

互 换 性 与 技 术 测 量

实 验 指 导 书

121
3326

华中工学院

标准化与计量测试教研室

一九八一年十月

目 录

实验规则

实验报告一般内容及要求

量块和几种常用量具的正确使用

1. 量块的正确使用
2. 游标尺与百分尺的使用
3. 指标表的使用

实验一 长度尺寸的测量——比较仪的使用

实验二 表面光洁度的测量

实验 2—1 用双管显微镜测量表面光洁度

实验 2—2 用干涉显微镜测量表面光洁度

实验三 精密螺纹的测量

实验 3—1 三针法测量螺纹中径

实验 3—2 大型工具显微镜的使用

实验四 角度与锥度的测量

实验五 典型零件的形位误差的测量

实验 5—1 主轴的检验

实验 5—2 箱体的检验

实验 5—3 导轨直线度的测量

实验 5—4 平面度测量

实验六 齿 轮 测 量

实验 6—1 齿轮齿圈径向跳动的测量

实验 6—2 齿轮公法线平均长度偏差与齿轮公法线变动的测量

实验 6—3 齿轮周节差与周节累积误差的测量

实验 6—4 齿轮基节的测量

实验 6—5 齿轮固定弦齿厚的测量

实验 6—6 齿轮双面啮合综合测量

实 验 规 则

1) 实验前必须按实验指导书有关部分充分准备, 凡未进行预习者, 不得参加实验(预习按教师规定在课前进行或在实验室进行)。

2) 进入实验室前, 应将衣帽上的灰尘除净, 换上拖鞋, 除必要书籍、指导书、笔记本、报告纸及文具外, 其他杂物不得带入室内。

3) 室内禁止高声谈笑、跑步、吸烟、乱抛纸屑和废棉花, 用铅笔随意乱画, 把铅笔屑、橡皮屑和墨水弄在地板上及一切影响仪器维护保养与实验室清洁整齐美观的行为。

4) 凡与本次实验无关的仪器, 均不得使用或抚摸。

5) 使用仪器时应加倍小心, 操作时不要用力过猛, 不准用手摸镜头(当需要擦镜头时, 应该用专用的擦镜头纸及毛刷), 未经允许, 不得接通电源(要通过变压器), 量仪工作表面均不宜用汗手接触。

6) 对仪器使用方法不清楚时, 不要乱动仪器。当仪器发生故障时, 应立即报告指导教师处理, 不得自行强作修理。

7) 所有量具及仪器, 均不得擅自拆开。

8) 一切量仪, 工具使用完后, 其有关表面应该用汽油洗净, 用棉花擦乾(特别要去掉手印汗迹), 然后再涂上凡士林或防锈油并全部还原。

9) 实验完成后, 应将测量结果交指导教师检查, 经教师同意后方能离开实验室。

实验报告的一般内容及要求

填写实验报告要求: 测量原理清楚, 测量方法正确, 测量数据可靠, 书写恭整。
其一般内容如下:

- 1) 实验名称;
- 2) 所用仪器、工具名称与规格;
- 3) 测量原理简述;
- 4) 被测工件(绘出草图, 注明被测部位、基本尺寸、极限偏差或公差);
- 5) 测量结果(列表, 注意数据的单位与符号)及适用性结论;
- 6) 误差分析与实验心得。

量块和几种常用量具的正确使用

一、量 块

量块是平面平行长度端面量具，作为长度测量的基准，用于检定和校对量仪和量具，比较测量时，用来作为标准尺寸，调整仪器的零位，还可用来直接测量高精度工件的尺寸及精密划线用。通过量块作媒介，使长度的自然基准（氪 86 光波波长）逐级地传递到各种量仪和量具，最后以量具测量工件，形成了量值传递系统，从而保持量值的统一。

量块上测量面中点至与其下测量面相研合的平晶的距离为工作尺寸——标准长度（图 1）。尺寸 $\leq 5.5\text{mm}$ 时，将数字刻在测量面上；尺寸 $> 6\text{mm}$ 的量块，数字刻在非测量面上。

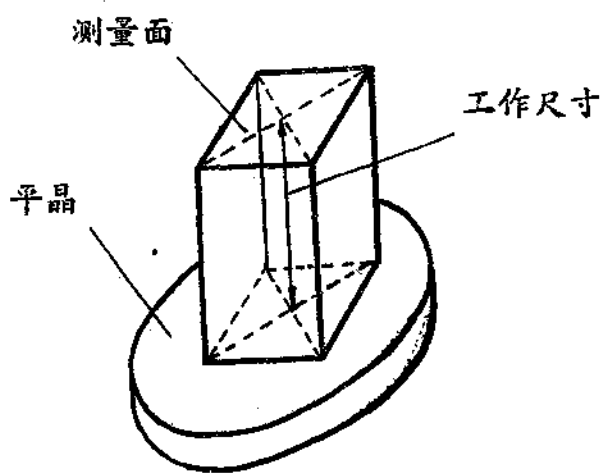


图 1

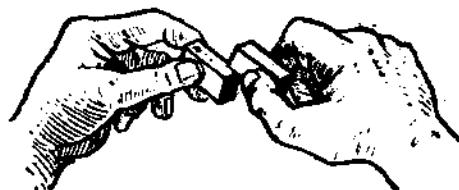


图 2

量块具有可研合的特性，当将量块用汽油洗净后，用少许压力把两块量块工作面相推合后，两量块可牢固地联结在一起，因而可按照需要，把不同工作尺寸的量块组合起来使用，其组合原则是：为了减少组合误差，应选尽可能少的量块数目组成块规组，测量时可按被测零件的基本尺寸或极限尺寸组合（图 2）。

例。试组成尺寸 23.265 mm

23.265	
- 1.005	 第一块
22.26	
- 1.06	 第二块
21.20	
- 1.20	 第三块
20.00	 第四块

为了组成各种尺寸，量块是成套制造的，一套包括一定数量的不同尺寸的量块，装成一盒，量块的编套见表 1。

表 1

组	间 隔	成 套 量 块					
		83块		38块		9块	
		尺寸(mm)	块 数	尺寸(mm)	块 数	尺寸(mm)	块 数
1	0.001	1.005	1	1.005	1	1.001~1.009	9
2	0.01	1.01~1.49	49	1.01~1.09	9		
3	0.1	1.6~1.9	4	1.1~1.9	9		
4	0.5	1.5~9.5	19	1~9	9		
5	10	10~100	10	10~100	10		

根据量块中心长度制造的极限偏差和平面平行性偏差划分量块的精度等级。分为四级(0, 1, 2, 3级, 其中0级最高); 按检定精度分为5等(1, 2, 3, 4, 5等, 其中1等最高)。

量块按级使用时, 所依据的是刻在量块上的基本尺寸, 按等使用时, 所依据的则是量块的实际尺寸。

使用量块时, 要正确研配, 避免划伤测量面, 在测量过程中, 严禁碰撞或掉落地上, 使用完毕, 要用绸布和航空汽油洗净并涂上防锈油。

为了减少温度影响, 使用量块时应尽量避免量块与手直接接触, 最好用竹镊子夹持, 否则将因热膨胀引起测量误差。图3所示为100mm量块的误差曲线, 从图可看出, 在手指放开后, 要经较长时间温度才能平衡。

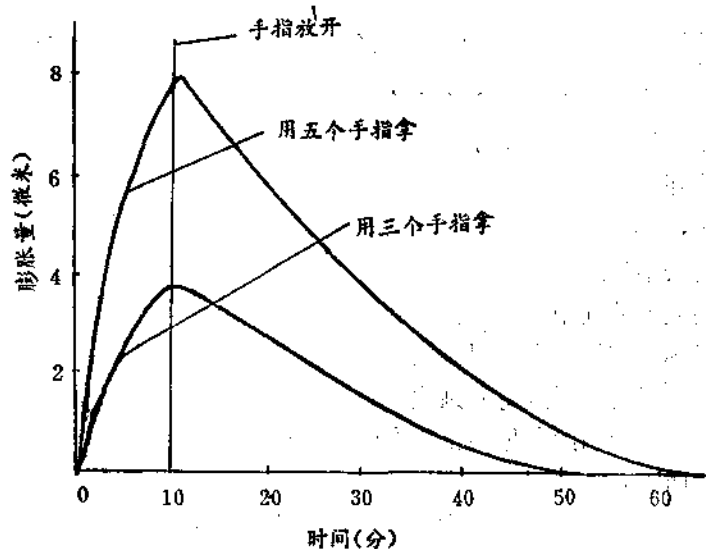


图 3

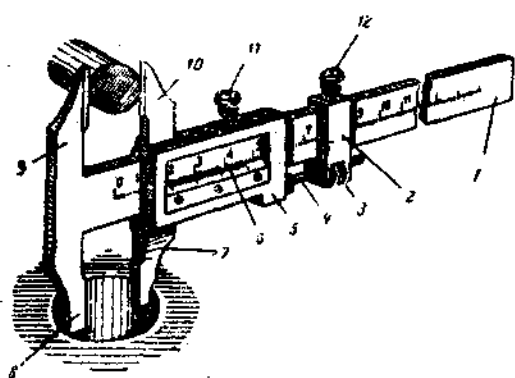
二、游标尺、百分尺

(一) 游标尺、百分尺的读数原理

1. 游标尺

游标尺按结构与用途分为: 游标卡尺、游标深度尺与游标高度尺三种。

游标卡尺构造及用法如图4,a所示, 调节两量爪距离时, 应先松开螺钉11与12。当量爪与工件表面接触时欲作微调节, 可在固定螺钉12后旋转螺母3(此时螺钉11必须松开)。



1—主尺；2—框架；3—调节螺母；
4—螺杆；5—游框；6—游标；
7、8、9、10—量爪；11、12—固紧螺钉。

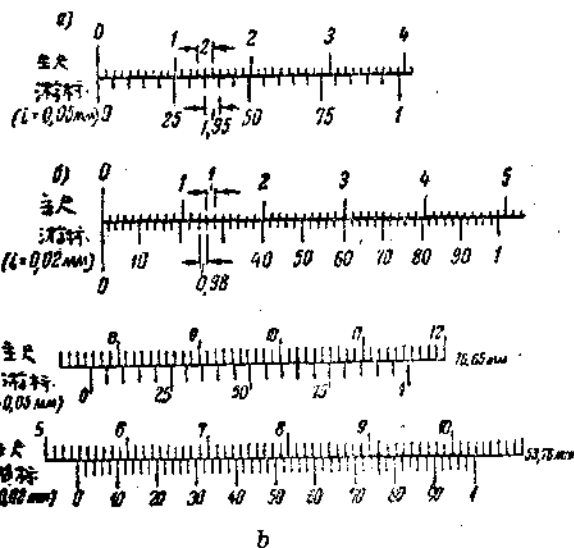


图4 游标卡尺

游标刻度值有0.1、0.05、0.02毫米等数种，其刻度原理与读数方法相同，都是利用游标1个刻度间距与主尺1或2刻度间距的微小差值（此差值即游标的刻度值）及其累积数以估计主尺刻度的小数部份读数。图4, b)所示为游标尺的读数方法，读数时应首先确定在主尺零线与游标零线之间有多少整数毫米，其次应在游标6上先找三根刻线并判别是否中线与主尺刻线重合，若重合则两旁刻线均偏向中线，游标重合刻线序号乘上游标刻度值即可得主尺刻度小数部份读数（若游标上所标不是游标刻线序号，而是游标读数——即刻线序号乘上刻度值，则可直接读数而不必计算）。

游标深度尺与游标高度尺如图5、图6所示。

2. 百分尺

百分尺按用途可分为：外径百分尺，内径百分尺与深度百分尺三种。其刻度值通常均为0.01毫米。测量范围有0—25毫米，25—50毫米…等多种（外径百分尺结构如图7所示）。测量时手持弓架1（绝热部分），旋转微分筒5，使微动螺杆4前进。当螺杆前端与工件表面接近时，再旋棘轮定压机构6至测量面与工件接触抵紧后，棘轮就会在销

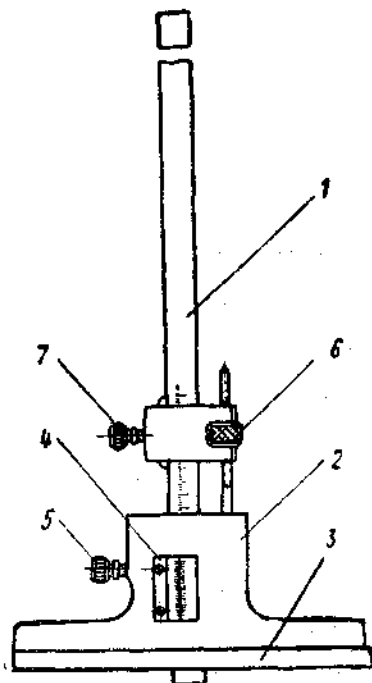


图5 游标深度尺

1—主尺；2—横座；3—横尺；4—游标；
5、7—固紧螺钉；6—调节螺母。

子上打滑而发出喀喀响声，螺杆也就停止前进，此时便可读数。

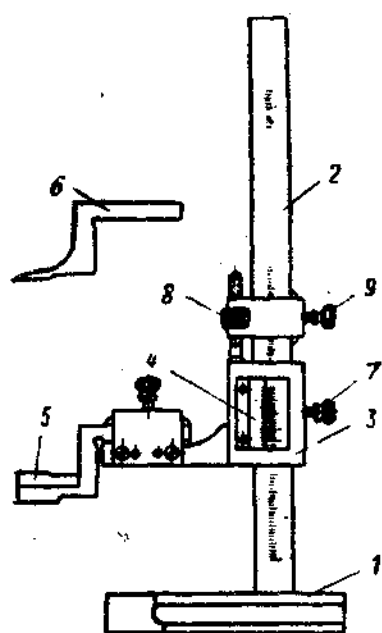


图6 游标高度尺

1—底座；2—主尺；3—游框；
4—游标；5、6—量爪；7、9—固
紧螺钉；8—调节螺母。

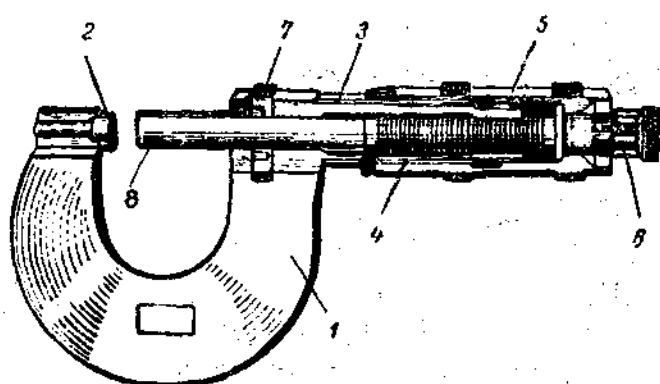
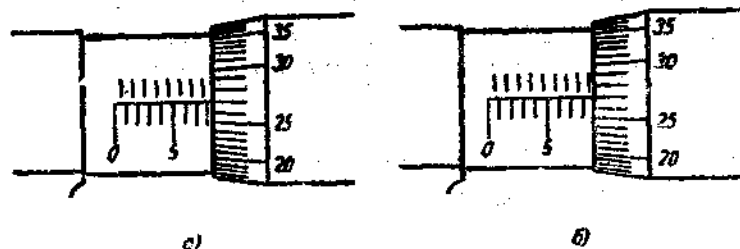


图7 外径百分尺

1—弓架；2—固定量砧；3—刻度为0.5毫米的固定套筒；
4—微动螺杆；5—微分筒；6—棘轮定压机构；7—紧圈。

百分尺是利用螺旋的直线位移与角位移成比例的原理进行测量和读数的。如图8所示，固定套筒上刻有上下两排刻度线，间距均为1毫米，而相邻上下两刻线间距为0.5毫米，即与微动螺杆的螺距相等。微分筒上刻有50个等分刻度。当微分筒转一圈时，螺杆的轴向位移为0.5毫米，转筒转一格（ $\frac{1}{50}$ 圈）时，螺杆

的轴向位移为 $\frac{0.5}{50} = 0.01$ 毫米（即百分尺的刻度值）。因此，在读数时，首先应从固定套筒的上下两排刻度读出整数毫米与0.5毫米以下的读数（以固定套筒上的长横线作为固定指标线）。百分尺读数举例见图8。



a) 读数：8+0.027

b) 读数：8+0.5+0.27=8.77

图8 百分尺读数举例

深度百分尺如图 9 所示, 内径百分尺如图 11 所示。

(二) 测量方法

1) 选择量具: 按工件形状, 各被测部位基本尺寸与公差大小分别选择适当刻度值与测量范围的量具。

2) 校对量具: 用棉花浸汽油或无水酒精将量具度量面擦净后, 检查零点读数的正确性。记下零点示值误差, 以其值的反号作为校正值。

对游标卡尺, 使两度量面相合进行检查。游标高度尺与游标深度尺在平板上进行检查。

对 0—25 毫米百分尺, 直接将两度量面相合进行检查。对测量范围大于 25 毫米的百分尺, 用校对杆或量块校对。内径百分尺用标准环规, 装在量块夹中的量块或外径百分尺校对。深度百分尺在平板上校对。对测量范围大于 25 毫米的深度百分尺, 在校对时尚需用标准环规或量块。

3) 进行测量: 将工件表面擦净, 对各指定部位分别用适当量具进行测量。每一部位量三次, 取其平均值作为测量结果。

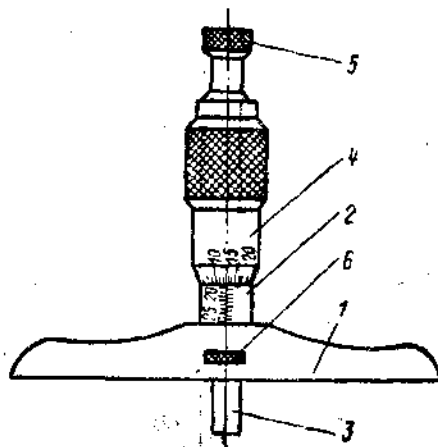


图9 深度百分尺

1—横尺; 2—固定套筒; 3—量杆; 4—微分筒;
5—棘轮定压机构; 6—锁紧螺母。

(三) 影响测量精度因素及测量时应注意事项

1) 正确使用量具: 在使用游标卡尺时, 如图 10 所示, 由于被测尺寸 A 与刻度尺不在同一直线上, 若量爪因测量力 P 的作用及间隙 Δ_1 的影响而歪斜, 则会引起测量误差 $\Delta = -\frac{a}{b} \Delta_1$ 。为减小此误差, 应减小 a , 即使被测工件尽可能靠近主尺刻度安放。

2) 控制测量力: 在用游标尺测量时, 测量力由感觉控制。工件在量具度量面间不应被压得太紧, 但也不允许松动。如图 10 所示, 磨擦阻力 R 由弹簧片决定, 一般约为 0.5~1 公斤, 测量力 P 不大于 0.5 公斤, 所以由感觉控制的外加作用力 T 约为 1~1.5 公斤, 一般轻微压紧即可。

在用百分尺测量时, 测量力由棘轮定压机构控制。不应旋转微分筒到螺杆度量面已与工件表面接触抵死, 而后再转棘轮定压机构 (这样, 棘轮定压机构不能起到保持测量力恒定的作用)。必须在螺杆度量面尚未与工件表面接触时即旋转棘轮, 且应平稳, 不得有任何加速和冲击, 当棘轮与销子打滑发出喀喀声数响后, 即不要再转, 以减少棘轮机构的磨损。

3) 寻找正确测量部位: 量具对工件的相对位置必须正确以保证所测得指定部位的 实际尺寸。例如, 在用内径百分尺测孔径时, 应将百分尺在孔的横剖面内摆动找最大读数, 而在孔的纵剖面内摆动找最小读数 (图 11)。

4) 正确读数：读数时，不要弄错了刻度值，要尽量减小斜视误差。读游标尺时，找重合刻线要找三根线，要弄清楚游标刻线上标的是刻线序号还是读数。读百分尺时，切勿误读0.5毫米的刻度。

5) 保护量具度量面：为减少量具度量面磨损，通常均不宜将量具自工件上取下后再读数。读数完毕，应利用百分尺微动螺旋副及游标尺调节螺丝松开两度量面，再将工件与量具分开。

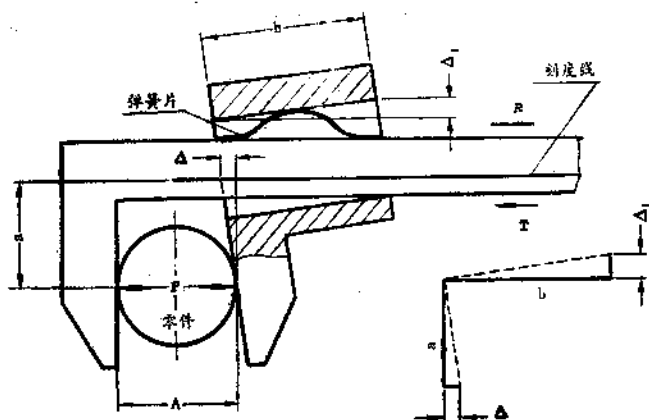


图10 游标卡尺的结构误差及力的作用关系

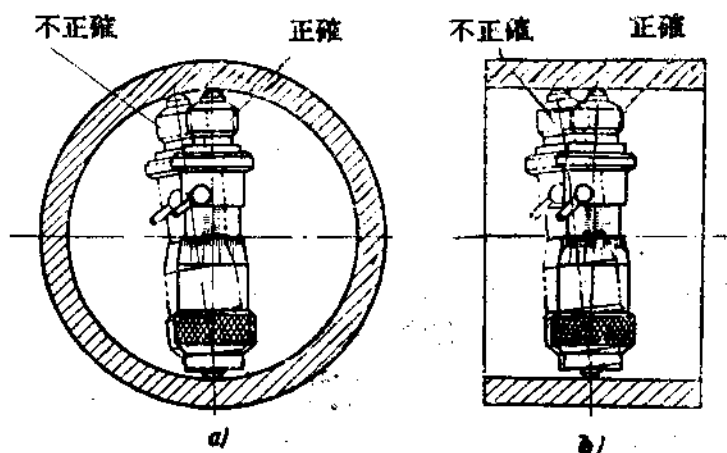


图 11

三、指 示 表

(一) 指示表的类型

指示表常用来测量几何尺寸的微小变动量。按刻度值分：有0.001毫米的千分表（测微表），其示值范围通常为0~1、±0.1、±0.05毫米等；刻度值为0.01毫米的称百分表，

示值范围为 0~5 或 0~10 毫米。测量力由弹簧产生, 不得大于 200 克, 且原始测量力不得小于 80 克。

图 (2,a) 所示为普通钟表型百分表的外形图, 图 12.b) 所示为其传动系统图。当带有齿条的量杆移动时, 则指针随之转动。游丝弹簧保证齿轮正反转时都沿同一齿侧面啮合, 以消除空程误差。其放大比按下式计算:

$$K = \frac{2R}{m \cdot z_1} \cdot \frac{z_3}{z_2} = \frac{2 \times 25}{0.199 \times 10} \cdot \frac{100}{1} \approx 150$$

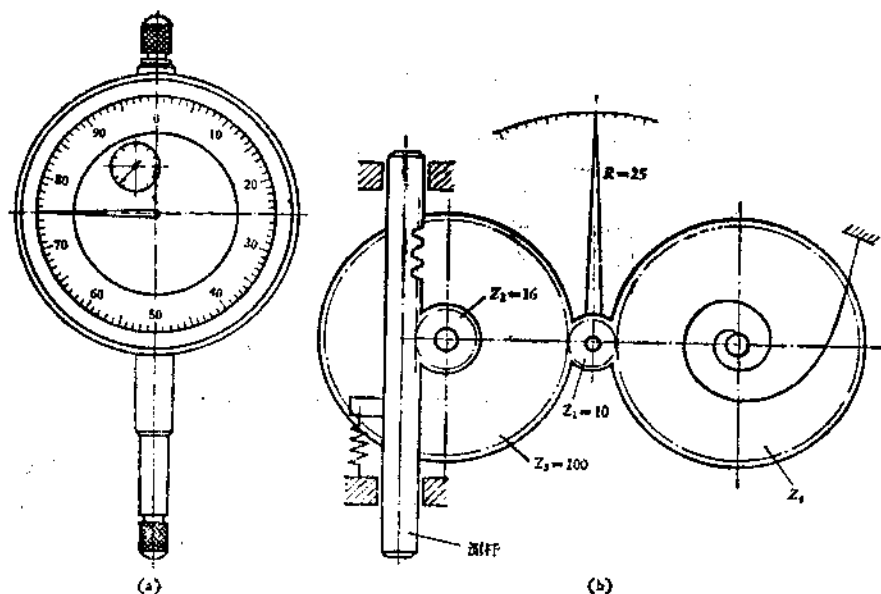


图 12

取刻度间距 $c = 1.5$ 毫米, 则刻度值 $i = \frac{1.5}{150} = 0.01$ 毫米。

杠杆百分表能测量钟表型百分表难以接近的表面, 其外形及传动系统如图 13 所示。球形量头的微小位移经杠杆与扇形齿轮传给小齿轮和指针) 其放大比为:

$$K = \frac{R \cdot z_1}{a \cdot z_2}$$

式中: R —指针的长度;

a —球形测量端至迴转中心的长度;

z_1 —扇形齿轮的齿数;

z_2 —小齿轮的齿数。

当 $R = 16\text{mm}$, $a = 10.345\text{mm}$, $z_1 = 650$, $z_2 = 10$ 时,

$$K = \frac{16 \times 650}{10.345 \times 10} \approx 100$$

取刻度间距 $c \approx 1$ 毫米, 则刻度值 $i = \frac{1}{100} = 0.01$ 毫米。

两种指示表都是用旋转表壳使指针对零。

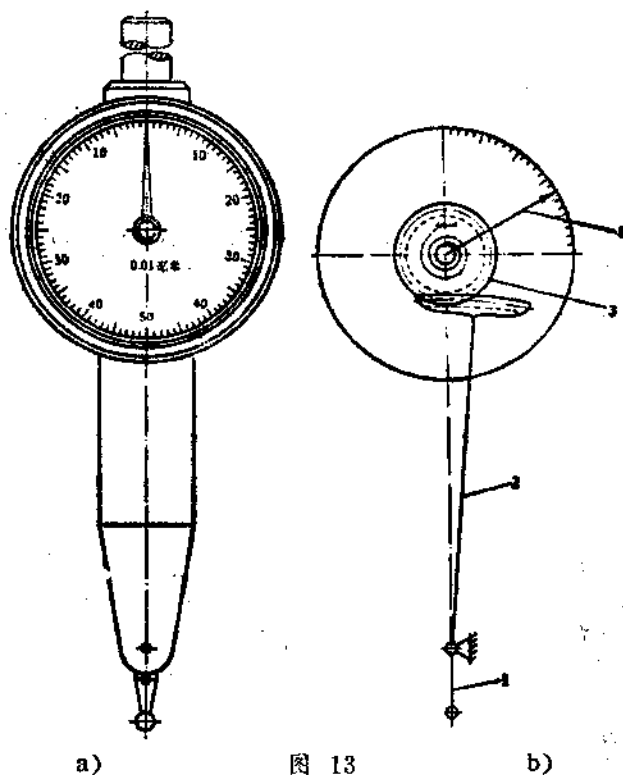


图 13

(二) 测量方法

根据图纸技术要求，择选适当刻度值和型式的指示表以及其它测量器具，按下述方法对零件进行测量。

1. 测量圆柱形零件的直径

如图 14 所示首先将一已知直径的标准圆柱放在 V 形块中，安装并调整指示表对零，换上被测圆柱后，由指示表指出的偏差 Δ ，即可计算被测圆柱直径 D ：

$$D = d + \frac{\Delta}{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)}$$

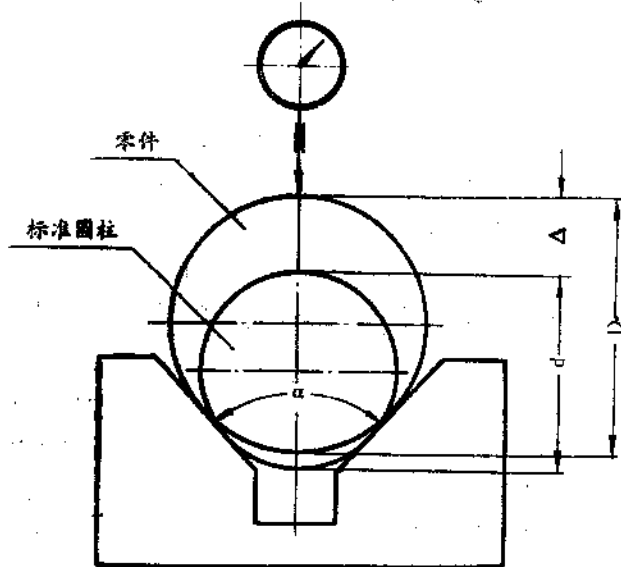


图 14 在 V 形块上用指示表测量外径

当 $\alpha = 90^\circ$ 时, $D = d + \frac{\Delta}{1.207}$ 。

2. 用内径指示表测量孔径

首先按被测孔的基本尺寸组合量块并安装在量块附件上或利用外径百分尺, 将内径指示表的两个量头放在量块附件两量脚或外径百分尺两测砧之间, 观察并找到指针顺时针迴转时的转折点, 将刻度盘零点调整到此位置。

测量孔径时, 按图 15 所示位置摆动, 指示表的最小读数 (也是在顺时针迴转的转折点处) 即孔径与基本尺寸之差 (注意正负)。在零件不同部位上进行测量以判断形状误差。

3. 测量径向圆跳动和端面圆跳动

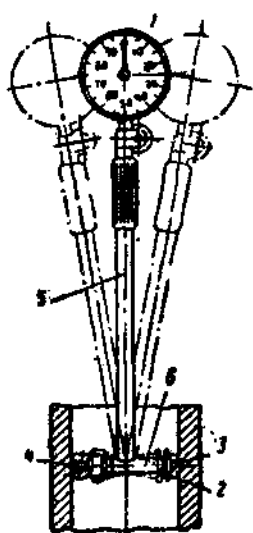


图 15

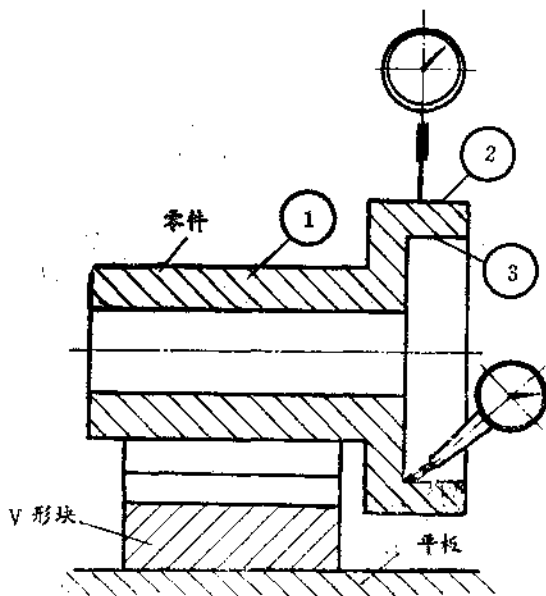


图 16 在 V 形块上测量径向圆跳动

如图 16 所示, 以表面 1 为基准迴转零件, 指示表读数最大变动量即被测表面 2 和 3 对表面 1 的径向圆跳动。它综合反映了被测表面的同轴度及形状误差。

端面圆跳动按图 17 所示的方法测量, 仍以圆柱表面 1 作基准, 并在孔内塞一塞头, 通过钢球与一角铁接触, 以限制零件的轴向位移。零件迴转一圈时, 指示表读数的最大变动量即端面圆跳动。它综合反映了被测端面对基准圆柱面或轴心线的垂直度及端面平度。

4. 测量圆柱表面素线的直线度

零件的安置和测量仍如图 18 所示。等分圆柱面 1 的素线 (不少于 5 等分, 距端面 2 毫米不计在内), 并用铅笔作上标记。当指示表量头位于起始点时, 调整指示表读数为零并依次量得各点读数。例如各点读数为: 0, 0.025, 0.025, 0.035, 0.06 毫米。然后以横座标代表各点序号, 纵座标代表各点读数, 绘出图 18 所示的 $a b c d e$ 折线, 在给定平面内作包容实际线且距离为最小的两平行直线, 两直线沿纵座标方向的距离 f 即代表素线的直线误差。本例中直线度误差为 0.013 毫米。

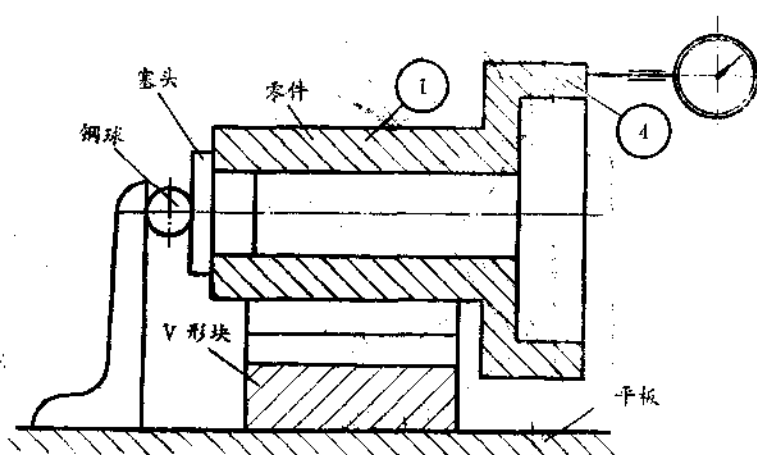


图17 在V形块上测量端面圆跳动

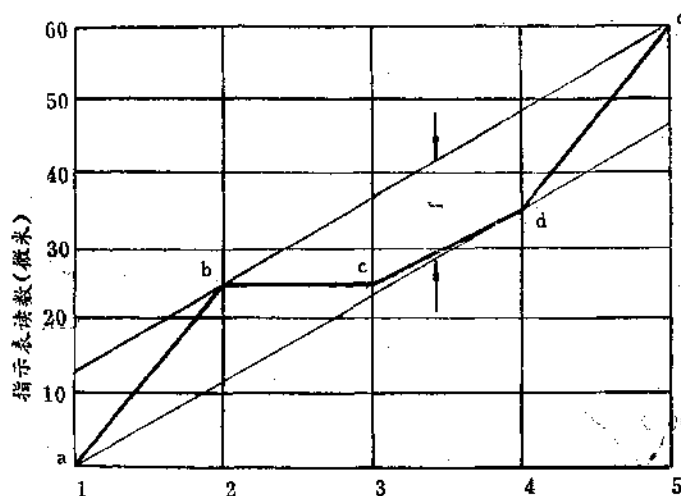


图18 直线度测量结果图解

(三) 注意事项

1. 选用指示表时, 按照零件的公差选取相应示值误差的指示表。

2. 装夹指示表时不宜过份夹紧。为防止因变形引起测杆卡住, 不能将表架的横杆上升过高或伸出太长。

3. 应尽可能使量头的移动方向与尺寸测量方向一致。

对钟表型指示表、量杆移动方向对测量方向偏离 α 角(图19)所引起的测量误差不得大于5%, 即 α 角相应不得大于 18° 。

对杠杆百分表, 应使杠杆轴线与测量方向垂直(图20,a), 若杠杆轴线与测量轴线交角为 β (图20,b), 则应按表1对测量结果进行修正。

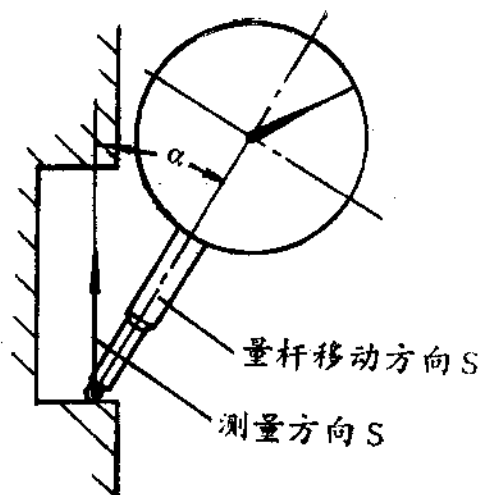


图 19

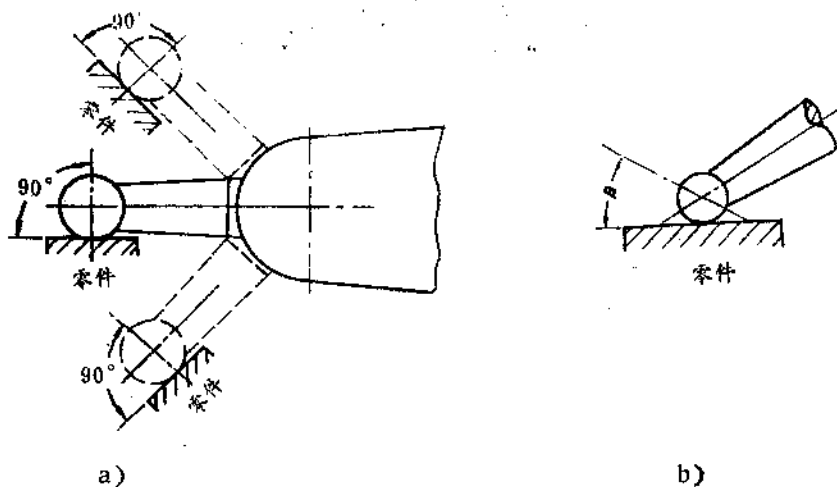


图 20

4. 小范围内使用指示表时精度较高, 因此精密测量时, 宜采用相对法来进行测量。
5. 应避免给指示表量杆以任何形式的冲击, 以防损坏。
6. 读数时, 应尽量减小误差, 并注意正负号。

表 1

β	30°	40°	50°	60°	70°	80°
修正系数	0.600	0.643	0.766	0.866	0.940	0.985

实验一 长度尺寸的测量——比较仪的使用

长度尺寸的测量器具很多,大致分为两类:一类是有刻线和标尺的测量器具,如游标量具,分厘量具,表类及各种测微仪。使用这些器具能够测得工件的实际尺寸大小或其偏差。另一类是没有刻线的测量工具,如各种极限量规,用量规不能测得工件实际尺寸的大小,只能确定被测工件是否在极限尺寸范围内。随着现代科学技术的发展,光栅、激光、数显、计算机等新技术已广泛用于长度测量中。本实验仅对长度测量中常用的最基本的仪器进行学习和了解。

一、实验目的

1. 学习机械、光学、电动与气动比较仪的结构原理及其使用方法;
2. 了解技术测量中常用度量指标;
3. 学习直接测量结果的处理方法。

二、仪器及使用说明

机械、光学、电动与气动比较仪主要用于长度比较测量,可测量圆柱形、球形等物体的直径及零件的长度尺寸。光学比较仪还可用来检定 5 等量块。

这类仪器测量时,先用量块调整仪器标尺或指针到零位,被测量尺寸对量块尺寸的偏差可从仪器刻度标尺上读得。

(一) 机械比较仪

图 1-1 为杠杆齿轮式机械比较仪的一种, *a* 为外形图, *b* 表示其传动放大系统。仪器的刻度值为 1 微米,标尺示值范围为 ± 100 微米,仪器测量范围 0~180 毫米。

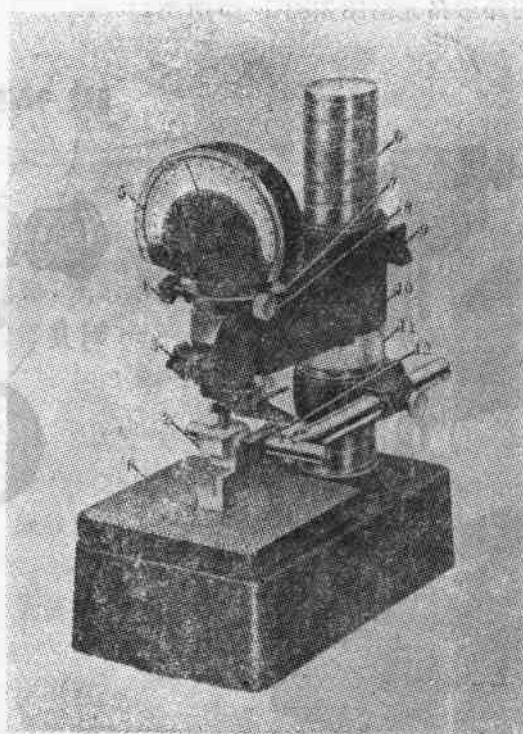


图 1-1

- | | | | |
|-------------|----------|---------------|-------------|
| 1 —— 工作台 | 2 —— 工件 | 3 —— 固紧比较仪螺钉 | 4 —— 细调固紧螺钉 |
| 5 —— 指示表 | 6 —— 立柱 | 7 —— 刻度标尺微调螺丝 | 8 —— 细调螺丝 |
| 9 —— 横臂固紧螺钉 | 10 —— 横臂 | 11 —— 横臂升降螺母 | 12 —— 定位块 |

仪器的放大比为：
$$K = \frac{R_1}{R_1} \cdot \frac{R_3}{R_4} = \frac{50 \times 100}{1 \times 5} = 1000。$$

(二) 立式光学比较仪

光学比较仪的主要部份是光管，它的结构是根据光学杠杆放大原理设计的

图 1—2 所示：光源在物镜焦点 o (图 1—2a) 上发出，光线经过物镜后成为平行于光轴光束前进，若遇到与主光轴垂直的平面镜 2 后，光线按原路反射回来，光点仍聚集在物镜的焦点 o 上。

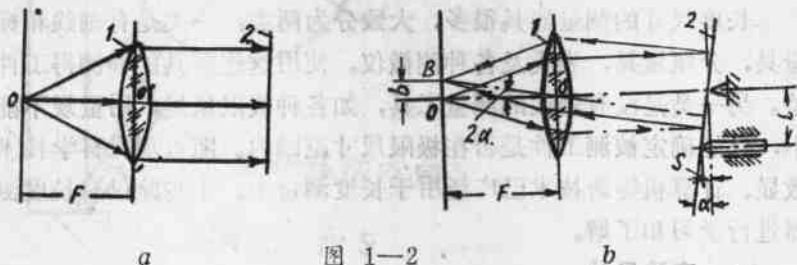
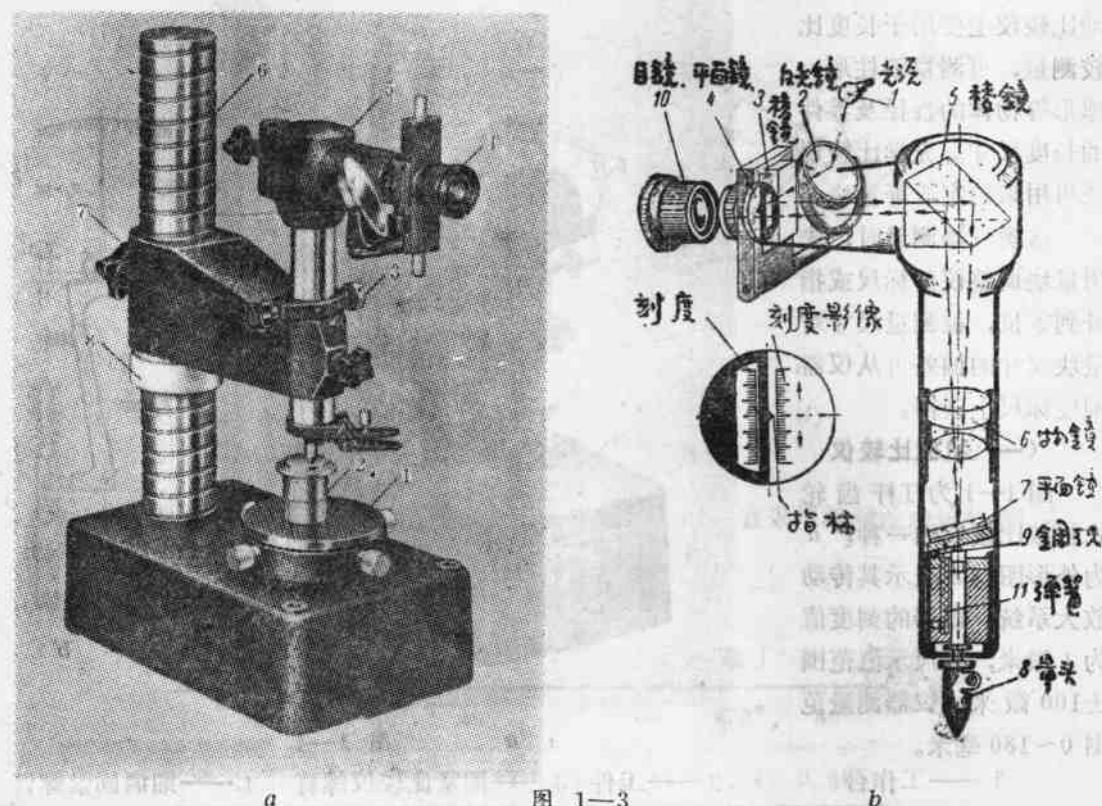


图 1—2b 所示的由于量杆因被测工件尺寸的变化使其有微小的位移 S ，平面镜 2 也转动了 α 角，则反射回来的光线就沿着和主光轴成 2α 角，经过透镜折射后，象点会聚在焦平面的 B 点，也就是象点相对于物点 o 位移了 b ，其大小可在此处分划板上读得相对于量块尺寸的偏差。光杠杆的放大比为：
$$K = \frac{b}{S} = \frac{F \tan 2\alpha}{l \tan \alpha}。$$

光学比较仪的外形和光路图如图 1—3 所示。



- | | | | |
|--------|-------|-----------|-----------|
| 1——工作台 | 2——工件 | 3——光管微调螺丝 | 4——目镜 |
| 5——光管 | 6——立柱 | 7——横臂固紧螺钉 | 8——横臂升降螺母 |