

外圆和长度检测

1、实训目的

- 1) 熟悉游标卡尺的结构及使用方法
- 2) 外径千分尺的结构及使用方法



教学要求：掌握孔轴的测量技术

教学重点：测量方法与测量器具

教学难点：测量方法

教学用具：课本、绘图工具、PPT 课件、Flash 课件

学生用具：作业本、绘图铅笔、三角尺一副、橡皮、小刀、原子笔等。



任务一：长度、直径测量。

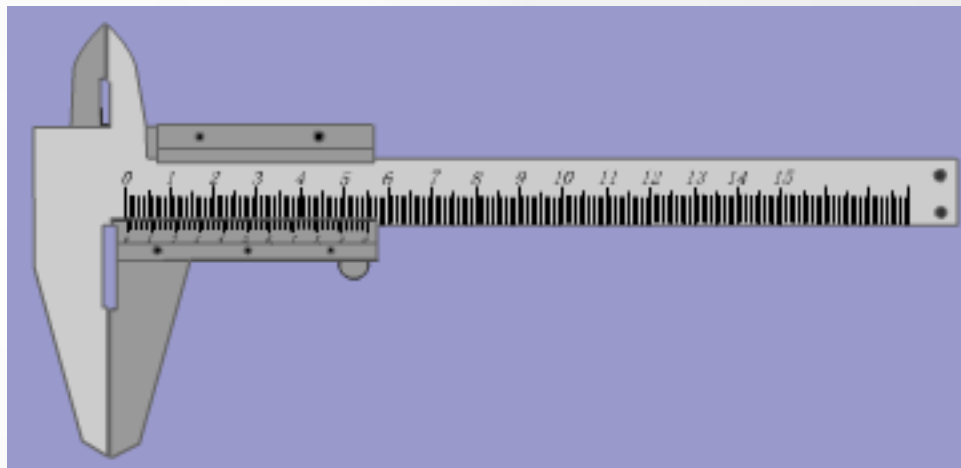
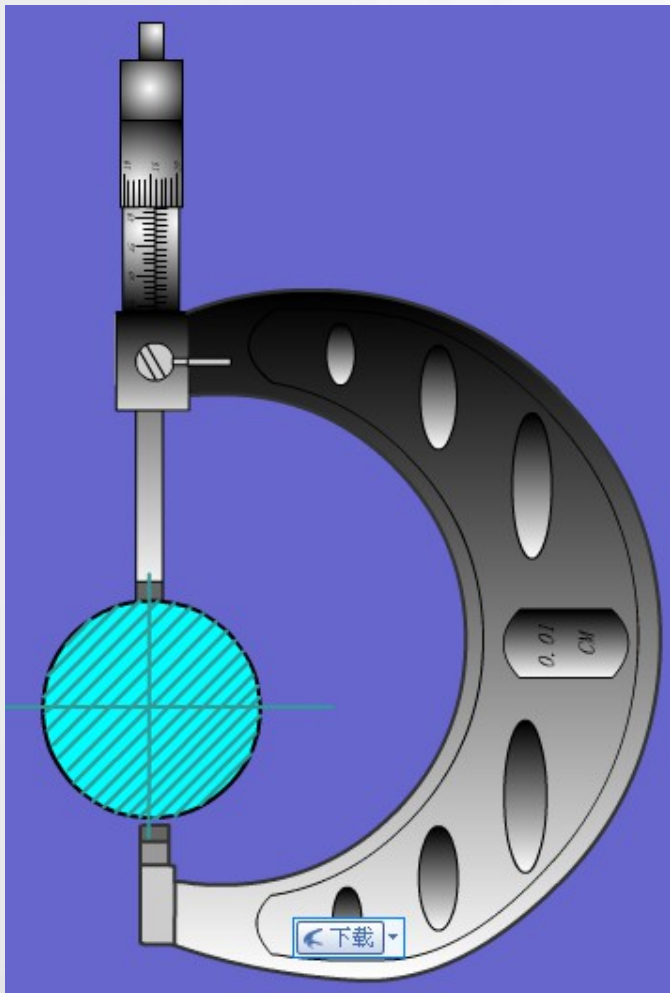
1、长度基准

国际基准：米是光在真空中 $1/299792458$ 秒的时间内所经过的距离。

因为光速是一个不存在误差的精确值，用光速来定义长度基准，精度上不受任何条件的限制。



2、通用量具直（有刻度的）—钢板尺、卷尺、游标卡尺、外径千分尺等。



3、游标卡尺的范围

1) 测量范围: 0-150mm

0-200mm

0-300mm

0-500mm

0-1000mm

0-2000mm

0-3000mm

2) 分度值

0.02mm

0.05mm





深度游标卡尺



游标卡尺使用步骤

1) 擦干净零件被测表面和千分尺的测量面

2) 校对游标卡尺的零位。

若零位不能对正时，记下此时得代数值，将零件的各测量数据减去该代数值

3) 用游标卡尺测量标准量块，根据标准量块值熟悉掌握游标尺卡脚和工件接触的松紧程度

4) 根据零件的图纸标注要求，选择合适的游标卡尺和深度游标卡尺



5) 如果测量外圆，应在圆柱体不同截面、不同方向测量 3—5 点，记下读数；若测量长度，可沿圆周位置测量几点，记录读数

6) 测量外圆时，可用不同分度值的计量器具测量，对结果进行比较，判断测量的准确性

7) 将这些数据取平均值并和图纸要求比较，判断其合格性

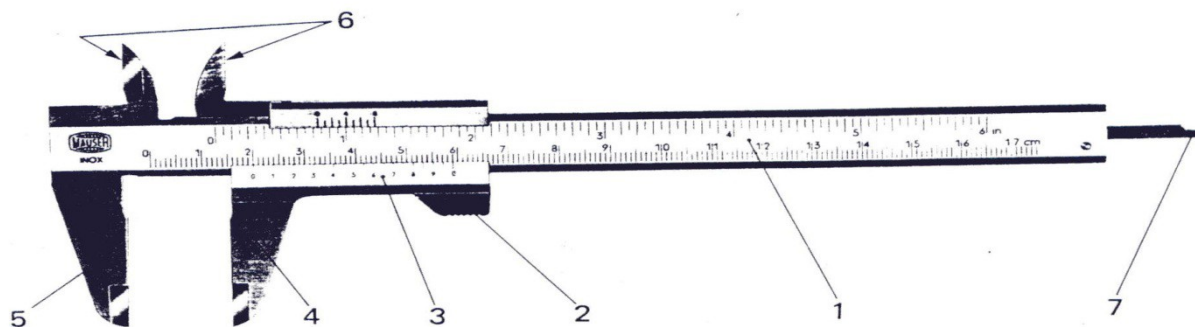


游标卡尺

读数原理：

将两根带有刻线的直尺相互重叠，其中一根固定不动，另一根沿着它作相对滑动。固定不动的直尺称为主尺，沿主尺滑动的直尺称为游标尺（简称游标）。

1. 游标卡尺的结构：



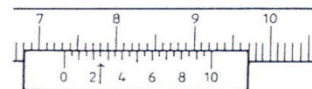
1. 尺身 2. 紧固钮 3. 游标 4. 尺框 5. 下量爪 6. 上量爪 7. 深度尺

2. 游标卡尺的用途：

利用游标卡尺可测量工件的内外尺寸和深度尺寸。



3. 游标量具读数：



$$73 + 0.25 = 73.25$$

游标量具的读数方法

1. 先读整数部分

游标零刻线是读数的基准。先看游标零刻线的左边，主尺上最靠近的一条刻线的数值，该数就是读数的整数部分。

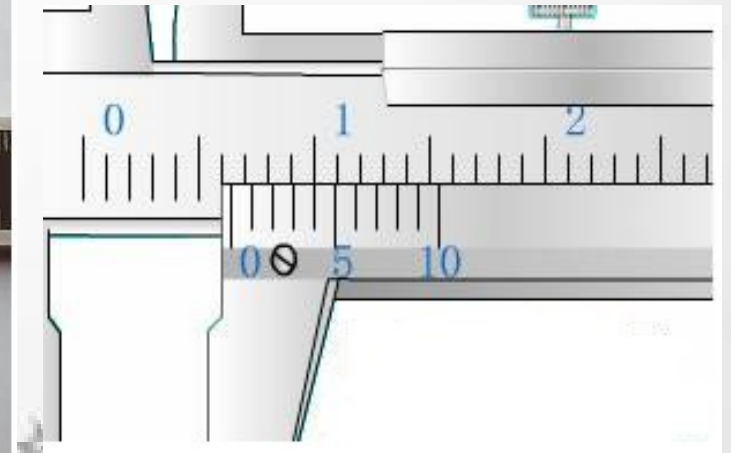
2. 再读小数部分

判断游标零刻线右边是哪一根游标刻线与主尺刻线重合，将该线的序号乘游标分度值之后，所得的积即为读数的小数部分。

3. 求和

将读数的整数部分与读出的小数部分相加即为所求的读数。

用公式概括：所求尺寸 = 主尺整数 + (游标刻线序号 * 游标分度值)



使用注意事项

1. 使用前注意事项

使用卡尺之前，需要注意以下几点：

- (1) 先把量爪和被测零件表面擦干净。
- (2) 检查各部件的相互作用；如尺框和微动装置移动是否灵活，紧固螺钉能否起作用。
- (3) **校对零位**。使卡尺两量爪紧密贴合，应无明显的光隙，主尺零线与游标尺零线应对齐。如果零线对不齐，或量杂、爪有磨损应送计量部门检修。

2. 使用时注意事项

在使用游标卡尺时应注意以下几点：

- (1) 测量时的温度应在允许范围内。
测量前，卡尺应放在被测工件附近，以使卡尺和被测工件具有相同温度。
- (2) 使用卡尺测量**外径**时，应先使卡尺两量爪间距**略大于**被测工件的尺寸，在使量爪接触被测工件表面，并找出**最小尺寸**。



(3) 测量内径时，应先使卡尺两量爪间距略小于被测工件的尺寸，在使量爪接触被测孔表面，并找出最大尺寸。用圆弧形量爪测量内径时，应在读数上再加上两量爪的宽度 b 值，才是所测的内尺寸。

(5) 读数时，卡尺应朝着亮光的方向，目光应垂直尺面。

(6) 不能用卡尺测量运动着的工件。不准以卡尺代替卡钳在工件上拖拉。

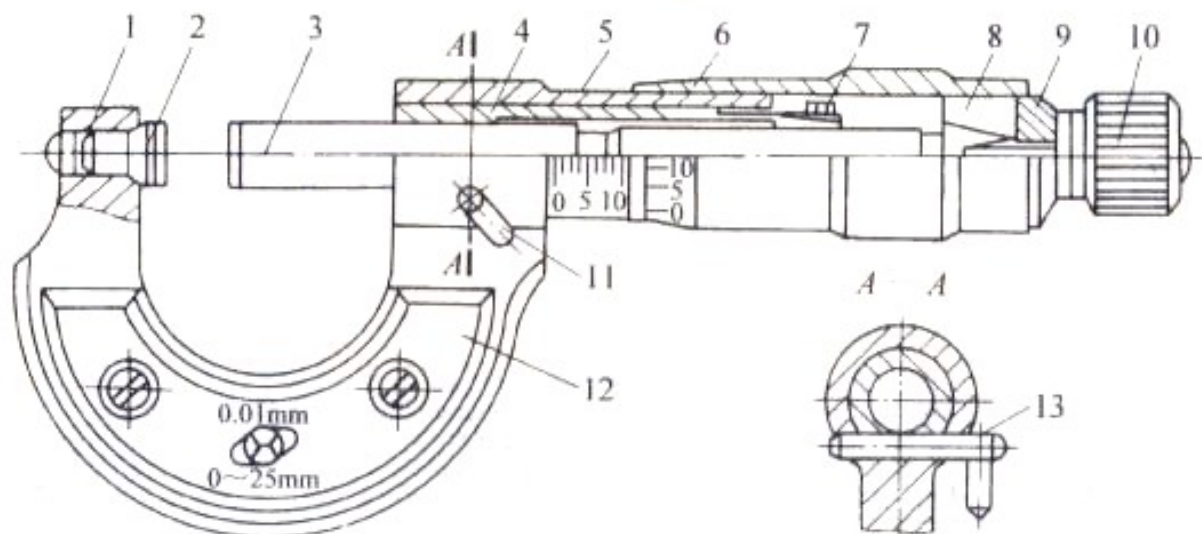
(7) 卡尺不要放在强磁场附近（如磨床的磁性工作台上）。卡尺要远离热源。

3. 使用后注意事项

(1) 卡尺用完后，应松开紧固装置，擦净，放在盒内，量具盒要放在干燥、无振动、无腐蚀性气体的地方。

(2) 应定期进行检定。







外径千分尺



深度千分尺



壁厚千分尺



杆杠千分尺

(一) 千分尺的结构

按用途的不同，螺旋副量具一般分为外径千分尺，杠杆千分尺，公法线千分尺，内侧千分尺，内径千分尺，螺纹千分尺，孔径千分尺，测深千分尺和 V 形砧千分尺等。

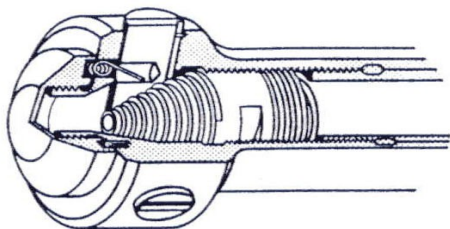
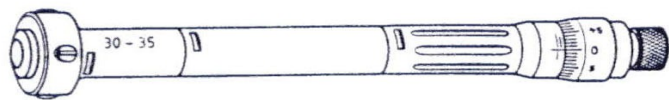
(二) 外径千分尺的用途

按精度的不同，千分尺分为 0 级、1 级和 2 级。千分尺的测量范围有 0~25，25~50，50~75，75~100 (mm)，最大可到 3000mm。

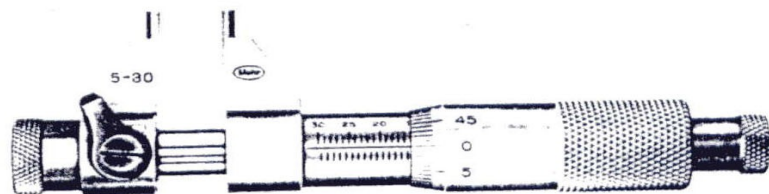
外径千分尺主要用来测量外尺寸



2. 内径千分尺:

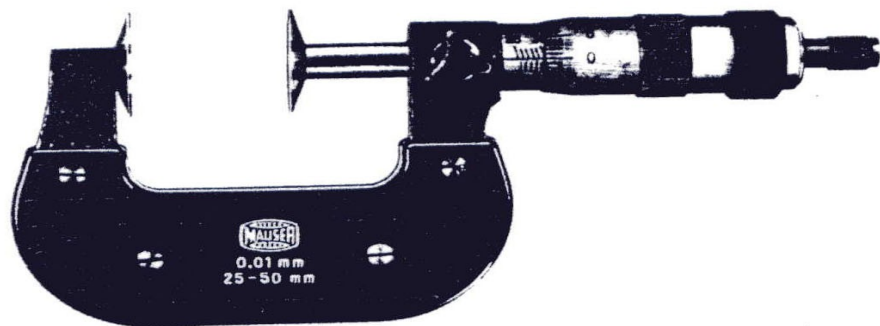


三爪内径千分尺



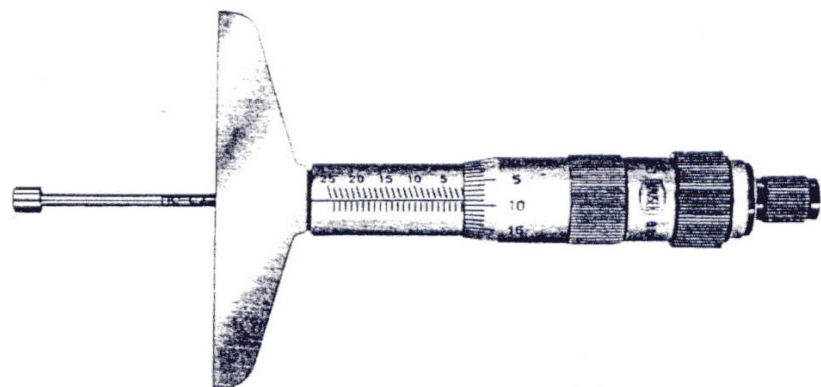
两爪内径千分尺

3. 公法线千分尺



主要用于测量齿轮的公法线长度，公法线长度变动量和公法线平均长度偏差。

4. 深度千分尺



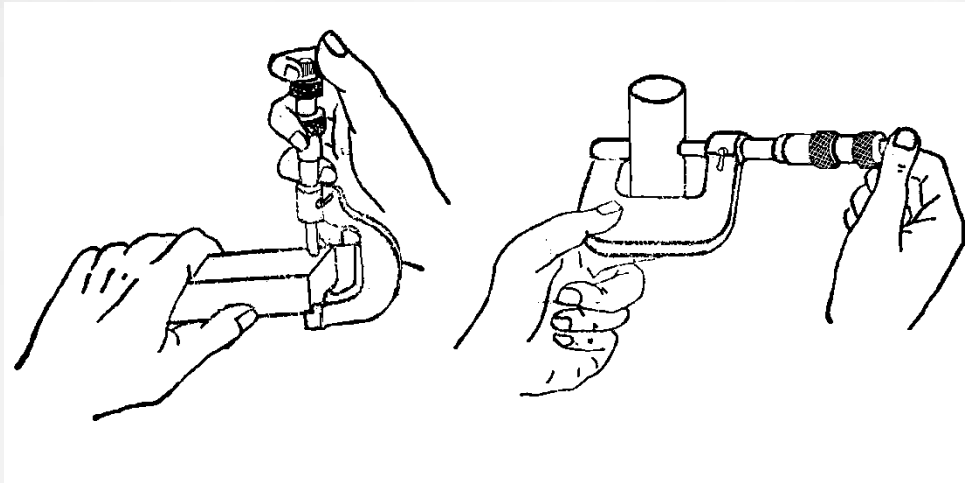
用于测量工件的各种深度尺寸。

千分尺使用步骤

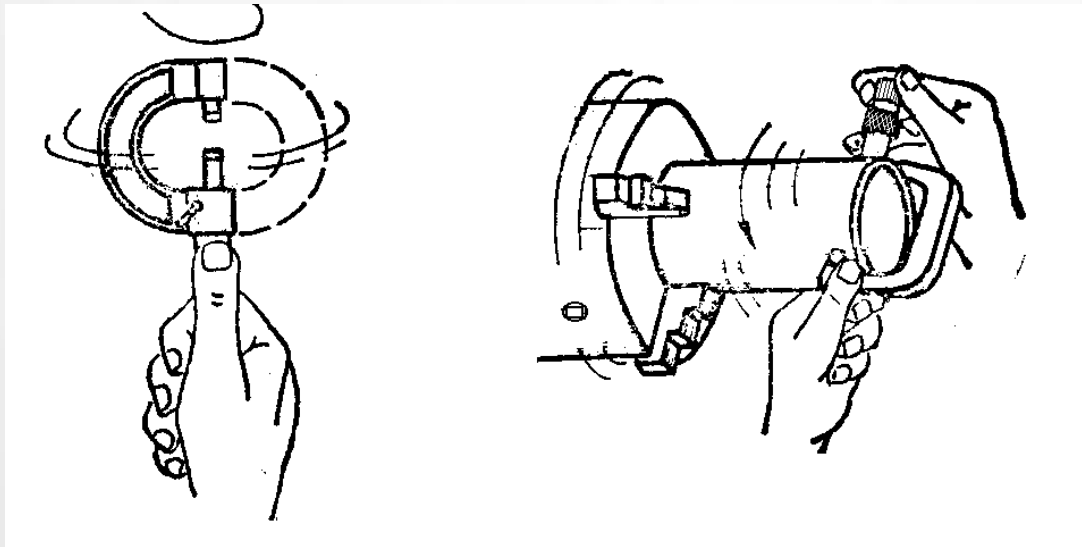
- 1) 擦干净零件被测表面和千分尺的测量面
- 2) 校对外径千分尺的零位
- 3) 根据零件的图纸标注要求, 选择合适规格的千分尺
- 4) 如果测量外圆, 应在圆柱体不同截面、不同方向测量 3—5 点, 记下读数; 若测量长度, 可沿圆周位置测量几点, 记录读数
- 5) 将这些数据取平均值并和图纸要求比较, 判断其合格性



正确使用



(a) 单手使用 (b) 双手使用

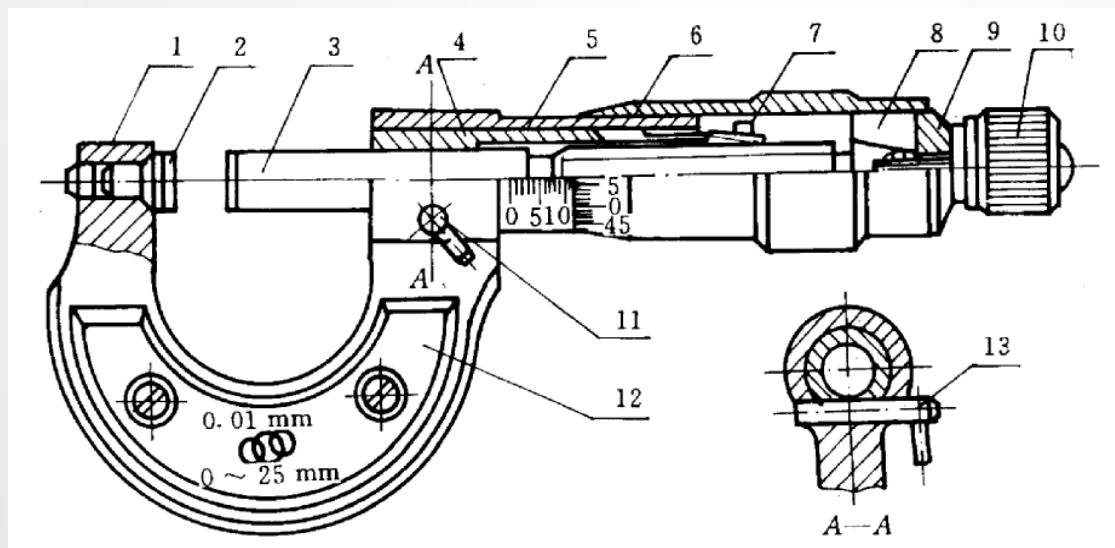


错误使用

千分尺

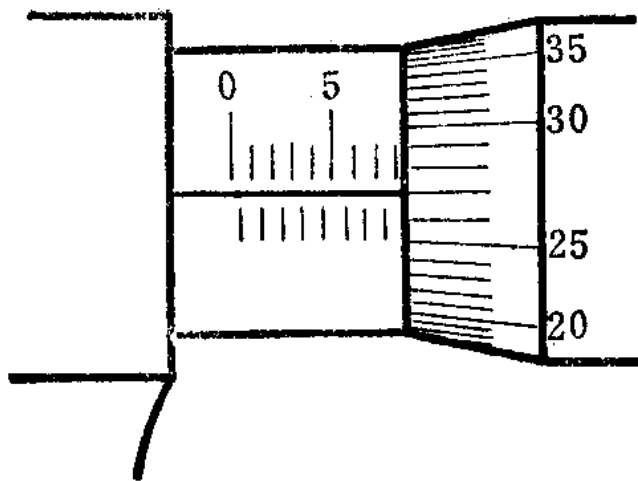
(三) 读数原理

千分尺的读数机构由**固定套管**和**微分筒**组成。在固定套管上刻有纵刻线，作为微分筒读数的基准线，**纵刻线上下方各刻有 25 分度**，**每分度刻线间距为 1mm**，**上一排刻线的起始位置与下一排刻线的起始位置错开 0.5mm**，这样可读得 0.5 数。微分筒圆周刻有 5 个等分刻度，测杆螺杆的螺距为 0.5mm。因此，当微分筒旋转一周时，微分螺杆移动 0.5mm。微分筒旋转一个分度时（即 $1/50$ 转），测微螺杆移动 0.01mm，故千分尺的分度值为 0.01mm。

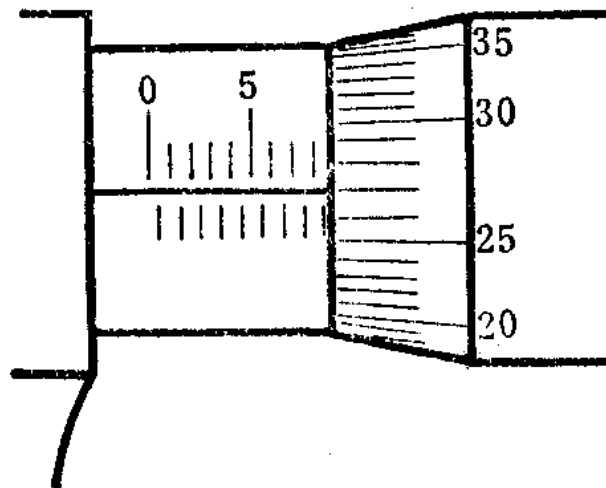


(四) 读数方法

- 1、测量前，应对好零位。
- 2、测量时利用测力装置使两量面与被测工件接触。
- 3、从固定套管上露出的刻线读出被测工件毫米整数和半毫米数，再从微分筒上由固定套管纵刻线所对准的刻线读出被测工件的小数部分（百分之几毫米）。不足一格的数，即千分之几毫米，由估读法确定。将整数和小数部分相加，即为被测工件的尺寸，



(a)



(b)

使用外径千分尺注意事项

1) 外径千分尺是一种精密的量具，使用时应小心谨慎，动作轻缓，不要让它受到打击和碰撞。千分尺内有一精密的细牙螺纹，使用时要注意：

① 微分筒和测力装置在转动时不能过分用力；

② 当转动微分筒带动活动测头接近被测工件时，一定要改用测力装置旋转接触被测工件，不能直接旋转微分筒测量工件

③ 当活动测头与固定测头卡住被测工件或锁住锁紧装置时，不能强行转动微分筒



2) 外径千分尺的尺架上装有隔热装置，以防手温引起尺架膨胀造成测量误差。所以测量时，应手握隔热装置，尽量减少手和千分尺金属部分接触

3) 外径千分尺使用完毕，应用布擦干净，在固定测头和活动测头的测量面间留出空隙，放入盒中。如长期不使用可在测量面上涂上防锈油，置于干燥处



任务二：测量误差及其处理

一、测量误差

1、测量误差的概念

(1) 绝对误差：---- 指测量值与真值之差的绝对值

$$\Delta = |x - x_0| \quad x - \text{测量值}, \quad x_0 - \text{真值}$$

(2) 相对误差：---- 指绝对误差与真值之比。

$$f = |\Delta|/x_0 \approx |\Delta|/x$$

注：相对误差更能说明测量的精确程度。如测量 20mm 和 200mm 的尺寸时，绝对误差同为 0.02mm 时，它们的相对误差分别为 $f_1 = 0.02/20 = 0.1\%$, $f_2 = 0.02/200 = 0.01\%$. 明显，后者的相对误差更小，测量更精确。



2、测量误差产生的原因：

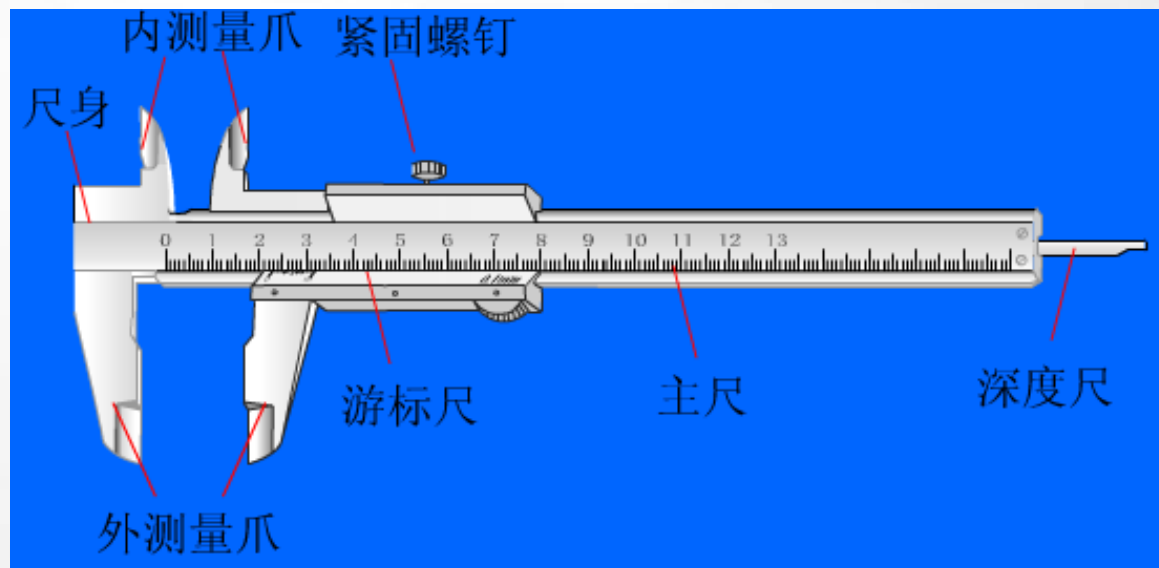
(1)、计量器具的误差

比如游标卡尺

内外测量爪和深度尺在测量中会有磨损，特别是不正确使用。

主尺身与活动的游标尺之间的配合可能会有松动。

所以，游标卡尺是要每年送检一次的（计量单位要对其进行检测、校正）。



2、基准件的误差

(1) 量块的制造误差。

(2) 量块的使用误差。

标称长度 l/mm		量块制造精度					
		00 级		0 级		K 级	
		长度/ μm					
大于	到	极限偏差 $+D$	变 动 量 允 许 值 T_v	极限偏差 $+D$	变 动 量 允 许 值 T_v	极限偏差 $+D$	变 动 量 允 许 值 T_v
0.5		0.06	0.05	0.12	0.10	0.20	0.05
0.5	10						
10	25	0.07	0.05	0.14	0.10	0.30	0.05
25	50	0.10	0.06	0.20	0.10	0.40	0.06
50	75	0.12	0.06	0.25	0.12	0.50	0.06
75	100	0.14	0.07	0.30	0.12	0.60	0.07
100	150	0.20	0.08	0.40	0.14	0.80	0.08
150	200	0.25	0.09	0.50	0.16	1.00	0.09
200	250	0.30	0.10	0.60	0.16	1.20	0.10
0.5		0.20	0.10	0.45	0.30	1.0	0.50
0.5	10						
10	25	0.30	0.16	0.60	0.30	1.2	0.50
25	50	0.40	0.18	0.80	0.30	1.6	0.55
50	75	0.50	0.18	1.00	0.35	2.0	0.55
75	100	0.60	0.20	1.20	0.35	2.5	0.60
100	150	0.80	0.20	1.60	0.40	3.0	0.65
150	200	1.00	0.25	2.00	0.40	4.0	0.70
200	250	1.20	0.25	2.40	0.45	5.0	0.75

3、方法误差

测量方法不完善造成的。（包括计算公式不准确，测量方法选择不当，工件安装、定位不准确等）

如用游标卡尺这类接触测量时，若用力过度或不足，使被测零件和测量工具产生变形，或卡尺与测量面接触不好，从而产生的测量误差。



4、环境误差

若环境温度不在标准温度的 20 度时，材料都有热胀冷缩的现象，从而产生测量误差。

5、读数误差

如由于人的视力分辨能力，或当指针刚好在相邻两刻线之间时，就需要进行估计等形成的测量误差。



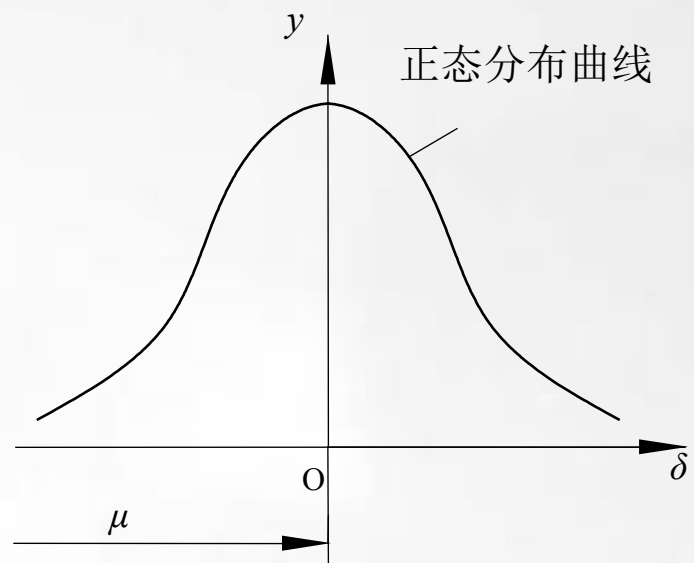
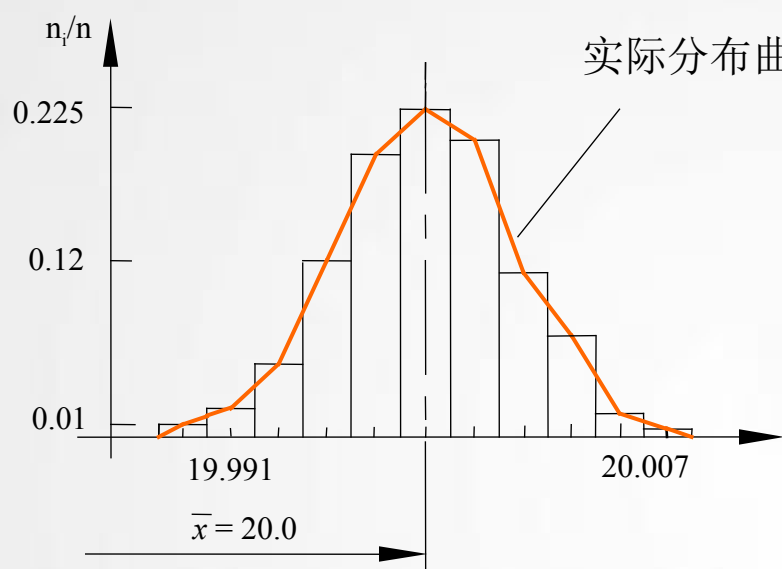
二、测量误差的处理

1、随机误差的特性

对同一零件的同一尺寸，用相同的方法进行 150 次重复测量，得 150 个测量值；分组，其测量值和出现次数如下表

尺寸分组区间 / mm	组号	区间中心值 / mm	每组出现的次数 (频数 n_i)	频率 (n_i/n)
19.990 ~ 19.992	1	19.991	2	0.01
19.992 ~ 19.994	2	19.993	4	0.02
19.994 ~ 19.996	3	19.995	10	0.05
19.996 ~ 19.998	4	19.997	24	0.12
19.998 ~ 20.000	5	19.999	37	0.185
20.000 ~ 20.002	6	20.001	45	0.225
20.002 ~ 20.004	7	20.003	39	0.195
20.004 ~ 20.006	8	20.005	23	0.115
20.006 ~ 20.008	9	20.007	12	0.06
20.008 ~ 20.010	10	20.009	3	0.015
20.010 ~ 20.012	11	20.011	1	0.005





正态分布图



2、随机误差的处理

经 10(常 5~15) 次的测量，得右图表格数据。

解：(1) 算术平均值 $\bar{x} = 1/n \sum x_i = 50.475$

(2) 求残余误差 $\sum v_i = 0, \sum v_i^2 = 38$

(3) 单次测量的标准偏差 σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2}$$

$$= \sqrt{\frac{38}{10-1}}$$

$$\approx 2.05$$

x_i / mm	$v_i = x_i - \bar{x} / \mu\text{m}$	$v_i^2 / \mu\text{m}^2$
50.454	-3	9
50.459	+2	4
50.459	+2	4
50.454	-3	9
50.458	+1	2
50.459	+2	4
50.456	-1	1
50.458	+1	1
50.458	+1	1
50.455	-2	4
$\bar{X} = 50.475$	$\sum v_i = 0$	$\sum v_i^2 = 38$

(4) 求算术平均值的标准偏差

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n} = 2.05 / \sqrt{10} = 0.65 \quad \pm 3\sigma_{\bar{x}} = \pm 1.95 \mu m \approx \pm 0.002 mm$$

(5) 处理最后结果:

$$\text{尺寸} = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}} = 50.457 \pm 0.002 \text{ mm}$$



测量序号	测得值 x_i/mm	残差 $v_i (v_i = x_i - \bar{x})/\mu\text{m}$	残差的平方 $v_i^2/\mu\text{m}^2$
5	34.958		
6	34.956		
7	34.957		
8	34.958		
9	34.955		
10	34.957		
11	34.959		
12	34.955		
13	34.956		
14	34.957		
15	34.958		
算术平均值	$\bar{x}$	$\sum v_i$	$\sum v_i^2$

参考答案

(续)			
测量序号	测得值 x_i/mm	残差 v_i ($v_i = x_i - \bar{x}$)/ μm	残差的平方 $v_i^2/\mu\text{m}^2$
5	34.958	+1	1
6	34.956	-1	1
7	34.957	0	0
8	34.958	+1	1
9	34.955	-2	4
10	34.957	0	0
11	34.959	+2	4
12	34.955	-2	4
13	34.956	-1	1
14	34.957	0	0
15	34.958	+1	1
算术平均值 34.957		$\sum v_i = 0$	$\sum v_i^2 = 26$

参考答案

③ 计算残差 各残差的数值经计算后列于表 2-5 中。按残差观察法, 这些残差的符号大体正、负相间, 没有周期性变化, 因此可以认为测量列中不存在变值系统误差。

④ 计算测量列单次测量值的标准偏差 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \gamma_i^2}{N-1}} \approx 1.3 \mu\text{m}$ 。

⑤ 判断粗大误差 按拉依达准则, 测量列中没有出现绝对值大于 3σ ($3 \times 1.3 = 3.9 \mu\text{m}$) 的残差, 即测量列中不存在粗大误差。

⑥ 计算测量列算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \approx 0.35 \mu\text{m}$ 。

⑦ 计算测量列算术平均值的测量极限误差 $\delta_{\text{lim}(\bar{x})} = \pm 3\sigma_{\bar{x}} = \pm 1.05 \mu\text{m}$ 。

⑧ 确定测量结果 $x_e = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}} = 34.957 \pm 0.0011 \text{mm}$ 。这时的置信概率为 99.73%。



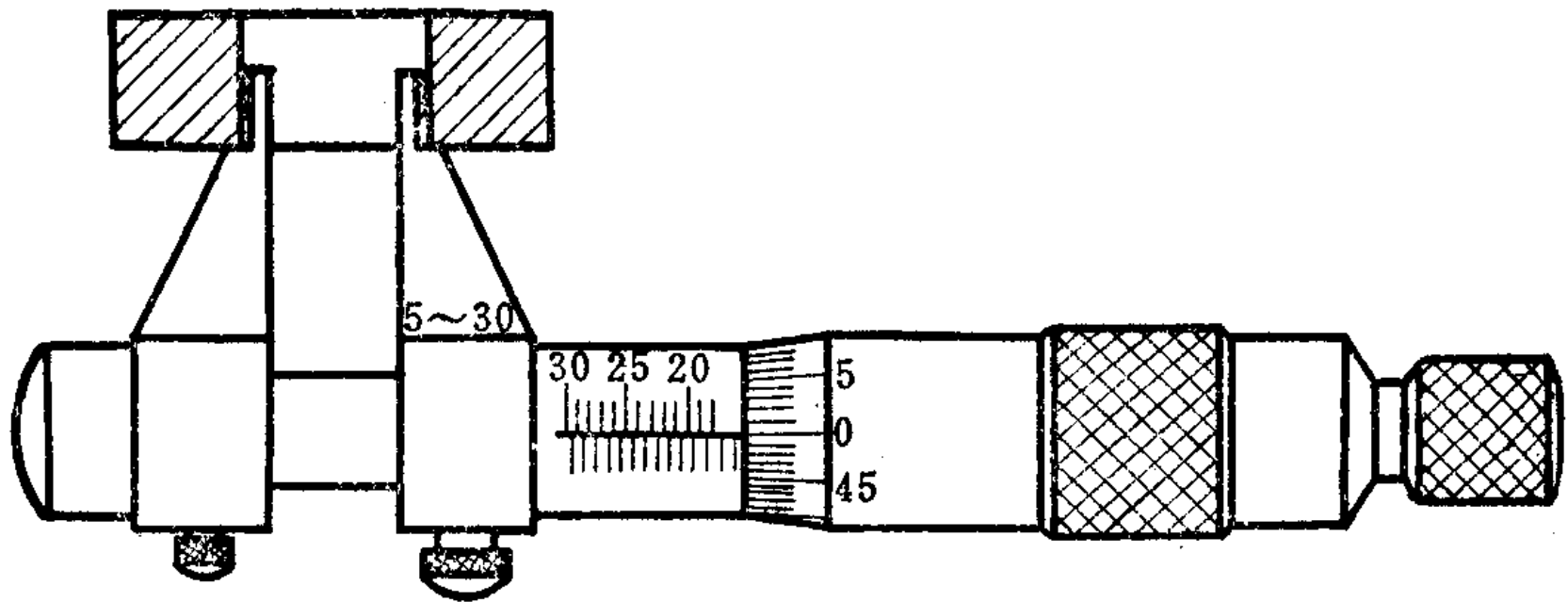
内孔及中心高测量

1、实训目的

- 1) 内径百分表、杠杆百分表结构及使用方法
- 2) 掌握用内径百分表测量内孔
- 3) 相对测量法检测中心高
- 4) 掌握用游标卡尺测量内孔的方法



内径千分尺



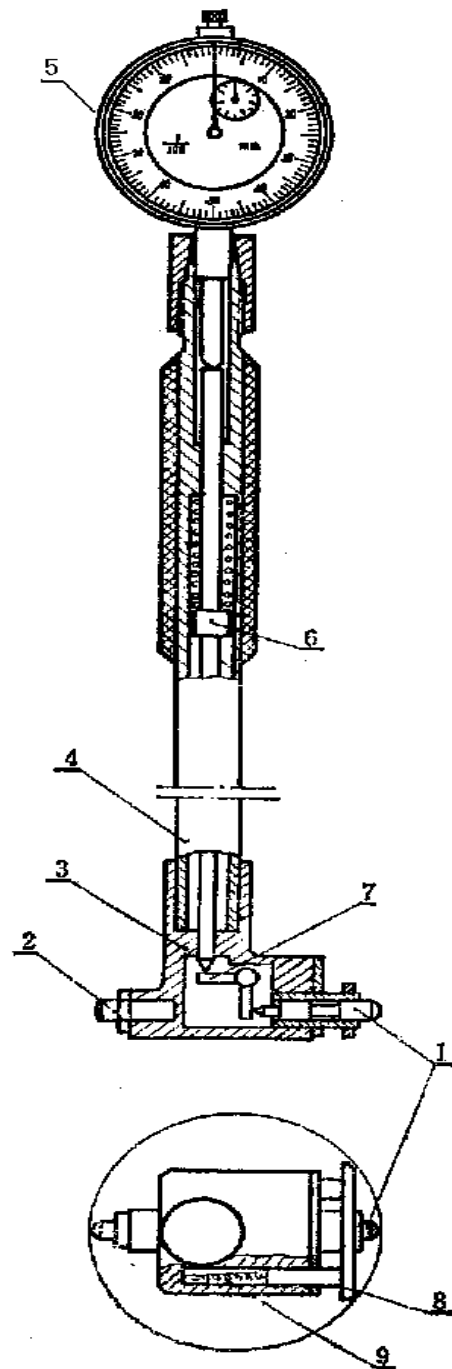
内测百分尺如图所示，是测量小尺寸内径和内侧面槽的宽度。其特点是容易找正内孔直径，测量方便。国产内测百分尺的读数值为 **0.01mm**，测量范围有 **5 ~ 30** 和 **25 ~ 50mm** 的两种，图所示的是 **5 ~ 30mm** 的内测内径千分尺。内径千分尺的读数方法与外径千分尺相同，只是套筒上的刻线尺寸与外径百分尺相反，另外它的测量方向和读数方向也都与外径百分尺相反。

内径百分表

(一) 内径百分表的结构型式、工作原理和用途

内径百分表是用比较法测量内尺寸的表类量具，可测孔径或槽宽及其几何形状误差。内径百分表由百分表和表架组成。

国产内径百分表的读数值为 0.01mm ，测量范围有 $10 \sim 18$ ； $18 \sim 35$ ； $35 \sim 50$ ； $50 \sim 100$ ； $100 \sim 160\text{mm}$ ； $160 \sim 250$ ； $250 \sim 450$ 。



内径百分表的使用方法

- 内径百分表用来测量圆柱孔，它附有成套的可调测量头，使用前必须先进行组合和校对零位。
- 测量前应根据被测孔径大小用外径百分尺调整好尺寸后才能使用，如图2所示。在调整尺寸时，正确选用可换测头的长度及其伸出距离应使被测尺寸在活动测头总移动量的中间位置。
- 组合时，将百分表装入连杆内，使小指针指在0~1的位置上，长针和连杆轴线重合，刻度盘上的字应垂直向下，以便于测量时观察，装好后应予紧固。

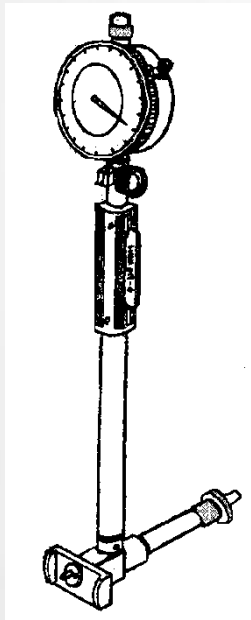


图1 内径百分表

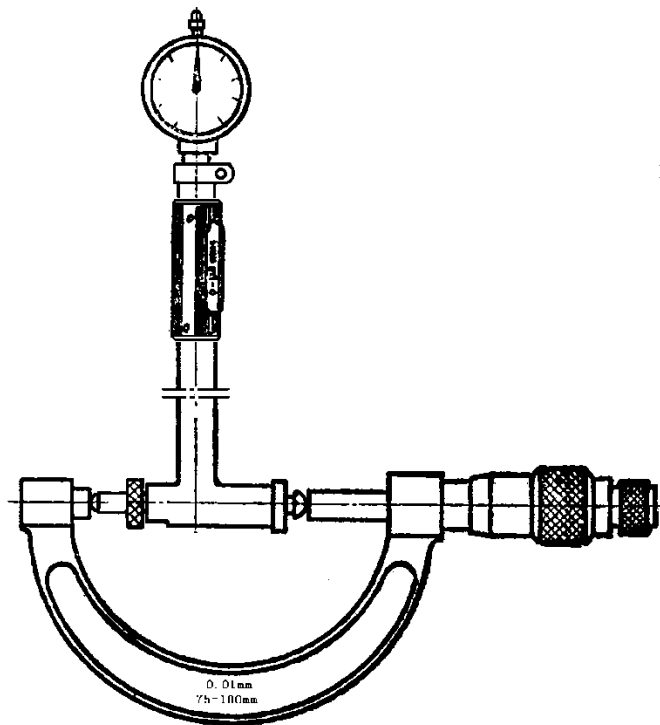
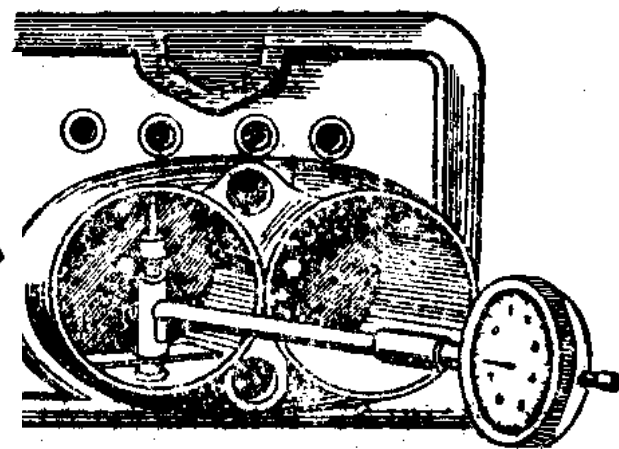
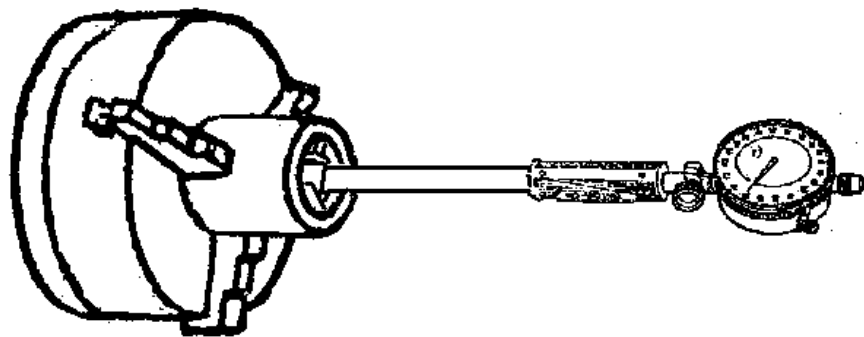
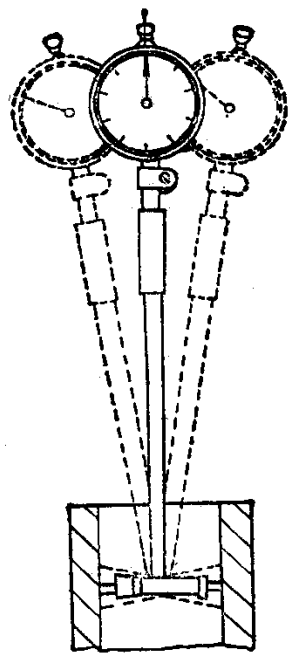


图2 用外径百分尺调整

- 粗加工时，最好先用游标卡尺或内卡钳测量。因内径百分表同其它精密量具一样属贵重仪器，其好坏与精确直接影响到工件的加工精度和其使用寿命。粗加工时工件加工表面粗糙不平而测量不准确，也使测头易磨损。因此，须加以爱护和保养，精加工时再进行测量。
- 测量时，连杆中心线应与工件中心线平行，不得歪斜，同时应在圆周上多测几个点，找出孔径的实际尺寸，看是否在公差范围以内。
- 如图所示。



内孔测量

- 1) 根据零件图纸被测孔的基本尺寸，选择合适的可换测头
- 2) 将可换测头装在量脚上并用螺母固定。使其尺寸比基本尺寸大 0.5 mm 左右
- 3) 将百分表装入量杆，并使百分表预压 0.2—0.5mm ，即指针偏转 20—50 小格，拧紧百分表的紧定螺母
- 4) 将外径千分尺调节至被测孔的基本尺寸 30mm ，并锁紧



- 5) 然后把内径百分表测头置于千分尺的两测量面间，摆动内径百分表，找到最小值
- 6) 将百分表指针调到零位
- 7) 内径百分表测头插入被测孔内，找到最小值，记下尺寸。
- 8) 孔中的不同位置和方向进行多次测量，记下直径尺寸。
- 9) 用分度值大于 0.01mm 的游标卡尺测量内孔尺寸，对两者结果进行比较，确定游标卡尺测量的准确性。
- 10) 根据测量结果判断被测孔的合格性



（二）内径百分表的使用注意事项

（1）测量前，应根据被测工件的尺寸，选用相应尺寸的**固定测量头**。

（2）对表时，**应预先将百分表压缩 1mm**。即使用内径百分表读数时，百分表的读数为 **1mm** 左右。

（3）测量读数时，内径百分表的**固定测头与活动测头的连线应与被测孔轴心线垂直，即应在被测孔横截面内找最大值，应在被测孔轴截面内找最小值**。测量槽宽时，应绕水平和垂直轴方向旋转，找其最小值。具有定心器的内径百分表，在测量内孔时，只要将仪器按孔的轴线方向来回摆动，



4) 使用前，应检查测量杆活动的灵活性。即轻轻推动测量杆时，测量杆在套筒内的移动要灵活，没有如何轧卡现象，每次手松

开后，指针能回到原来的刻度位置。

5) 使用时，必须把百分表固定在可靠的夹持架上。切不可贪图省事，随便夹在不稳固的地方，否则容易造成测量结果不准确，

或摔坏百分表。

6) 测量时，不要使测量杆的行程超过它的测量范围，不要使表头突然撞到工件上，也不要用于百分表测量表面粗糙度或有

显

著凹凸不平的工作。



7) 测量平面时，百分表的测量杆要与平面垂直，测量圆柱形工件时，测量杆要与工件的中心线垂直，否则，将使测量杆活动不灵或测量结果不准确

8) 为方便读数，在测量前一般都让大指针指到刻度盘的零位。

9) 百分表不用时，应使测量杆处于自由状态，以免使表内弹簧失效



误差的处理

- 处理方法与轴外径实验相同

