \frac{1}{2} f_V \cdot F_r \cdot d$$

将轴及轴上零件总重都集中在一端轴颈上计算即可

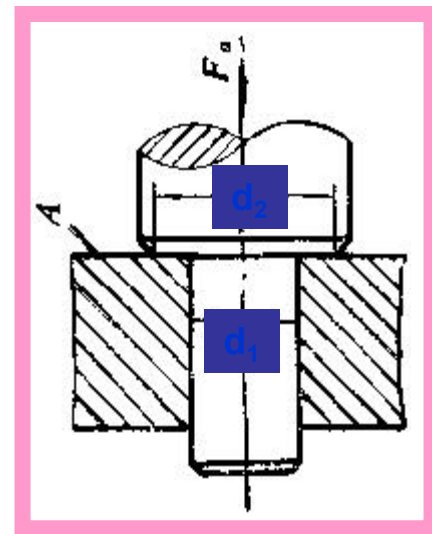
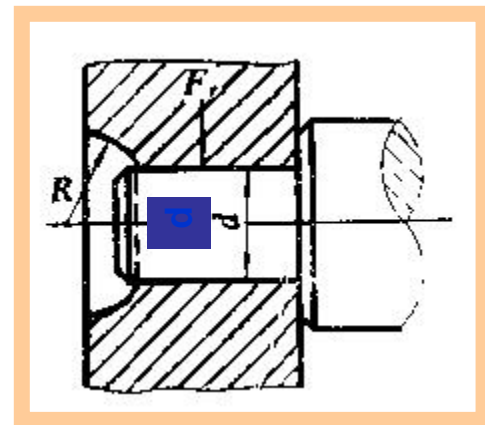
当量摩擦系数，按未经研配计算  $f_V = 1.57f$

\* 压力表平放，轴立

式11-5

$$M_{fz1} = \frac{1}{3} f \cdot F_a \frac{d_1^3 - d_2^3}{d_1^2 - d_2^2}$$

2) 扇形齿轮 $M_{fz2}$ 的计算  
(计算步骤同上，并取大者)



# 计算最小力矩 $M_{\min}$

## ⑩ $M_{\min}$ 的计算

$$M_{\min} = \frac{KM_{fz}}{1 - 0.1K} \quad M_{fz}(M_{fz1}, M_{fz2}) \quad K = 2 \sim 3$$

注意：因为计算中需要知道零件的重量，故游丝设计必须在结构设计之后进行。

# 游丝计算

## • 选定参数

1) 工作角度 最小工作转角  $\varphi_1 = \pi/2 \rightarrow M_1 = M_{\min}$

最大工作转角  $\varphi_2 = 2\pi$

2) 工作圈数  $\varphi \geq 2\pi$   $n = 10 \sim 14$ ;  $\varphi < 2\pi$   $n = 5 \sim 10$

建议  $n = 8 \sim 10$

3) 宽厚比  $u = b/h$  接触游丝  $u = 4 \sim 8$ , 建议  $u = 6$

4) 外径  $D_1$  由空间结构定;

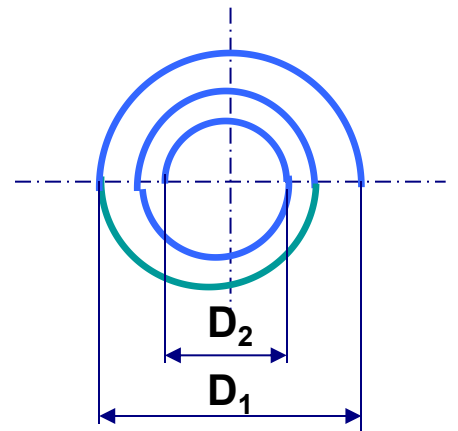
内径  $D_2$  由轴定。

5) 材 料 锡青铜QSn4-3

$E = 1.2 \times 10^5 \text{Mpa}$

强度极限  $\sigma_b = 600 \text{Mpa}$

安全系数  $S = 3$   $[\sigma_b] = \sigma_b / S = 200 \text{Mpa}$





## ⑩ 几何尺寸计算

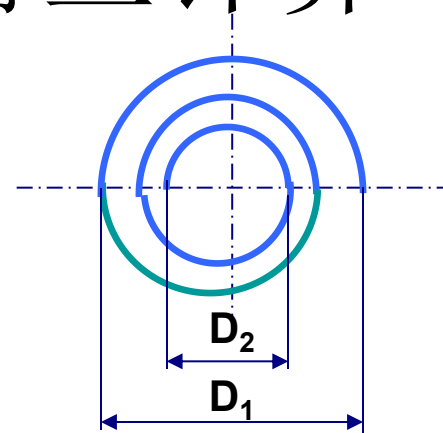
1) 初定长度

$$L = \pi n \frac{D_1 + D_2}{2}$$

2) 厚度

$$h = \sqrt[4]{\frac{12LM_{\min}}{\mu E \varphi_{\min}}}$$

圆整到0.01



3) 宽度

$$b = u \cdot h$$

由圆整后的h计算

4) 校核应力

$$\sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{b \cdot h^2} \leq [\sigma_b]$$

$$M_{\max} = M_2 = M_{\min} \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = 4M_{\min}$$

一般情况下能满足要求，否则可改变宽厚比u。

# 游丝计算

5) 最后确定L、n、a(圈间距)-圆整后的b、h

$$L = \frac{Ebh^3}{12M_{\min}} \varphi_{\min}$$

$$n = \frac{2L}{\pi(D_1 + D_2)}$$

$$a = \frac{D_1 - D_2}{2n}$$

K-同时盘绕游丝个数—取整

$$K = a / h$$

# 零件尺寸的确定

- 按仪表特性的要求确定零件尺寸

如弹簧管

$2a$ 、 $2b$ 、 $h$ 、 $\gamma$ 、 $R$

曲柄滑块机构

$a$ 、 $b$ 、 $e$ 、 $\alpha_0$ 、 $\alpha_k$

齿轮

$i$ 、 $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $m$

- 按标准化规范确定零件尺寸

1) 标准尺寸（有关标准、规范）

如螺纹、锥度、倒角、直径、 $m$

2) 标准件（标准件越多，设计越好）

销钉、螺钉、螺母、垫圈、轴承；游丝亦有标准，但本设计里标准游丝不合适，需自行设计非标准游丝。

- 由材料规格确定

如弹簧管的毛坯外圆（圆管材），即查材料规格；（卡玻璃的）钢丝直径、外壳铁板厚度、夹板厚度，均需查手册，或参考样机。

- 由空间结构确定

- 1) 安排尺寸（轴向）

如中心轮安装指针的轴的长度，需按轴向安排尺寸确定，玻璃—上夹板—下夹板—壳……

- 2) 零件结构尺寸

计算的是特性尺寸，具体零件结构尺寸自行设计。

- 由空间结构确定（续）

### 3) 足够的运动空间（平面）

如表盘螺钉不得妨碍指针运动；夹板柱不得妨碍运动件；曲柄滑块机构不得碰壳；机芯应能入壳等。

- 类比

指针长度、刻度盘刻线长度、扇形轮形状等；拆表时应多测量样机的尺寸为设计提供参考；参考教材中有关示数装置的内容。



# 课程设计报告

- 设计说明书

设计说明书是一种专门为技术审查部门编写的技术文件，它主要反映技术特点、计算依据、计算过程及结果。

- 两张相关零件图

- 压力表三维建模（Pro-E）、爆炸图

注：结构、计算应说明书—模型—图纸相一致。

# 设计说明书的内容

- 设计任务概述  
课程设计目的、任务、技术指标
- 压力表概述  
用途、工作原理、组成框图
- 参数选择计算  
弹簧管、曲柄滑块机构、齿轮、游丝、度盘
- 标准化统计  
压力表零件列表（名称、数量），统计其中标准件的数量和所占比例。
- 所绘制零件结构参数设计说明  
对所绘制零件结构尺寸、公差配合、表面质量、材料选择以及相关零件之间的空间关系进行解释说明。
- 小结—收获



# 其它

实验室提供n种结构的压力表，可任选一种拆卸，观察结构、进行测绘。

拆表时注意：

小组装（组件）、定位面

哪些是永久安装，哪些是可拆结构

非线性调整、满刻度调整 环节





## 压力表测量允许误差

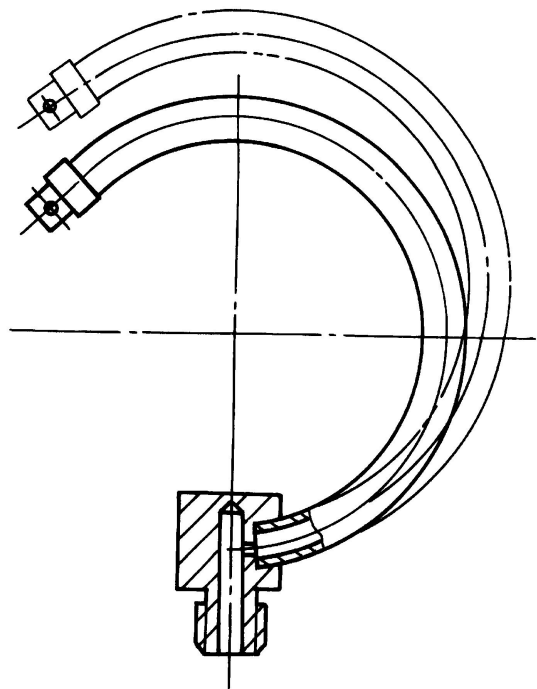
**1.5级表**测量允许误差为：在测量范围内任一压力处测量值与标准值（标准表的示值）之差小于满幅压力 $p_{\max} \times 1.5\%$ 。

即仪表允许误差 $\Delta$ 为

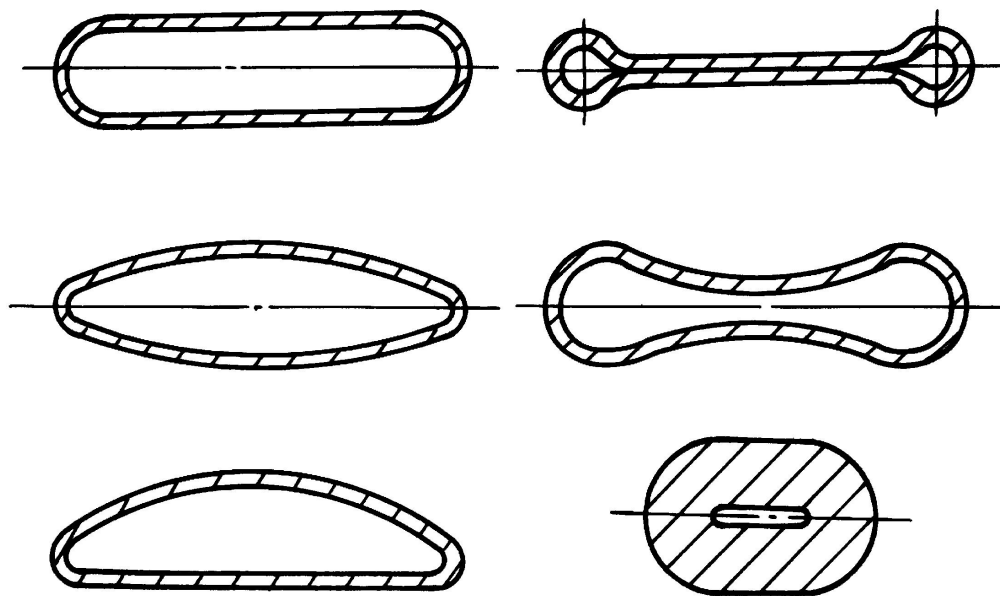
$$\Delta = 1.6\text{Mpa} \times 1.5\% = 0.024\text{Mpa}$$



# 弹簧管



压力弹簧管



弹簧管截面形状

