

## 实验一 精密圆柱尺寸的测量（公差实验之一）

一、实验类型： 验证性实验

二、实验要求： 课内必做及课外开放选择

三、考核方式： 实验操作和实验报告

四、每组人数： 2~3 人 1 组

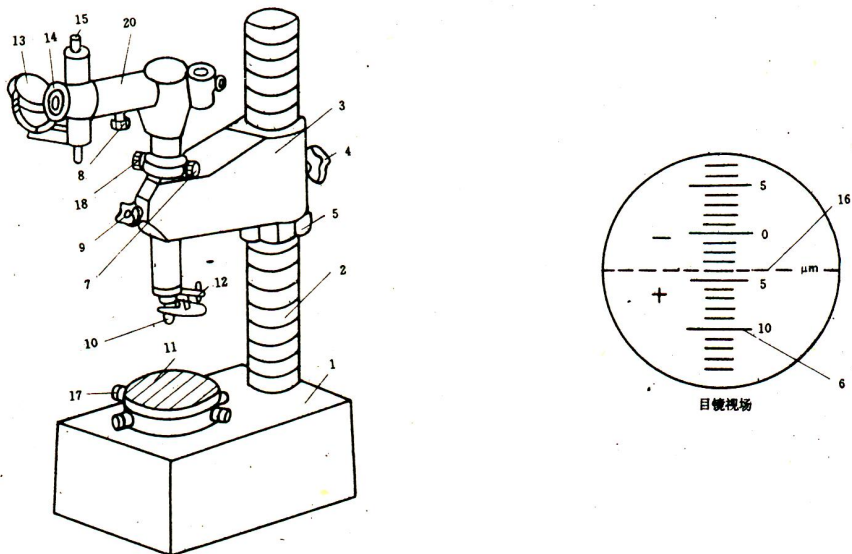
五、实验目的：

1. 了解立式光学计、齿轮杠杆比较仪的工作原理和使用方法；
2. 根据测量结果，判断被测工件的合格性；
3. 掌握量块的尺寸组合及研配方法；
4. 熟悉尺寸公差和量规公差表格的查阅。

六、实验主要仪器设备：

立式光学计或齿轮杠杆比较仪、量块等。

立式光学计和齿轮杠杆比较仪等（简称测微仪）常用于测量工件的外尺寸，多采用相对比较测量方法，只有在标尺的示值范围内才可进行绝对测量。图 1—1 为立式光学计的外型结构图和目镜视场。表 1—1 为立式光学计的技术指标。



## 七、仪器的使用与调整：

### 1、测量头的选择

仪器备有球面形、刀刃形和平面形三种类型的测量头。测量头的选择应满足点接触测量。因此，测量平面或圆柱面工件时选择球面测量头；测量小于 10 mm 圆柱面工件时选择刀刃形测量头；测量凸球面工件时选择平面形测量头。

### 2、工作台的调整

测量工件时是以工作台作为测量基准面，因此要求台面必须与测量头的测量方向垂直。如果选用  $\phi 8$  平面台和带筋的方形工作台,不需进行调整；若选用  $\phi 90$  圆形工作台时需用四个调节螺钉来调整工作台，直到与测量头

### 3、仪器标尺零位的调整

(1)将量块组的下测量面置于工作台上，使测量头对准量块上测量面的中点；

(2)粗调节：松开锁紧螺丝 4，转动调节螺母 5，使支臂 3 下降，直到测量头与量块上测量面的中点仅留有很小的间隙时，锁紧螺丝 4；

(3)细调节：松开锁紧螺丝 9，转动偏心轮 7，使指标线 16 与标尺 6 上的零刻线相重合，拧紧锁紧螺丝 9；

(4)微调节：拧紧锁紧螺丝 9 后，轻轻按动抬起杠杆 12，当出现指标线与标尺上的零刻线不相重合时，需转动微调轮 8 使其达到重合并完全稳定。

## 八、实验步骤：

1. 根据被测圆柱工件（或塞规）的基本尺寸选择相应的量块组尺寸并研配好。将量块置于工作台上进行仪器零位调整；

2. 将被测圆柱形工件放在工作台面上，保持圆柱下母线紧贴台面，然后慢慢在测量头下滚过，从标尺上找到读数的最大值，即为所测部位尺寸的实际偏差。按此法分别测出三个断面和两个方向的实际偏差，记入实验报告内；

3. 根据尺寸实际偏差与被测工件的极限偏差（从公差表中查出），判断被测工件的合格性；

4. 清理仪器和被测工件。

## 九、注意事项：

1. 实验前，用汽油擦洗净量块、工作台、测头和工件。

2. 测量时，一定要找到最大值的返回点。

3. 实验后，用汽油擦洗净量块、工作台、测头和工件，放回原位。

## 十、思考题：

1. 用立式光学计测量圆柱形工件的直径属于什么测量方法（从仪器读数和测量力来解释）？
2. 试举你所知道的几种圆柱形外径的测量方法，并比较其特点。
3. 说明绝对测量和比较测量各有何特点？

## 实验二 孔径测量（公差实验之二）

- 一、实验类型： 验证性实验
- 二、实验要求： 课内必做及课外开放选择
- 三、考核方式： 实验操作和实验报告
- 四、每组人数： 2~3 人 1 组
- 五、实验目的：

- 1. 熟悉使用测量孔径的方法；
- 2. 掌握由测量结果和验收极限来判断工件的合格性；
- 3. 练习圆柱尺寸公差表格的查阅。

### 六、使用仪器及说明：

内径百分表、量块、量块夹等。

内径百分表是由内百分表和测量内径的杠杆系统组成，它是一种用比较方法测量孔径的精密量具，通过更换不同尺寸的固定测量杆，测量不同尺寸段的孔径。

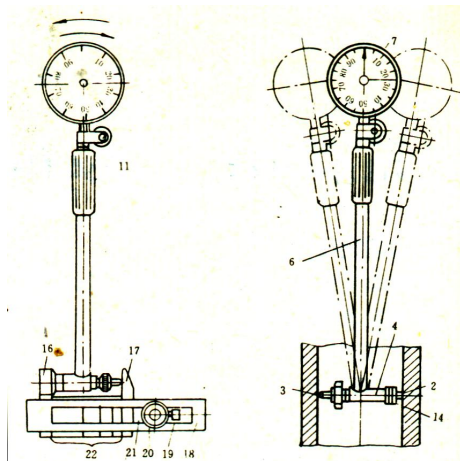
### 七、仪器的使用与调整：

根据被测孔径的基本尺寸，按仪器附件盒内的附表选择合适的组合量杆。

用标准环规或带有内量爪的量块夹或测量范围比较合适的外径千分尺来调整内径百分表的零位。实验中采用量块夹来调整。

### 八、实验步骤：

- 1. 调整内径百分表的零位，将量块组放入量块夹内的量爪中间夹紧，然后将内径百分表的量杆放在两量爪之间，使测量头与两量爪相接触，微微摆动内径百分表，可找到指针的返回点，此时转动表盘，将返回点对准表上的零刻线，则零位已调好，记下百分表的压缩圈数；
- 2. 把内径百分表放入被测孔中，如图所示方向左、右轻轻摆动，找到返回点（即最小读数），记下此时百分表的示值，该值为被测孔径在该测量部位的实际尺寸对基本尺寸的实际偏差。按同样方法在三个断面和两个方向上分别测量并记下偏差值。



3. 处理测量结果。根据测得的尺寸偏差 $\Delta L$ 即可得到孔的实际尺寸  
$$D = L + \Delta L$$
 ( $L$ —基本尺寸, 以计), 并判断被测孔径的合格性。
4. 清理量具和被测工件。

### 九、注意事项:

1. 实验前, 用汽油擦洗净量块、百分表接杆、测头和工件。
2. 调零和测量时, 一定要找到最小值的返回点。
3. 实验后, 用汽油擦洗净用过的量器具, 放回原位。

### 十、思考题:

1. 内径百分表测量孔径属于什么测量方法(从读数和测量力来解释)?
2. 试举你所知道的几种孔径的测量方法, 并比较其特点。
3. 被测孔径尺寸的合格性使用孔的极限尺寸来限制吗? 为什么?

### 实验三 位置误差测量（公差实验之三）

- 一、实验类型： 验证性实验
- 二、实验要求： 课内必做及课外开放选择
- 三、考核方式： 实验操作和实验报告
- 四、每组人数： 2~3 人 1 组
- 五、实验目的：

- 1. 解有关位置公差定义；
- 2. 掌握应用普通测量器具对箱体位置误差测量的方法。

#### 六、测量原理：

箱体上一般选用平面或孔的轴心线作为基准。测量时常用平板或检验心轴来模拟基准，用精度合适的测量器具来测量被测实际要素上的各点对平板的平面或检验心轴之间的距离。

#### 七、测量器具：

主要有平板、标准心轴、方箱、表架、平行垫铁、等。

#### 八、实验步骤：

- 1. 测量孔轴线对基面 A 的平行度误差

(1)如图 3—1 所示，将方箱放置在平板上，将被测工件的基准 A 面通过平行垫铁与方箱上表面紧密相连；

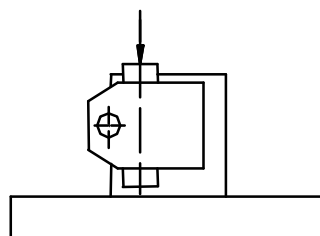
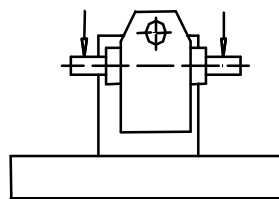
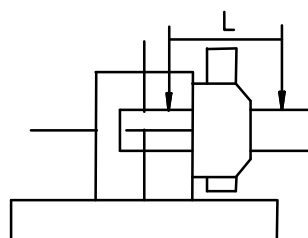
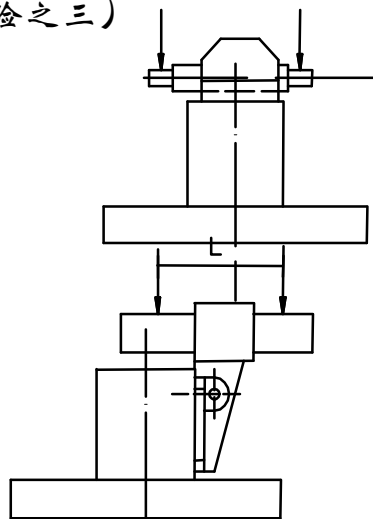
(2)将标准心轴插入被测孔，并以此模拟被测轴线；

(3)用百分表在标准心轴的最高素线且靠近被测工件根部的 A、B 两点进行测量，测得的读数分别为  $M_a$  和  $M_b$ ，则被测孔轴线对基面 A 的平行度误差  $F_{//}$  为：

$$F_{//} = |M_a - M_b|$$

- 2. 测量孔轴线对基面 A 的垂直度误差

(1)将标准心轴插入被测孔，并以此模拟被测轴线。由于基准面 A 是垂直于平板的，测量孔轴线对基面 A 的垂直度误差就可以转换成测量孔轴线对基面 A 的平行度误差；



(2)如图 3—2A 所示,用百分表在标准心轴的最高素线距离为  $L$  的  $a$ 、 $b$  两点进行测量,设两点上测得的读数分别为  $X_a$  和  $X_b$ 。

(3)如图 3—2b 所示,将方箱翻转  $90^\circ$ ,再用百分表在标准心轴另一方向上距离为  $L$  的  $a$ 、 $b$  两点进行测量,设两点上测得的读数分别为  $Y_a$  和  $Y_b$ 。

(4)计算被测孔轴线对基面 A 的垂直度误差:  $F_{\perp} = \sqrt{(X_a - X_b)^2 + (Y_a - Y_b)^2}$

### 3. 测量平面对基准孔轴线的垂直度误差

(1)将标准心轴插入基准孔中,并以此模拟基准孔轴线;

(2)如图 3—3A 所示,反复测量标准心轴上 A、B 两点,调整心轴,直至 A、B 两点等高,此时心轴与平板平行。将方箱翻转  $90$  度,则轴线与平板垂直,测量平面对基准孔轴线的垂直度误差就可转换成测量平面对基准孔轴线的平行度误差。

(3)如图 3—3B 所示,用百分表在平面上滑动,读出最高点  $N_a$  和最低点  $N_b$ ,则平面对基准孔轴线的垂直度误差  $F_{\perp}$  为:  $F_{\perp} = |N_a - N_b|$

## 九、注意事项:

1. 安装时一定要紧密牢靠,不可有松动、滑移现象;
2. 调平时,一定要敲击工件,不可敲击标准心轴。

## 十、思考题:

测量平面度误差和垂直度误差时,如果实测两点距离不等于图纸上给定的长度尺寸,你应如何处理测量结果?请举例说明。

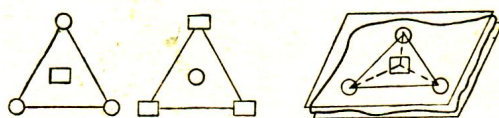
## 实验四 形状误差的测量 (公差实验之四)

- 一、实验类型： 验证性实验
- 二、实验要求： 课内必做及课外开放选择
- 三、考核方式： 实验操作和实验报告
- 四、每组人数： 2~3 人 1 组
- 五、实验目的：

- 1. 理解和掌握平面度误差的评定准则；
- 2. 学习使用百分表直接测量平面度的方法；
- 3. 熟悉平面度误差的数据处理。

### 六、评定准则：

1. 三角形准则：出现三个最高点与一个最低点，而最低点位于三个最高点连成的三角形区域内(或相反)，如图 4—1 a 所示。



2. 交叉准则：出现二个最高点与二个最低点，且两最高点连线与最低点连线相交，如图 4—1 b 所示。



3. 直线准则：只出现二个最高点与一个最低点，且最低点位于二个最高点的连线上(或相反)，如图 4—1 c 所示。



### 七、测量器具：

百分表、表架、平板。

### 八、实验步骤：

- 1. 根据被测平面尺寸大小选择测量点数。尺寸小于  $0.4 \times 0.4 \text{ m}^2$  的平面，可选 9 个测点；尺寸大于  $0.4 \times 0.4 \text{ m}^2$  的平面，可选 25 个测点。
- 2. 将被测平面放在平板上，按相应的测线，顺序移动百分表至选定等距测点测量并记录读数。
- 3. 按最小包容区域评定平面度误差并进行数据处理。



(1)将各点的测值都减去其中的最大正值（无正值时减去最大的负值，相当于将最高点的高度提至零值），如图 4—2*a* 的数据应减去 8，得图 4—2*b* 结果，这时最少有一个零值点。

(2)过零点作旋转轴，将最低的一方向上转，各点按其至转轴的距离比例同时上升，确定转量时应以转后不出现正值为限，如图 4—2*b* 中最下行-4 点是个限制点，它所在横行距转轴二个格距，则单位旋转量  $q=4/2$ ，转后各点的数据如图 4—2*c* 所示。

+3	+7	+8	-5	-1	0	-5	-1	0
-2	+1	-2	-10	-9	-10	-8	-7	-9
+4	-4	-2	-4	-12	-10	0	-8	-6
<i>a</i>			<i>b</i>			<i>c</i>		

(3)如图 4—2*c* 中的两个零点是最高点，两个最低点是-8，符合交叉准则，平面度误差  $F_{mz} = 8 \mu\text{m}$ 。若一次不行，可作二次旋转，重复上述步骤，直到出现某一种判别准则。

## 九、注意事项：

1. 测点时，一定要按行、列等距顺序测量；
2. 作旋转计算时，尤其以斜线为轴时，应数好格距，算好比例。

## 十、思考题：

平面度误差的数据处理有几种方法？各有什么不同？

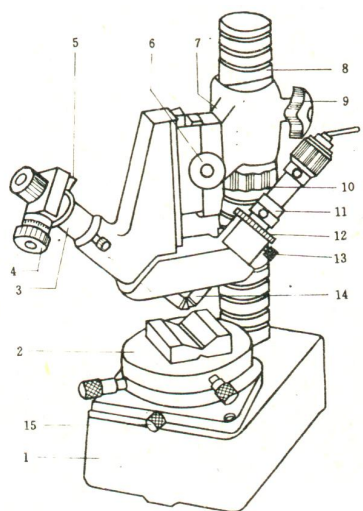
## 实验五 表面粗糙度测量（公差实验之五）

- 一、实验类型： 验证性实验
- 二、实验要求： 课内必做及课外开放选择
- 三、考核方式： 实验操作和实验报告
- 四、每组人数： 2~3 人 1 组
- 五、实验目的：

1. 熟悉光切显微镜测量表面粗糙度的原理和方法；

2. 加深对微观不平度十点高度  $R_z$  和单峰平均间距  $S$  定义的理解；

3. 正确判断工件表面粗糙度的合格性。



### 六、仪器说明：

光切显微镜是一种测量表面粗糙度的仪器，它备有四对不同放大倍数的物镜。测量时，需先估测工件表面粗糙度的  $R_z$  数值范围，然后按表选择相应放大倍数的物镜。测量工件时还需按表选取取样长度和评定长度。

附表：

物镜放大倍数	视场直径	物镜工作距离	换算系数 E	测量范围 ( $\mu$ )
7	2.5	17.8	0.123	10~80
14	1.3	6.8	0.063	3.2~10
30	0.6	1.6	0.029	1.6~6.3
60	0.3	0.65	0.016	0.8~3.2

### 七、实验步骤：

1. 测量微观不平度十点高度  $R_z$

(1) 选用相应放大倍数的物镜，分别安装在两镜管的下端。

(2) 将光源插头插接变压器后，再接通电源。

(3) 将被测工件置于工作台上，使工件的纹理方向（加工纹路）和工作台纵向移动方向垂直。

(4) 松开支臂紧固螺丝 9、旋转螺母 10，使支臂慢慢下降，下降时切勿使物镜碰撞工作台面或被测工件，直到在工件表面看到一较清晰绿色光带后，锁紧螺丝 9，松开工作台紧固螺丝 15，转动工作台使光带方向与工件表面加工痕迹垂直。

(5)调节支架微动升降手轮 6，在视场中看到亮带；调节投射角螺丝 13，使亮带聚于视场中央（亮带为最亮，并能看到加工痕迹）；转动微动环 12 进行物镜聚焦，这时视场中间将出现一条最窄且一侧边界最清晰的弯曲亮带。

(6)松开紧固螺丝 5，转动目镜千分尺，使目镜中十字线的任一条线平行于光带某一清晰边界，此条线即为近似平行于轮廓中线的测量基准线。转动千分鼓轮，使该条线分别切于亮带清晰一侧的五个最高峰和五个最低谷，从目镜千分尺上分别读出相应的峰值 $a_2$ 、 $a_4$ 、 $a_6$ 、 $a_8$ 、 $a_{10}$ ；谷值 $a_1$ 、 $a_3$ 、 $a_5$ 、 $a_7$ 、 $a_9$ ，根据计算公式算出 $R_z$ 值

$$R_z = \frac{1}{5} |(a_2 + a_4 + a_6 + a_8 + a_{10}) - (a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9)|$$

(7)移动工作台纵向千分尺，在下一个取样长度内测出 $R_z$ 值，然后对所测出的 3~5 个取样长度的 $R_z$ 值取平均值，即为评定长度的 $R_z$ 值。

## 2. 测量单峰平均间距 S

用目镜视场中的垂线，对准光带清晰边界的第一个峰顶，从工作台的纵向千分尺上读取第一个读数 S；再移动纵向千分尺将垂线对准光带轮廓的第 n 个峰顶，从纵向千分尺

$$S = \frac{S_n - S_1}{n - 1}$$

上读取第二个读数  $S_n$ 。单峰平均间距 S 按下式计算：

根据上述测量结果判断被测工件表面粗糙度的合格性。

## 八、注意事项：

测量时光带一定要与加工纹路垂直。

## 九、思考题：

1. 用光切显微镜测量表面粗糙度可测 $R_z$ 、S 外，是否还可测其他参数？
2. 测量 $R_z$ 时为什么只测光带的同一个边界上的最高点（峰）和最低点（谷）？
3. 光切显微镜测量 $R_z$ 值的范围是多少？

## 实验六 间接法测量锥度误差（公差实验之六）

- 一、实验类型： 验证性实验
- 二、实验要求： 课内必做及课外开放选择
- 三、考核方式： 实验操作、实验报告及理论考试
- 四、每组人数： 2~3 人 1 组
- 五、实验目的：

1. 熟悉正弦尺测量锥体塞规的原理及操作方法。
2. 练习工具锥体量规公差表格的查阅。

### 六、使用仪器及量具：

1. 正弦尺；
2. 锥体量规；
3. 千分表、量块。

### 七、仪器说明：

正弦尺是采用间接测量法测量精密测量样板角度、圆锥体以及其他类似工具及工件的专用量具。正弦尺两端的圆柱中心线之间的距离  $L$ （如图 1），有 100 及 200 毫米两种规格。按工作台面的宽窄  $B$ ，正弦尺可分为宽面式与窄面式两种。在宽面正弦尺的台面上有一系列的螺纹孔，用来夹紧各种形状的工件。

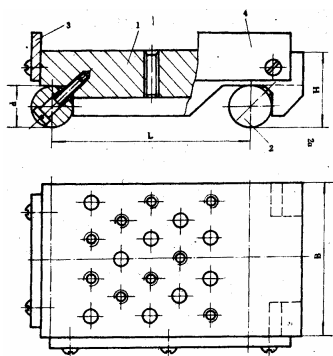


图 1 正弦尺结构图

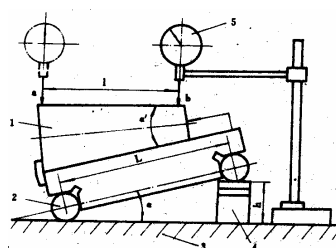


图 2 测量示意图

### 八、测量原理

根据锥体量规的标号，可从手册中查出相应的锥度  $K = 2tg\alpha$ ，则  $\sin \alpha$  可以求出。为了使锥体塞规装到正弦尺上后，其母线平行于基面——平板，故在正弦尺下（锥体小头的圆柱下）要垫起高度  $h$ 。可由下式计算：

$$h = L \times \sin 2\alpha$$

式中  $L$  为正弦尺二圆柱轴心线间距离。

实际上工件的锥度  $K$  可通过查表查出，从  $K = 2tg\alpha$  中导出  $\sin 2\alpha = \frac{4K}{4 + K^2}$ ，则量块组高度  $h$  按下式直接计算。

$$h = \frac{4LK}{4 + K^2}$$

为使用方便  $h$  可直接从下表查出：

锥度符号		锥度 $K$	量块组高度(mm) ( $L = 100mm$ )	量块组高度(mm) ( $L = 200mm$ )
公制	4	0.05	4.9968	9.9936
	6			
莫氏	0	0.05205	5.2014	10.4028
	1	0.04988	4.9848	9.9696
	2	0.04996	4.9918	9.9836
	3	0.05020	5.0168	10.0336
	4	0.05194	5.1904	10.3808
	5	0.05263	5.2593	10.5186
公制	6	0.05214	5.2104	10.4208
	80	0.05	4.9968	9.9936
100				
120				
140				
160				
200				

测量时在锥体母线上选取  $a$ 、 $b$  两点(图 2)，并测出  $a$ 、 $b$  两点与基面距离之差  $\Delta H$ ，则锥度误差  $\Delta K = \frac{\Delta H}{l}$ 。式中  $l$  为  $a$ 、 $b$  两点之间的距离，此测量方法为间接测量法。

## 九、实验步骤

1. 按公式计算(或从表中查出)  $h$  值，选好量块组并研配好后放在平板和正弦尺一端圆柱下。
2. 把锥体塞规安装在正弦尺上，如图 2 情况放好，选取  $a$ 、 $b$  两点(距离  $l = 50mm$ )。
3. 用带架指示表测出  $a$ 、 $b$  两点高度差  $\Delta H$ 。重复三次，取平均值。
4. 按  $\Delta K = \frac{\Delta H}{l}$  算出锥体误差，再根据查表所得  $\Delta K$  来判断适用性。

5. 清理仪器和被测工件。

## 十、思考题

1. 什么叫做间接测量？用正弦尺测锥体塞规的锥度误差有何特点？为何不用直接测量？
2.  $\Delta K$  有正负吗？如何判断？
3. 为什么测  $\Delta H$  时，要测三次取其平均值呢？

## 实验七 外螺纹中径的测量（公差实验之七）

课程名称：精密机械设计

- 一、实验类型：验证性实验
- 二、实验要求：课内必做及课外开放选择
- 三、考核方式：实验操作、实验报告及理论考试
- 四、每组人数：2~3人1组
- 五、实验目的：

1. 掌握用螺纹千分尺测量螺纹中径的方法；
2. 熟悉用三线测量螺纹中径的方法；
3. 练习查阅螺纹公差表格。

### 六、量具及测量原理

1. 螺纹千分尺：图1所示为螺纹千分尺的构造原理图。它与外径千分尺相似，只是在测量砧上装有特殊的测量头1和2，用它们可测普通外螺纹中径。测量时用样板3来调零，每对测量头只能测量一定螺距范围的螺纹，使用时可根据被测件的螺距的大小按附件表选择测头。

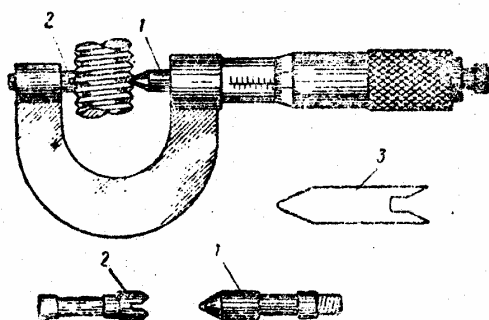


图1 螺纹千分尺的构造原理图

#### 2. 三线测量外螺纹中径

1) 图2(a)为三线测量外螺纹中径的原理图。用测量长度的仪器或量具（如测微仪、测长仪、光学计、只是表千分尺等）测量出M的实际值，然后与理论的M值比较即得中径得偏差。这种方法为简介测量法。理论M值为

$$M = d_2 + d_0 \left(1 + \frac{1}{\sin/2}\right) - \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

式中： $d_2$ ——外螺纹公称中径；

$d_0$ ——三线直径；

$P$ ——螺距；

$\alpha/2$ ——螺纹牙型半角。

2) 最佳三线直径见图 2(b)所示：

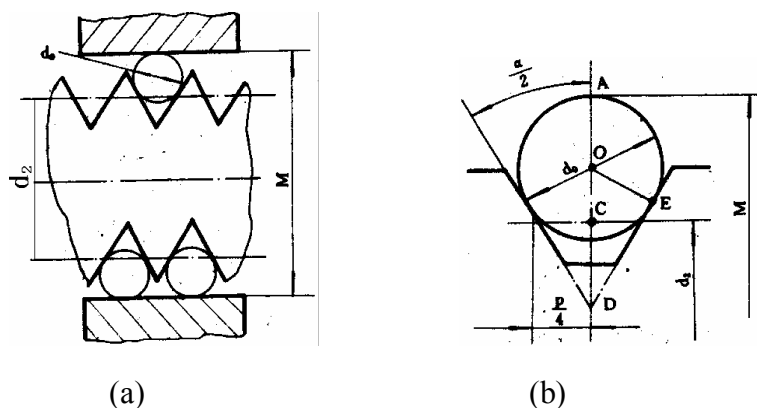


图 2 三线测量为螺纹中径原理图

在实际工作中，如果成套的三线没有最佳直径的线，可选用直径接近的三线来测量。

3) 本实验所用的仪器：

测量  $M$  值所用的仪器应根据测量精度要求进行选择。本实验选用指示表千分尺（或测微仪）。

指示表千分尺有一个活动砧（在左侧，它相当与普通外径千分尺的固定量砧），其微动量可由指示表读出。读数时应同时读出千分尺刻度套筒和指示表的示值。使用前还要校对仪器的零位，使刻度套筒和指示表的示值全为零，否则应记下校正值。

测量时，为减少量砧面的磨损，应按动右侧面的按钮，使两量砧离开，方可放入或推出被测工件。

## 七、实验步骤

1. 用螺纹千分尺测量螺纹中径

- 根据被测件选用一对螺纹测量头；
- 擦净仪器和工件；
- 将工件放入两测头间，正确找到中径部位（测量力由棘轮控制）；
- 分别在三个等距截面（指横剖面，有时考虑在同一截面选两个方向）内测量中径；



- e. 整理数据，并判断工件的使用性。
2. 用三线测量螺纹中径
- a. 计算最佳三线直径，并选用接近最佳线径的三线；
  - b. 用汽油擦净仪器与工件；
  - c. 将三线装在仪器上；
  - d. 分别在三个等距截面（指横剖面）内测量 M 值；
  - e. 整理数据得中径偏差  $\Delta d_2$ ，查出允许公差值，并判断被测工件的合格性。

## 八、思考题

1. 用三线测量螺纹中径属于哪一种测量方法，为什么要选用最佳三线直径？
2. 能否用指示表千分尺进行相对比较测量？和绝对测量法比较，两种方法哪种测量精确度高？为什么？

## 实验八 弹性元件实物教学

一、实验类型：其它

二、实验要求：课内，必做

三、考核方式：实验报告

四、每组人数：15人

五、实验目的：

1. 了解弹性元件的分类及其典型应用
2. 熟悉常用弹性元件的结构形状及固定方法
3. 了解各种弹性元件的常用材料
4. 分析典型测量仪表的基本组成部分

六、实验原理

材料在外力的作用下产生变形，外力去除后可恢复其原状的性能，称为材料的弹性。利用材料的弹性性能，完成各种功能的零件或部件称为弹性元件。

七、实验主要仪器设备

各种类型的弹性元件零件、部件以及弹性元件用于各种仪器仪表的实物。

八、预习要求：

1. P332，在精密机械中，常见弹性元件的类型。
2. P332，弹性元件按用途分类。
3. 336，螺旋弹簧的种类。参见图 13-6
4. P343，拉伸弹簧的端部结构形式。参看图 13-16
5. P345，游丝的种类及内外端的固定方法。参看图 13-19
6. P384，片簧的分类。
7. P350，热双金属的基本知识。
8. P351-P353，弹簧管、波纹管、膜片、膜盒的基本知识。参看图 13-28，图 13-29，图 13-31，图 13-33
9. P364，钎焊的基本知识。

九、实验步骤：

1. 对照实物观察片簧、平卷簧、螺旋弹簧、压力弹簧管、波纹管、膜片（膜盒），六种弹性元件的外形特征。

2. 弹性元件的功能。
3. 观察压缩弹簧和拉伸弹簧的端部结构。
4. 观察压力表、电流表中游丝的固定方法、结构，电流表中游丝的位置调整装置。

#### 十、注意事项：

1. 学生在实验之前应预习弹性元件章节相关的内容。
2. 按实验要求，使用、观察实物时，动手要轻，不得随意将实物损坏。
3. 实验后将观察的各实物归还原位。

#### 十一、思考题及作业：

1. 对照实物（或对照教材），用一个到两个投影图，绘出六种弹性元件的外形。
2. 压力表和电流表中的游丝内端、外端采用何种联接方法。说明采用不同联接方法的原因。
3. 钎焊和一般焊接有何不同？
4. 请说出拉伸弹簧端部结构的几种形式，并画出示意图。
5. 对下列弹性元件按用途进行分类（用符号△表示）

仪表元件名称	测量弹簧	力 弹 簧	其 它
电流表中游丝			
压力表中游丝			
微压计中变刚度片簧			
微压计中螺旋弹簧			
石英钟双金属卷簧			
弹簧秤中螺旋弹簧			
膨胀器中波纹管			
液面指示器中波纹管			

## 实验九 螺旋弹簧特性实验

一、实验类型：综合

二、实验要求：课内、必做

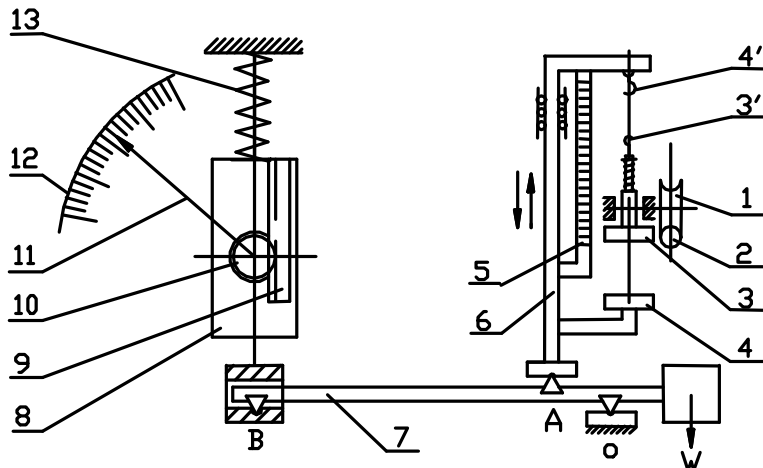
三、考核方式：实验报告

四、每组人数：5人/组

五、实验目的

1. 了解弹簧实验机的工作原理
2. 根据实验数据，用最小二乘法拟合螺旋弹簧的特性曲线

六、原理与方法：



如图所示，将被测的螺旋弹簧置于上压盘3（3'）和下压盘4（4'）之间，使弹簧与上下压盘刚刚接触上，然后将弹簧实验机的指针调整回零点。转动加载旋钮2，通过蜗轮蜗杆1、齿轮齿条传动，使上压盘下降给被测弹簧加载，此时弹簧将产生变形，其变形量可在标尺5上读出。载荷通过下压盘4和导柱6使杠杆7下沉，并通过框架8传递至测量弹簧13，使其产生伸长变形。另外，框架8还通过尺条9和齿轮10带动指针11转动。当弹簧13的伸长变形所产生的拉力与载荷平衡时，即可通过指针11相对于刻度盘12的位置读出相应的载荷量。

七、实验主要仪器设备

1. 拉压弹簧实验机一台
2. 被测螺旋弹簧
3. 游标卡尺一把

## 八、预习要求：

1. 预习有关最小二乘法直线拟合内容。
3. 预习教材弹性元件的基本特性。

## 九、注意事项：

1. 同学到实验室后，不可随意给弹簧实验机加载（如用手按压加载盘等）；
2. 弹簧实验机使用刀口支承，当松开上压盘锁紧装置移动上压盘时，一定要用手托住可移动件，避免上压盘突然下落损坏实验机的刀口支承。
3. 微调旋钮不可大范围的调整。以免与测量弹簧 13 脱开。

## 十、实验步骤：

1. 了解弹簧实验机的工作原理，熟悉实验机的使用方法。
2. 测定被测弹簧的几何参数。
3. 选取 10 个以上的测量点  $(F_i, X_i)$   $i=0\sim9$ 。
  - (1) 把被测螺旋弹簧放在上、下压盘之间
  - (2) 松开上压盘 3 的固定手柄，移动上压盘 3 使其与被测弹簧轻微接触，然后锁紧固定手柄，接触力应小于 200g。
  - (3) 转动加载旋钮 2，记录上压盘 3 的标尺读数  $X_i$ ，并从刻度盘上读出弹簧受力  $F_i$ ，并将其计入数据表格中。
4. 数据处理：

采用最小二乘法拟合被测弹簧的特性曲线。原始数据为  $(F_i, X_i)$ ，根据最小二乘法应满足式

$$F_i = F' \cdot x_i + B + \varepsilon_i$$

式中， $F'$  为弹簧刚度， $B$  为常量， $\varepsilon_i$  为残差

## 十一、思考题

1. 如弹簧实验机原理图所示，设弹簧实验机标准弹簧 13 的刚度为  $1\text{N/mm}$ ，被测弹簧刚度为  $5\text{N/mm}$ ，杆 OB 与 OA 的水平距离之比为 10:1，当被测弹簧每次加载 20N 时，B 点每次下降多少？A 点每次下降多少？加载盘每次下降多少？（实际上为减小杠杆摆动角，弹簧刚度较大。）

2. 用最小二乘法拟合实验数据，根据实验数据求出被测弹簧的刚度  $F'$ 、各测量点的残差  $\varepsilon_i$ 、自由高度  $H_0$ 。

3. 在坐标纸上描绘出螺旋弹簧的特性曲线。

# 螺旋弹簧特性实验报告

实验名称					
班级		姓名		同组人	
实验日期		成绩		指导教师	

## 一、实验数据和计算

### 1. 测定螺旋弹簧的几何参数

弹簧外径 $D$ (mm)	
弹簧中径 $D_2$ (mm)	
簧丝直径 $d$ (mm)	
工作圈数 $n$	
总圈数 $n_1$	
自由高度 $H_0$ (mm)	
旋绕比 $C$	
刚度 $F'$ (N/mm)	

### 2. 测量数据

标尺读数 $x_i$ (mm)										
载荷 $F_i$ (N)										
残差 $\varepsilon_i$ (N)										
弹簧刚度 $F' =$ (N/mm)					弹簧自由高度 $H_0 = B / F' =$ (mm)					

## 二、思考题讨论 (另附作业纸)

## 实验十 传动实物教学

一、实验类型：其他

二、实验要求：课内，必做

三、考核方式：实验报告

四、每组人数：15人/组

五、实验目的：

1. 熟悉精密机械中常用的传动装置。
2. 掌握谐波传动和滚动螺旋传动的简单工作原理。

六、实验原理：

在工程实际中，常见的传动机构有：连杆传动机构、凸轮传动机构、齿轮传动机构、摩擦传动、带传动、螺旋传动等。各种机构都是用来传递运动和力的可动装置。各种不同类型的仪器使用不同的传动形式，具有不同的构造和用途。

七. 实验主要仪器设备

齿轮传动、摩擦传动等模型和实物。行星轮传动模型板，凸轮传动模型板、杠杆传动模型板、间歇机构模型板等。

八. 预习要求：

1. 教材 77 页平面连杆机构概述；
2. 77 页，铰链四杆机构的基本型式，图 5-2；
3. 99 页，凸轮机构概述，凸轮的分类，图 6-1；
4. 109 页，摩擦轮传动和带传动概述。
5. 114 页，图 7-7 滚轮式盘形变速器。
6. 115 页，图 7-8，带传动类型图 7-9 带传动的张紧装置。
7. 127 页，同步带传动的特点和应用。图 7-19 同步带传动
8. 136 页，图 8-1 齿轮传动的分类，P183，图 8-52 圆柱蜗杆传动
9. 191 页，轮系的用途和分类。
10. P223,齿轮与轴的联接。
11. P232，图 9-3，测量显微镜纵向测微螺旋。图 9-4 差动螺旋原理。

九. 实验步骤：

1. 观察摩擦无级变速器的模型和气动动态仪中摩擦变速器部件。注意主动轮和从动轮材料选择的不同，比较二者加压装置有何不同？
2. 观察平皮带传动的模型。注意大皮带轮的轮缘结构和皮带张紧装置。

3. 观察电影放映机的同步齿形带传动，用钢齿测量带轮直径。
4. 观察蜗轮减速机的蜗杆传动。
5. 在投影仪下，对比渐开线齿形与圆弧齿形的不同。
6. 了解谐波齿轮传动的组成和运动关系。
7. 分析齿轮杠杆比较仪中的杠杆传动。
8. 分析测量显微镜中纵向导轨的螺旋传动。
10. 观察静压螺旋传动的油腔、油孔和油路。

## 十、注意事项：

1. 学生在实验前应预习传动部分章节的相关内容；
2. 按实验要求，使用、观察实物时，动手要轻，不得随意将实物损坏；
3. 未经教师允许不得随意搬动各个陈列板的开关，以免造成陈列板的损坏，给实验教学带来不必要的麻烦；
4. 实验后，将观察的各实物归还原位。

## 十一、思考题：

1. 指出下列典型传动的类型（用符号  $\Delta$  表示）

传动机构名称	功率传动	示数传动	一般传动
蜗轮蜗杆减速机中的蜗杆传动			
测量显微镜中纵向导轨的螺旋传动			
测量显微镜调焦装置中齿轮齿条的传动			

2. 减速机中的蜗轮为什么用两种材料制成？两种材料是用什么方法结合在一起的？
3. 平面连杆机构的基本型式有哪几种？
4. 分析在摩擦轮传动中，主动轮和从动轮材料选择有什么不同，为什么？
5. 画出齿轮杠杆比较仪中，第一级杠杆短臂 a 调整的结构图，参照实物，参考图 5-36。
6. 对照教材图 9-3 和实物，分析钢球 5、螺旋弹簧 4、弹簧片 7 及对开螺母上销钉、弹簧、顶丝的作用。



# 实验十一 齿轮范成原理实验

一、实验类型：验证

二、实验要求：课内，必做

三、考核方式：实验报告

四、每组人员：1人/组

五、实验目的：

1. 掌握用范成法加工渐开线齿轮的基本原理；

了解渐开线齿轮产生根切现象的原因，避免产生根切的方法；

分析比较标准齿轮和移距修正齿轮的异同点。

六. 实验原理：

范成法是利用一对齿轮互相啮合时，其共轭齿廓互为包络线的原理来加工齿轮的。加工时其中一轮为刀具，另一轮为轮坯，它们仍保持固定的角速度比传动，完全和一对真正的齿轮互相啮合传动一样；同时刀具还沿坯的轴向作切削运动。这样所得到的齿轮齿廓就是刀具刀刃在各个位置的包络线。今若用渐开线作为刀具齿廓，则其包络线也必为渐开线。由于实际加工时，看不到刀刃在各个位置形成包络线的过程，故通过齿轮范成仪来实现轮坯与刀具之间的传动过程，并用铅笔将刀具刀刃的各个位置记录在图纸上，这样我们就能清楚地观察到齿轮范成的过程。

范成仪所用的刀具模型为齿条叉刀，仪器的构造如图所示：大圆盘绕其固定的心轴 O 转动。代表刀具的齿条 3 装在溜板 4 上。在代表基圆的外缘上绕着钢丝，钢丝的一端固定在溜板的 A 处，另一端固定在溜板的 B 处。当移动溜板时，通过钢丝的作用使圆盘相对于溜板的运动和被加工齿轮相对于齿条的运动一样。松开螺钉 5 和 6，可改变齿条刀具相对于轮坯中心的距离。如将齿条刀具中线安装在相当于齿轮分度圆的圆周相切的位置时，则可以绘制出标准齿轮的轮廓。当齿条刀具中线与相当于齿轮分度圆的圆周间有距离时（此距离就是移距修正齿轮的移距值  $xm$ ），则可以绘制出移距修正齿轮的齿廓。

七. 实验主要仪器设备

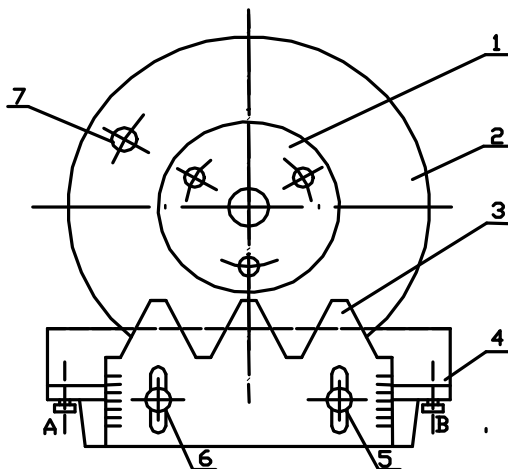
1. 齿轮范成仪
2. 用较厚的纸（图纸、挂历反面）准备一张  $\Phi 270$  mm 的圆（可以比 270 略小 1~2 mm）
3. 带教材
4. 圆规、直尺、铅笔、橡皮

以上除齿轮范成仪，其它均由学生自备。

## 八. 预习要求:

1. 齿轮的加工方法: 范成法
2. P149 看图 8-14

## 九. 实验步骤:



根据已知的刀具参数和被加工齿轮的分度圆直径，计算被加工的标准齿轮和变位齿轮的基圆、根圆、顶圆的直径。

1. 将剪好的圆形纸（轮胚）放在圆盘 2 上，用圆盘 1 压紧。以定位梢 7 为界限，将图纸分为三个象限，再以圆盘中心处的小椎孔为圆心，将所计算三组数据的顶圆、根圆、基圆（此圆可不画在图纸上）和已知的分度圆分别画在各组数据相对应的象限内。

2. 松开螺母 5、6，将齿条刀具放在溜板上，调节刀具使齿条刀具上的中线与分度圆相切，并固定。

3. 移动溜板，将刀具推至范成仪的一端，然后向另一端移动，每移动 2~3mm 距离时（注意：每次溜板移动的距离应基本相等，即在代表轮坯的图纸上用铅笔描下刀刃的位置，直到形成 2~3 个完整的齿廓为止。在上述操作中应注意轮坯上齿廓的形成过程。

4. 观察所画齿廓有无根切现象，如有根切，则分析其原因，并计算最小移距系数  $x_{\min}$ 。

5. 按照所计算移的距离和上述方法，重新调节刀具，使在切削移距修正齿轮的位置上再用同样的方法“切削”齿廓。

4. 比较所得标准齿轮和移距修正齿轮的齿厚、齿间距、周节、齿顶厚、基圆齿厚，以及齿根圆、齿顶圆、分度圆和基圆的相对变化特点。

## 十. 注意事项:

1. 范成仪两端的螺丝不可随意调整，否则钢丝会折断，影响实验时间。
2. 移动溜板时，注意每次距离不能太大，且等距。否则画出的齿廓包络线不光滑。
3. 将纸固定好后，再找圆心。

#### 十一、思考题：

1. 齿条刀具的齿顶高和齿根高为什么都等于  $1.25\text{mm}$ ?
2. 用齿条刀具加工标准齿轮时，刀具和轮坯之间的相对位置和相对运动有何要求？为什么？
3. 通过实验，你所观察到的根切现象是怎样的？是由什么原因引起的？避免根切的方法有哪些？

# 齿轮范成原理实验报告

实验名称					
班 级		姓 名		同组人	
实验日期				指导教师	

## 一. 原始数据

分度圆直径	模 数	压力角	齿顶高系数	径向间隙系数
$d$	$m$	$\alpha$	$h_a^*$	$C^*$

## 二. 计算数据

项 目 内 容	单 位	计 算 公 式	计 算 结 果		
			标准齿轮	修正齿轮	
齿数 $z$					
最小移距系数 $x_{\min}$					
移距值 $mx_{\min}$					
基圆半径 $r_b$					
顶圆半径 $r_a$					
根圆半径 $r_f$					

## 三. 齿廓图（另加附页）

四、实验结果比较（在分度圆上比较，只说明变位齿轮相对标准齿轮的变化特点，不需要具体数字）

项 目	齿厚 $s$	齿间距 $e$	齿距 $p$	齿顶厚 $s_a$	基圆齿厚 $s_b$	根圆直径 $d_f$	顶圆直径 $d_a$	分度圆直径 $d$	基圆直径 $d_b$
标准齿轮									
修正齿轮									

## 实验十二 轴·联轴器·离合器·支承和导轨实物教学

课程名称：精密机械设计

一、实验类型：其他

二、实验要求：课内·必做

三、考核方式：实验报告

四、每组人数：15 人/组

五、实验目的：

1. 熟悉各种联轴器、离合器、支承、导轨的典型结构及应用特点；
2. 了解圆柱面支承和导轨的常用材料；

六、实验原理：

轴、联轴器、离合器、支承、导轨都是精密机械中不可缺少的领、部件。一切作回转运动的零件，都必须装在轴上才能实现其运动。而轴与轴之间根据用途和位置的变动情况，可用联轴器或离合器将其连接。轴端部又靠不同的支承件加以约束轴的不同运动。因此，各零、部件之间想要起作用，都不是独立存在的。

导轨可以是一个专门的零件，也可以是一个零件上起作用的部分。

七、实验主要仪器设备：

各种轴、联轴器、离合器、支承、导轨实物，以及这些零部件用于一些仪器、仪表、设备的实物。

八、预习要求：

1. 读 图 10-12 盘销联轴器；图 10-14 滑块联轴器（十字形联轴器）；  
图 10-15 单万向联轴器；图 10-19 弹性盘销联轴器；图 10-20 牙嵌离合器；  
图 10-22 单圆盘式摩擦离合器。
2. 280 页，图 11-5 顶针支承图；图 11-6 轴尖支承；图 11-8 球支承；302 页，11-31  
弹性支承的形式；306 页，图 11-36 圆锥支承的形式。
3. 281 页，滚动轴承的组成。图 11-9 滚动轴承。
4. 310 页，导轨的分类；
5. 读图 12-4 圆柱面导轨；图 12-5 有防转结构的圆柱导轨；图 12-6 三角形导轨；图  
12-7 矩形导轨；图 12-8 燕尾导轨。

九、注意事项：

1. 学生在实验前应预习本实验内容的相关章节。

- 按实验要求，观察分析零、部件或设备时，动手要轻，不得将实物损坏。
- 实验后，将观察的各零、部件归还原位。

## 十、实验步骤：

- 观察盘销、十字、万向联轴器教具和可变电容器轴上弹性联轴器实物。
- 观察牙嵌式单转向离合器实物。
- 观察经纬仪上运动学式支承的结构特点，水准仪上圆锥轴的结构。
- 观察滑动轴承所采用的主要材料。
- 观察电接触传感器中的十字弹性支承和圆柱面导轨。
- 分析燕尾导轨的间隙调整方法。
- 观察大型工具显微镜的滚珠导轨。
- 分析卧式光较仪的圆柱面导轨有无防转装置，其棱柱面导轨的导向面，以及弹性导轨。

## 十一、思考题：

- 参考教材 276 页，小结你所看到的滑动轴承中用于轴套或轴瓦的材料。简述这些材料的结构和特点。
- 参考 306 页图 11-36a，画出水准仪圆锥轴系的结构图，并说明锥形轴表面的中部为何要细写，轴上尾部螺钉的作用。
- 对下列滑动摩擦导轨和滚动摩擦导轨分成力封式和自封式两类（用符号  $\Delta$  表示）

仪器名称	导轨类型	自封式	力封式
卧式光较仪	矩形导轨		
大型工具显微镜	滚珠导轨		
投影仪	滚动轴承导轨		

- 参考教材 281 页，表 11-2，按指定序号和内容写出滚动轴承性能。

轴承类型	组成部分	类型代号	滚动体形状	所能承受载荷

- 从防转精度和结构复杂程度两方面，比较电接触传感器、卧式光较仪上圆柱导轨的防转装置。

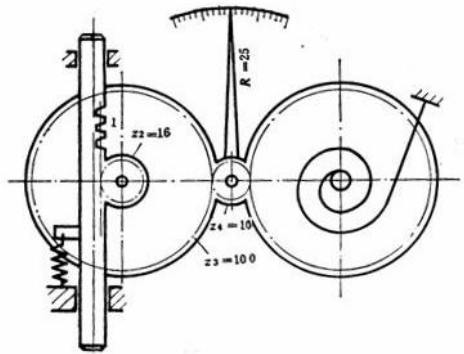
## 实验十三 百分表结构分析实验

- 一、 实验类型： 综合
- 二、 实验要求： 课内， 必做
- 三、 考核方式： 实验报告
- 四、 每组人数： 1—2 人 / 组
- 五、 实验目的：

1. 学习结构分析方法， 培养结构分析习惯。
2. 了解百分表的结构及工作原理。
3. 熟悉课上所学的齿轮、 导轨、 弹性元件联接、 示数装置等零件、 部件在百分表中的具体应用及其结构形式， 增强感性认识。
4. 学习仪表拆装技能及工具使用方法。

### 六、 实验原理：

钟表式百分表是将测杆的微小直线位移， 通过齿条——齿轮——齿轮——齿轮的传动放大， 转变为指针的角位移， 从而在刻度盘上指示出相应的示值。



### 六、 主要仪器设备

1. 百分表一块
3. 改锥、 镊子各一把。

### 八、 实验步骤：

1. 从观察百分表的外观入手， 了解百分表的使用方法， 并记下百分表尺小指针的初始位置。
2. 结合实物分析本指导书的拆装顺序， 使头脑中形成顺序的完整概念。
3. 旋下百分表后盖上的三个螺钉， 取下后盖。
  - (1)观察机构的传动关系， 画出传动系统图。
  - (2)结合思考题分析每个零件所起的作用。
4. 收拢固定上盖的弹簧卡圈的两个外伸端， 顺着指针方向取下上盖， 然后用镊子取下指针， 再取下表盘和弹簧垫片。
5. 下测量力弹簧和测量杆防转滑块， 拧下固定下支承板的螺钉， 即可取出机芯。

6. 完成思考题的全部要求。
7. 按相反的顺序，把拆下的零件一一装回。

#### 注意：

- (1) 按装下支承板时，应使游丝予紧  $\pi / 2$ ；
- (2) 按装下支承板时，应注意使下支承板与外壳同轴；
- (3) 按装下支承板时，应保证齿条与齿轮啮合的齿侧间隙；
- (4) 装指针时，应保证对指针位置的要求。

#### 装表质量检查

8. 测杆移动灵活无卡滞现象。
9. 当测杆在自由状态时，指针应位于测量杆轴线左侧上方 15~25 个分度内，转数指针（小指针）对准整刻度时，大指针应位于测量杆轴线上 10 个分度内。
10. 检查游丝是否予紧。
11. 齿条和齿轮啮合的齿侧间隙应在 0.01—0.06 毫米之间。

#### 九、预习要求：

百分表结构分析是一个综合性的实验，因此要用到以前所学到的齿轮、弹性元件、导轨、示数装置以及圆柱导轨的防转装置等知识，要求同学复习教材相关章节。

#### 十、注意事项：

1. 实验前认真阅读指导书。
2. 不要求拆的地方，不得随意拆卸。
3. 拆下的零件要轻拿轻放，放在盒内，防止丢失和损坏。尤其要注意测量力弹簧、游丝和指针。

#### 十一、思考题：

1. 表盘为什么要旋转？旋转的导向面在何处？
2. 百分表中的齿轮传动是升速传动还是降速传动？是力传动还是示数传动？
3. 哪一级齿轮的误差对百分表的示值误差影响最大？
4. 指出百分表中的限动装置，说明其作用。
5. 什么是空回误差？影响百分表空回误差的主要原因是什么？
6. 游丝的作用是什么？为什么它不装在另外两根齿轮轴上？
7. 游丝内、外端各是如何固定的？参考教材，画出游丝内装、外装的结构草图。
8. 大表盘下的弹簧片的作用是什么？



9. 百分表的导轨为何要防转？如何提高防转精度？
10. 如何提高导轨的运动灵便性？
11. 百分表在下述各处采用了什么联接型式？  
(1)片齿轮与轴； (2)销柱与下支承板； (3)导套与壳体； (4)指针与指针套；  
(5)指针套与齿轮轴； (6)测头钢球与测头； (7)防转滑块与圆支承板；
12. 已知：与齿条啮合的齿轮齿数  $Z_1=20$ ；大齿轮齿数  $Z_2=120$ ；中心齿轮齿数  $Z_3=12$ ；指针长度  $R=25\text{mm}$ 。求：  
(1)计算齿轮的模数  $m=?$   
(2)大表盘上相邻两刻线间的距离  $C=?$

# 百分表结构分析实验报告

实验名称					
班级		姓名		同组人	
实验日期		成绩		教师	

一、指出百分表的基本组成部分及其功用

二、画出百分表的传动系统图，参考教材 P212，图 8—81

三、装表质量检查结果

a. 测量杆在自由状态时的指针位置；

b. 转数指针（小指针）对准整刻度时，大指针的位置；

c. 齿条齿啮合侧间隙\_\_\_\_\_mm

四、 思考题讨论