

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

互换性与技术测量实验

— 实验指导书与实验报告 —

HUHUANXING YU JISHU CELIANG SHIYAN

姚彩仙 主编

华中科技大学出版社

互换性与技术测量实验

——实验指导书与实验报告——

姚彩仙 主编

华中科技大学出版社

互换性与技术测量实验

姚彩仙 主编

责任编辑 叶见欣

*

华中科技大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

华中科技大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:7.5 字数:146 000

1992年5月第1版 2003年6月第7次印刷

ISBN 7-5609-0654-0/TH·55

定价:9.50元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

互换性与技术测量是机械类各专业的重要技术基础课,而互换性与技术测量实验课则是本课程独立的教学环节,对培养学生的能力有着重要的作用。本实验教材是在华中理工大学精密测量实验室历年使用的实验指导书和实验报告的基础上,考虑教学改革要求和新技术的发展,修改、补充而成,可供机械类各专业使用。对于机制专业,本书所有实验原则上都应做或由教师演示;对于其他专业,可按照不同要求由教师确定必做实验、优秀生加选实验及演示参观实验项目。

本实验教材由郑东莲、徐振高、姚彩仙同志编写。姚彩仙同志任主编,李光瀛教授主审。编者热忱欢迎对本书的评论与指正。

编者

1991.9

目 录

实验规则	(1)
实验报告的基本内容及要求	(1)
实验一 长度测量	(2)
实验 1-1 用比较仪测量长度	(2)
实验 1-2 用卧式测长仪测量内孔直径	(7)
实验 1-3 用万能工具显微镜测量孔距	(9)
实验二 形位误差测量	(13)
实验 2-1 导轨直线度误差测量	(13)
实验 2-2 平面度误差测量	(17)
实验 2-3 圆度误差测量	(24)
实验 2-4 轴的位置误差测量	(28)
实验 2-5 箱体位置误差测量	(30)
实验三 表面粗糙度测量	(35)
实验 3-1 用双管显微镜测量表面粗糙度	(35)
实验 3-2 用干涉显微镜测量表面粗糙度	(38)
实验 3-3 用电感式轮廓仪测量表面粗糙度	(40)
实验四 角度与锥度测量	(44)
实验 4-1 用正弦尺测量锥度	(44)
实验五 圆柱螺纹测量	(48)
实验 5-1 用工具显微镜测量螺纹	(48)
实验 5-2 用三针法测量螺纹中径	(52)
实验六 齿轮测量	(55)
实验 6-1 齿圈径向跳动测量	(55)
实验 6-2 公法线平均长度偏差与公法线长度变动测量	(57)
实验 6-3 齿距偏差与齿距累积误差测量	(59)
实验 6-4 齿形误差测量	(61)
实验 6-5 基节偏差测量	(64)
实验 6-6 齿厚偏差测量	(65)
实验 6-7 径向综合误差与齿径向综合误差测量	(66)
附录一 量块和常用量具	(69)
附录二 几台精密测量仪器简介	(79)
参考文献	(88)
实验报告	(89)

实 验 规 则

1. 上实验课前必须按指导书作好预习及准备工作。
2. 必须更换拖鞋才能进入实验室。除必要的书籍和文具外,其他物品不得带入实验室。
3. 进入实验室后,应保持室内安静和整洁。不准打闹、抽烟、乱抛纸屑和随地吐痰。
4. 凡与本次实验无关的仪器设备,均不得使用或触摸。
5. 做实验时,按测量步骤细心操作,严禁用手触摸光学镜头表面。如仪器发生故障,应立即报告指导教师处理,不得自行拆修。
6. 认真填写实验报告,经教师签字方可离开实验室。
7. 爱护国家财产,实验完毕应将实验器具清洗上油整理好,如损坏仪器,按有关规定处理。

实验报告的基本内容及要求

学生对每个实验应该做到原理清楚、方法正确,数据可靠,书写工整。实验报告的一般内容如下:

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、注明被测部位的基本尺寸、极限偏差或公差);
5. 测量结果及适用性结论;
6. 误差分析与实验心得。

实验一 长度测量

长度是几何量中最基本的参数,也是最主要的参数之一。虽然被测对象可以是各种各样的,但概括起来,长度不外乎是面与面间的距离,线与线间的距离,点与点间的距离,以及它们之间的组合。常用来测量长度尺寸的量具与仪器有:游标尺、百分尺、指示表、各种测微仪以及坐标测量机等。目前,用双频激光测量系统测量长度,其分辨率可达 $0.01\mu\text{m}$;用三坐标测量机测量长度,可方便地确定三维空间中任意两点间的距离。进行长度测量实验的目的就是要在分析研究测量对象和被测量的基础上,正确设计测量方法和处理测量数据,了解各种仪器的测量原理及使用方法,为今后的实际工作打下坚实的基础。

实验 1-1 用比较仪测量长度

一、目的与要求

1. 掌握长度尺寸的相对测量原理;
2. 了解比较仪的结构和使用方法。

二、测量原理

机械、光学、电感及气动比较仪主要用于长度的相对测量。用这类仪器测量时,首先根据被测工件的基本尺寸 A 组成量块组,然后用此量块组将比较仪的标尺或指针调到零位。若从该仪器刻度标尺上获得的被测长度对量块组尺寸的偏差为 ΔA ,则被测工件的长度为 $L = A + \Delta A$ 。

三、测量仪器

(一)机械比较仪

杠杆齿轮式机械比较仪如图 1-1(a)所示,它由工作台 1、底座 2、立柱 3、横臂 7 及指示表 10 等组成。测量时松开螺钉 8,转动螺母 5,可使横臂 7 带着指示表 10 沿立柱上下移动,使测量头 14 与量块接触。固紧螺钉 12,松开螺钉 13,然后转动偏心手轮 6,细调测量头位置,使指针对准刻度尺零点。锁紧螺钉 13 后,转动标尺微调螺钉 9,微动标尺使指针准确对零。按下拨叉 4,使测量头抬起,取出量块或工件。

仪器的传动放大系统如图 1-1(b)所示。其示值范围为 $\pm 100\mu\text{m}$,测量范围为 $0\sim 180\text{mm}$ 。仪器的放大比为:
$$K = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_4} = \frac{50 \times 100}{1 \times 5} = 1000$$
标尺的刻线间距 $c = 1\text{mm}$,仪器的分度值为
$$\iota = \frac{c}{K} = \frac{1}{1000}\text{mm} = 1\mu\text{m}。$$

(二)立式光学比较仪

立式光学比较仪的外形如图 1-2 所示,它是由底座 1、立柱 2、横臂 5、工作台 6 和直角光管

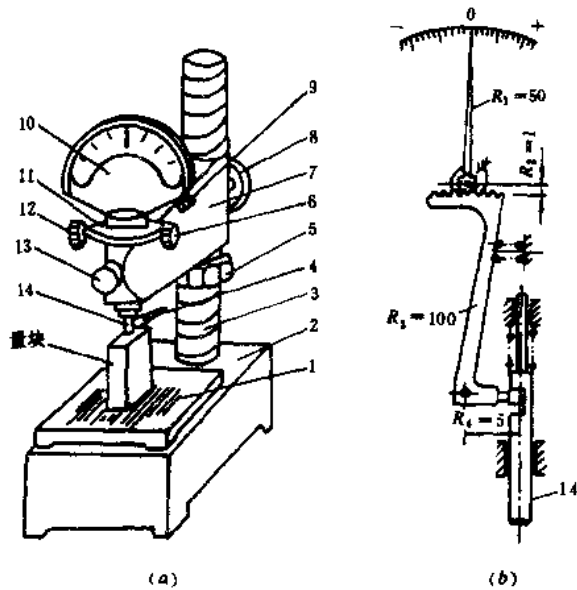


图 1-1 机械比较仪

(a)—外形; (b)—仪器的传动系统图

1—工作台; 2—底座; 3—立柱; 4—拨叉; 5—横臂升降螺母; 6—偏心手轮; 7—横臂; 8—横臂锁紧螺钉; 9—标尺微调螺钉; 10—指示表; 11—微调框架; 12—锁紧螺钉; 13—锁紧螺钉; 14—测量头

16 等所组成。

光学比较仪的测量原理如图 1-3(b) 所示。自物镜焦点 O 发出的光线经过物镜后形成平行光束, 照射在平面反射镜上。当平面镜与主光轴垂直时, 光线按原路反射回来, 光点仍聚集在物镜的焦点 O 上。当量杆因被测工件尺寸的变化而产生微小位移 S 时, 平面镜 2 转动 α 角, 使反射回来的光线相对于主光轴成 2α 角, 经过透镜折射, 像点会聚在焦平面的 B 点, 即像点相对于物点 O 的位移为 b , 其大小可在分划板上读得[见图 1-3(a)]。

$$\text{光杠杆的放大比 } K = \frac{b}{S} = \frac{F \operatorname{tg} 2\alpha}{L \operatorname{tg} \alpha}$$

在图 1-3(a) 中, 由光源 4 发出的光线, 经反射镜 5、物镜焦平面的刻度尺 3、直角棱镜 6 及物镜 7, 照射在平面反射镜 8 上。当量杆 10 有微小位移时, 反射镜 8 绕支点 9 转动 α 角, 从目镜 2 中便可看到反射回来的刻度尺的影像 1。

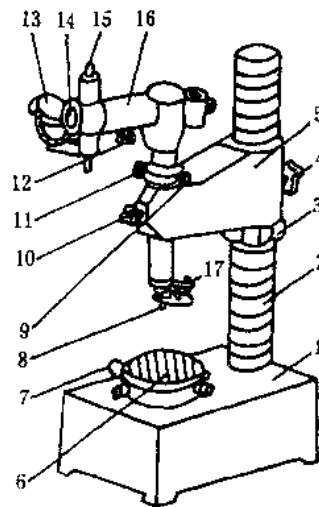


图 1-2 立式光学比较仪外形图

1—底座; 2—立柱; 3—横臂升降螺母; 4—锁紧螺钉; 5—横臂; 6—工作台; 7—工作台调整螺钉; 8—测量头; 9—偏心手轮; 10—锁紧螺钉; 11—锁紧螺钉; 12—零位微调螺钉; 13—反光镜; 14—目镜; 15—上下偏差调整螺钉; 16—直角光管; 17—拨叉

根据影像对于固定指标线的位移量,即可判断被测尺寸的偏差。

物镜焦距 $F=200\text{mm}$,量杆中心至反射镜支点间的距离 $L=5\text{mm}$,则放大比 $K=80$ 。刻线尺的刻线间距 $c=0.08\text{mm}$,仪器的分度值为

$$i = \frac{c}{K} = \frac{0.08}{80} \text{mm} = 0.001\text{mm} = 1\mu\text{m}$$

仪器的示值范围为 $\pm 100\mu\text{m}$,测量范围为 $\pm 180\text{mm}$ 。

(三) 卧式光学比较仪

卧式光学比较仪(图 1-4)主要由光管 3、尾管 11、工作台 9、支架 12 与底座 6 组成。与立式光学比较仪相比较,其特点是工作台可以升降,前后移动,回转,摆动及沿测量轴线自由移动。测量时,使工作台作相应的运动,将工件调整到正确的位置。当仪器装上内径测量弓架 1 及 2 后,可进行内尺寸的测量。

(四) 电感比较仪

电感比较仪是把微小位移量转换成电路中电感量的变化,从而实现长度测量的一种电动量仪。它的工作原理如图 1-5 所示。

被测工件尺寸的微小变化,使测量头内电感线圈的铁芯通过测杆作相应的位移。当铁芯处于两线圈的中间位置时,两线圈的电感量相等;当铁芯偏离中间位置时,两线圈的电感量就不相等。此两线圈的电感量通过测量电桥接入测量回路,当测量电桥由振荡器以交流电压供电时,由于传感器的线圈电感量随工件尺寸变化而变化,电桥将输出一个幅值随工件尺寸变化的正弦交变电信号,即调幅信号。其幅值与传感器铁芯相对于平衡位置的偏离位移成正比,频率与供电振荡频率相同,而其相位与铁芯相对平衡位置偏离位移的方向有关。此信号经放大器放大,再经相敏检波器解调,就可将位移信号从调制信号中解调出来,得到一个与铁芯偏离平衡位置成比例的电信号,最后由指示表显示测量结果。

测量前,仪器需经平衡与放大倍数的调整。

(五) 浮标式气动量仪

浮标式气动量仪的工作原理如图 1-6 所示。压缩空气经过过滤器 1、3,稳压器 2、4,进入锥形玻璃管 5,再经橡皮管 7 到测量喷嘴 8 与被测工件 9 所形成的环形间隙而流入大气。

测量过程中,当被测工件的尺寸改变时,测量喷嘴与工件间的间隙随之增大或减小,从而使流出的气流量发生变化。随着气流量的变化,浮标 6 在锥形管中的位置将相应地改变,直到

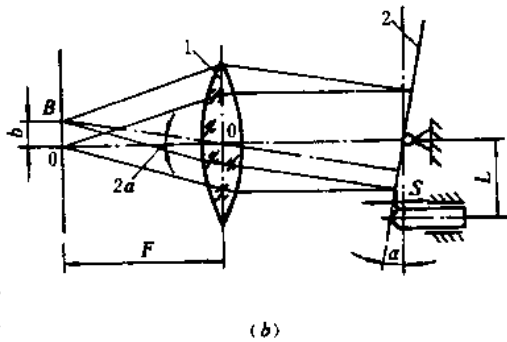
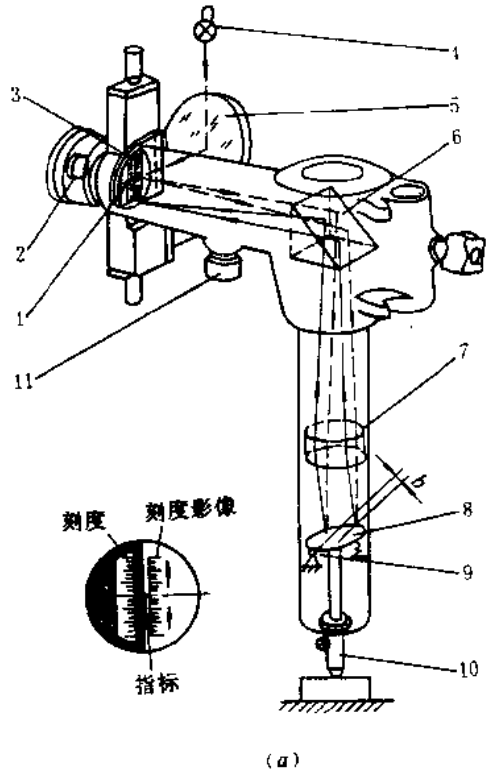


图 1-3 光学系统及测量原理图

- 1—刻线尺的影像;2—目镜;3—刻线尺;4—光源;5—反光镜;6—直角棱镜;7—物镜;8—平面反射镜;9—支点;10—量杆;11—零位微调螺钉

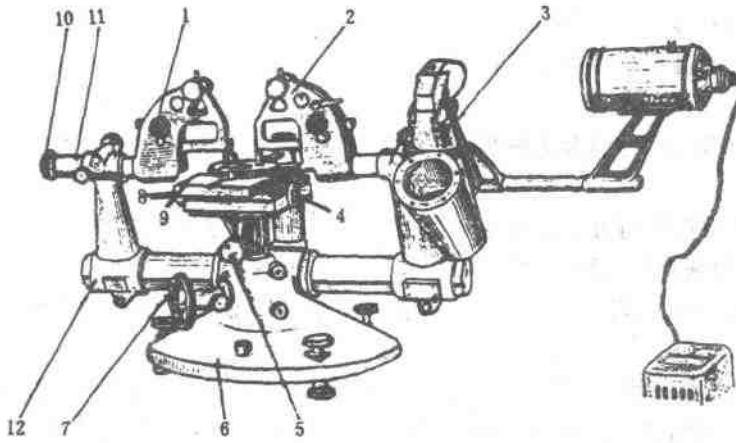


图 1-4 卧式光学比较仪

1、2—内径测量弓架；3—光管；4—工作台前后移动手柄；5—工作台摆动手轮；6—底座；7—工作台升降手轮；8—工作台回转手柄；9—工作台；10—微调轮；11—尾管；12—支架

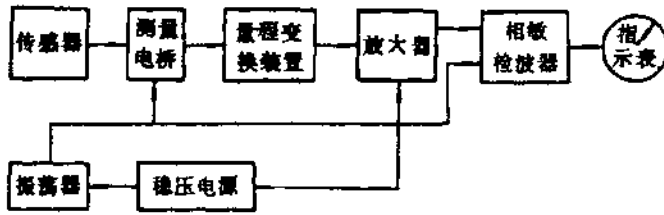


图 1-5 电感比较仪工作原理框图

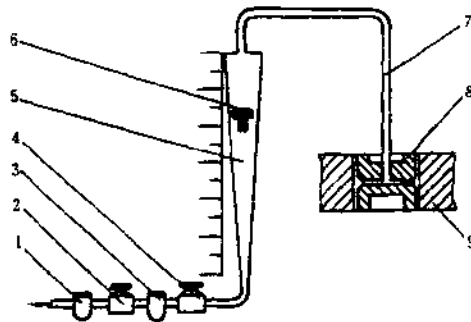


图 1-6 浮标式气动量仪原理图

1、3—过滤器；2、4—稳压器；5—锥形玻璃管；6—浮标；7—橡皮管；8—测量喷嘴；9—工件
 流过浮标与锥形管间的气流量同流出的气流量相等时，浮标才停止移动。根据浮标所在的位置，从刻度标尺上就可读出被测工件的实际尺寸偏差。

四、测量步骤

(一)用机械比较仪测量轴径(参见图 1-1)

1. 选择测量头

测量头的形状有球形、刀刃形及平面形三种形式,应根据被测工件的形状,以测量头与被测工件的接触为点接触或线接触的准则进行选择。

2. 组合量块组

按被测工件的基本尺寸组合量块组(组合方法参见附录一量块部分)。

3. 调整仪器

按图 1-1 所示将量块组置于工作台 1 上,使测头 14 对准量块的上测量面中心。调节比较仪指针,使其与零刻线对齐,调节步骤如下:

1) 松开螺钉 8,转动螺母 5,使测头 14 与量块接触,直至指针大致位于标尺的中间位置,再锁紧螺钉 8。

2) 固紧螺钉 12,松开螺钉 13;转动偏心手轮 6,使指针指到零刻线处,再拧紧螺钉 13。

3) 转动标尺微调螺钉 9,使标尺微微移动,直至零刻线与指针完全对齐为止。

4) 压下拨叉 4 抬起测量头,重新放置量块组;松开拨叉 4,检查零位;微旋螺钉 9,使指针再次对零。

5) 按动拨叉数次,检查示值稳定性,若指针示值变动不超过三分之一格,则该指示表的示值稳定可用。

4. 测量

1) 在同一批加工零件中,任选 10 个零件进行测量,确定零件实际尺寸的变动范围。

2) 对某一个零件的同一部位测量 10 次,计算出算术平均值、标准偏差及极限误差,按标准形式写出结果。

(二)用立式光学比较仪测量轴径

用立式光学比较仪测量轴径时的仪器调整及操作步骤,可参照机械式比较仪及光学比较仪的有关部分。

五、注意事项

1. 使用仪器要特别小心,不得有任何碰撞,调整时不应使指针超出标尺示值范围。

2. 组合量块时,用汽油将量块洗净,然后将其研合。手持量块的时间不宜太长,否则会因热膨胀引起显著的测量误差。

六、思考题

1. 用比较仪能否作绝对测量?

2. 产生测量误差的主要因素有哪些?

3. 本实验中量块是按“等”使用还是按“级”使用?

4. 什么是示值误差? 什么是校正值? 其意义如何? 能用什么方法确定比较仪的示值误差?

实验 1-2 用卧式测长仪测量内孔直径

一、目的与要求

1. 了解卧式测长仪的结构及螺旋游标的读数方法；
2. 学会用内测钩测量内径。

二、测量原理

卧式测长仪是按照阿贝原则设计的,仪器的标准刻线尺的刻划面位于测量主轴的轴线剖面内。测量时,工件被测尺寸位于标准刻线尺的延长线上,被测长度与标准刻线尺进行比较,从而确定出被测长度的量值。

三、测量仪器

卧式测长仪的基本结构如图 1-7 所示,它由底座 1、工作台 7、阿贝测量头 5 和尾座 10 等部分组成。工作台的升降、前后移动、绕垂直轴的转动及绕水平轴的摆动分别由手轮 14、百分尺 15、手柄 11 及 12 来实现。测量时,只要对工作台作相应的调整,就能准确地找到所需的测量部位,即将被测尺寸调整到标准刻线尺的延长线上,因而测量符合阿贝原则。卧式测长仪备有多种附件,除了可以测量内、外长度尺寸外,还可以测量内、外螺纹中径(详见实验 5-2)。

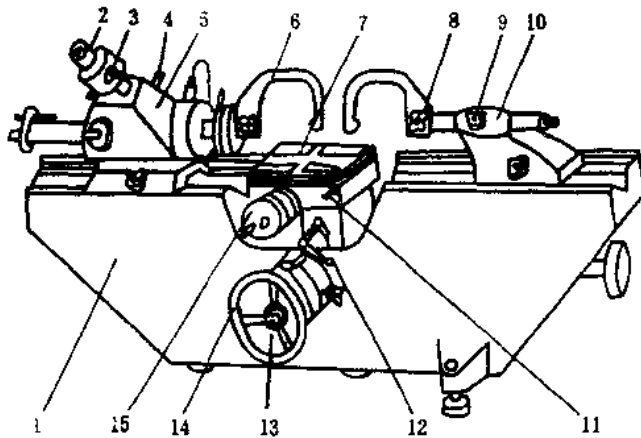


图 1-7 卧式测长仪外形

1—底座;2—目镜;3—读数显微镜;4—紧固螺钉;5—阿贝测量头;6—装在主轴上的内测钩;7—工作台;8—装在尾管上的内测钩;9—尾管紧固螺钉;10—尾座;11—工作台回转头柄;12—工作台摆动手柄;13—手轮紧固螺钉;14—工作台升降手轮;15—横向移动百分尺

卧式测长仪的读数装置通常采用螺旋游标或光栅数字显示。螺旋游标的读数原理如图 1-8 所示。图中:1 为 100mm 长的精密刻线尺,它位于主轴的中部,其刻线间距为 1mm;2 是螺旋

读数显微镜;3为固定分划板,上面刻有11条线(10个间距),每个刻线间距代表0.1mm;4是刻有双阿基米德螺旋线(螺距为0.1mm)的可动圆形分划板,在与可动分划板同心的圆周上均匀地刻有100条刻线。当分划板4转动一个圆周刻度时,螺旋线在半径方向的移动距离为:

$$s = \left(\frac{0.1}{100} \times 1 \right) \text{mm} = 0.001 \text{mm}$$

螺旋游标读数装置的读数方法如下:旋转5带动螺旋分划板4转动,使毫米刻线位于双螺旋线中间后,先读出活动刻线尺上的毫米级读数(图1-8中读46),然后按毫米刻线(指46)相对于固定分划板的位置读小数点后的第一位数(图1-8中读0.3mm)。最后从可动分划板上读出小数点后的第二位数与第三位数(图1-8中读0.062mm),并估读小数点后的第四位数(图1-8中约为0.0002mm)。所以图1-8中的读数为46.3622mm。

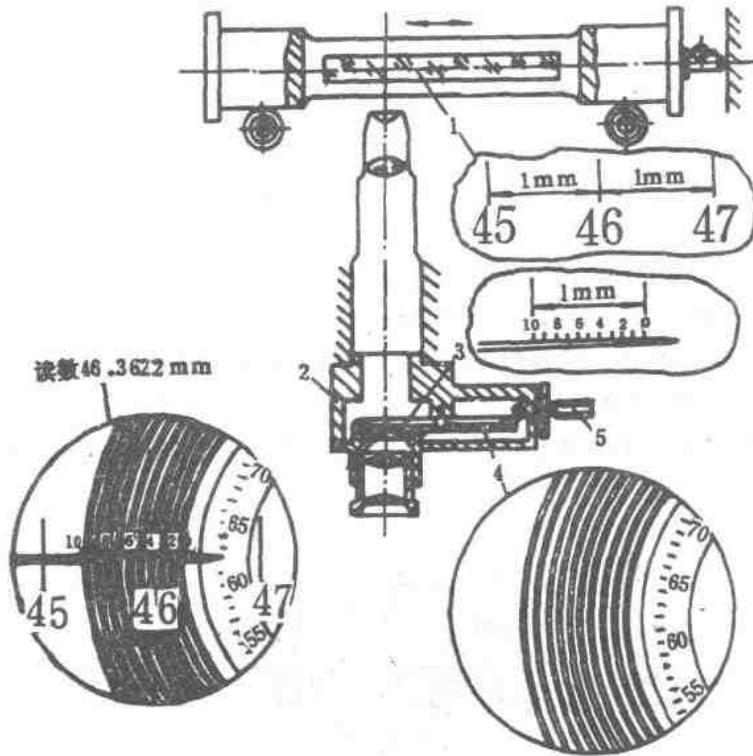


图 1-8 螺旋游标读数原理

四、测量步骤(参见图 1-7 和 1-9)

1. 将一对内测钩分别装在测量主轴和尾管上,使测钩的楔槽对齐后,分别锁紧测钩。
2. 将直径为 d 的标准环规(按环上刻线所示方向)装夹在工作台上。
3. 根据环规大小,调整好尾座位置,然后,松开螺钉 13,旋转手轮 14,将工作台调整到适当高度,使测钩伸入环规内。
4. 挂上重锤,手握住测量主轴的尾部,松开螺钉 4,使测钩与环规轻轻接触。
5. 调整测钩与环规接触的位置,步骤如下:
 - 1) 用百分尺 15 将工作台前后移动,同时观察读数显微镜,直至找到最大读数(毫米刻线的转折点)为止;

2) 用手柄 12 摆动工作台, 找出最小读数(毫米刻线的转折点);

反复进行 1)、2) 两项的调整, 找正测量部位后, 转动螺旋分划板, 使毫米刻线位于双螺旋线中间, 记下第一次读数 H_1 。

6. 取下环规, 换上被测工件, 按上述 5 同样的方法进行调整, 找正测量部位, 记下第二次读数 H_2 。则被测工件的内孔直径为:

$$D = (H_2 - H_1) + d$$

式中, d ——标准环规的直径。

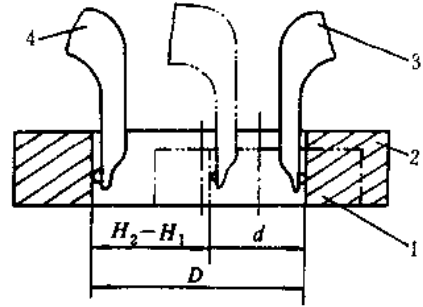


图 1-9 测量孔径示意图

1—标准环规; 2—被测工件; 3—固定测钩, 4—可动测钩

五、注意事项

挂上重锤后 用手握稳主轴慢慢移动, 避免测钩与工件发生碰撞。

六、思考题

1. 用卧式测长仪测量内径时, 为什么工件要进行移动和摆动?
2. 本实验所用标准环规与实验 1-1 所用量块组的尺寸、作用有何异同?

实验 1-3 用万能工具显微镜测量孔距

一、目的与要求

1. 了解万能工具显微镜的测量原理;
2. 熟悉万能工具显微镜的调整和使用方法;
3. 学习光学灵敏杠杆的结构、原理及使用方法。

二、测量原理

万能工具显微镜是一种常用的几何量测量仪器。它主要利用相互垂直的两纵横导轨, 使工作台和瞄准装置之间的相对运动构成一平面直角坐标系, 辅以圆刻度旋转分度台还可以构成极坐标测量系。两个方向的移动距离可分别从两个相互独立的螺旋游标读数显微镜或光栅数字显示中读出。测量时, 在接触式瞄准装置(如灵敏杠杆)或非接触式瞄准装置(如米字线目镜)上, 先瞄准被测工件上的某一几何要素(点、线、面), 并记下该位置的两个坐标值, 然后, 使工作台和瞄准装置作相对运动, 再瞄准被测工件上的另一几何要素, 记下其坐标值, 那么被测工件上两要素之间的距离就可方便地按公式计算出来。

三、测量仪器

万能工具显微镜的外形如图 1-10 所示, 它主要由底座、纵横导轨、中央显微镜、螺旋游标读数显微镜及顶尖座等组成。其主要附件有光学灵敏杠杆、光学分度头、分度台、测量刀、径

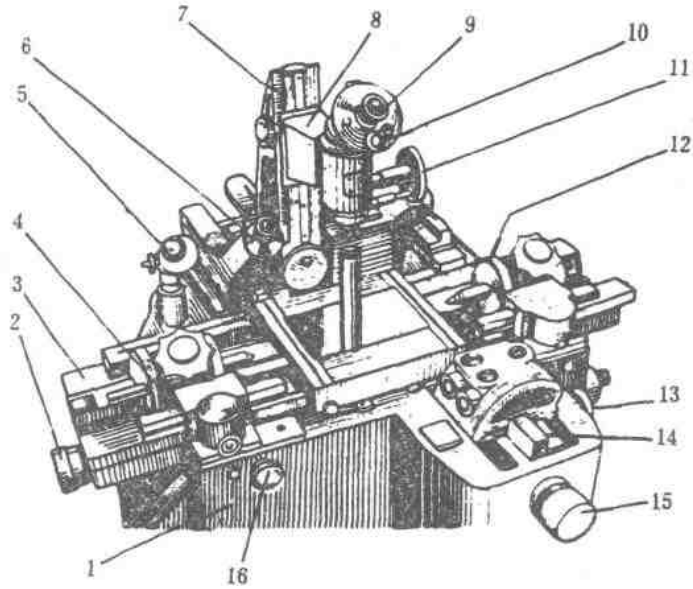


图 1-10 万能工具显微镜

1—底座；2、15—纵、横向微分筒；3、14—纵、横向导轨；4、12—顶尖座；5、6—螺旋游标读数显微镜；7—立柱；8—横臂；9—目镜；10—角度目镜；11—立柱倾斜手轮；13、16—横、纵向锁紧旋钮

向跳动检查装置及高顶尖座等。

仪器测量范围：

纵向	0~200mm
横向	0~100mm
刻度值	0.001mm
角度目镜刻度值	1(′)

光学灵敏杠杆(光学定位器)如图 1-11 所示,将它安装在中央显微镜的三倍物镜上作为定位装置,便可实现工件的尺寸测量。

四、测量步骤

1. 将角度目镜 10 内的刻线调至零度,再使工件移动方向与目镜 9 的米字线的基准线平行。

2. 将光学灵敏杠杆装在万能工具显微镜的三倍物镜上。

3. 旋转测量头压力转换环将测量头引向孔壁测量面。转换环上与标点同色的箭头表示测量压力方向,异色箭头表示导轨移动方向。

4. 移动导轨,将工件上被测孔 H_1 移到灵敏杠杆下,并使测头与孔壁接触,观察显微镜视场,若三组双刻线不清楚,则用滚花圆环 4 进行调整;绕螺母 3 的轴线轻轻转动灵敏杠杆,使视场内三组双刻线与米字线的基准线平行。

5. 锁紧横向导轨,转动微分筒,直至观察到双刻线转折点,再移动纵向导轨,使米字线的竖线落在三组双刻线正中间[如图 1-11(b)],从纵、横向读数显微镜中记下第一次读数 A_1 和 B_1 。

6. 旋转测量头压力转换环,改变测量头压力方向。

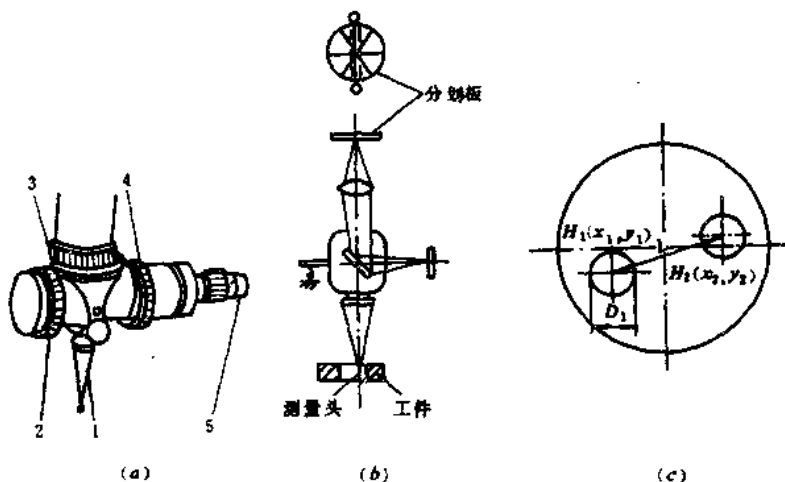


图 1-11 光学灵敏杠杆

(a)—光学灵敏杠杆外形图；(b)—光学灵敏杠杆原理图；(c)—测量孔距原理图

1—测头；2—测头压力转换环；3—物镜连接螺母；4—滚花环；5—光源

7. 将工件纵向移动，使测量头与孔壁的另一面接触。不改变横向位置，只需移动纵向导轨，就能找正测量部位，然后记下第二次读数 A_2, B_2 ，

计算孔 H_1 的直径 D_1 ，

$$D_1 = (A_2 - A_1) + d$$

式中， d ——灵敏杠杆测头直径。

计算孔 H_1 的中心坐标 x_1, y_1 ，

$$x_1 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$y_1 = \frac{B_1 + B_2}{2}$$

8. 移动导轨，将工件孔 H_2 移到灵敏杠杆下，按上述方法测量，读出 A_3, B_3, A_4 及 B_4 。

计算孔 H_2 的直径 D_2 ，

$$D_2 = (A_4 - A_3) + d$$

计算孔 H_2 的中心坐标 x_2, y_2 ，

$$x_2 = \frac{A_3 + A_4}{2}$$

$$y_2 = \frac{B_3 + B_4}{2}$$

9. 计算两孔的中心距 L ，

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

五、注意事项

1. 移动工件时，要防止碰撞，以免损坏测量头或影响测量结果的可靠性；

2. 注意光学灵敏杠杆测量头压力方向的转换；
3. 用光学灵敏杠杆测内尺寸时其计算值要加上测量头直径，测外尺寸时，其计算值要减去测量头直径。

六、思考题

1. 怎样消除测量线偏离孔径所带来的误差？
2. 怎样防止孔的中心线与测量方向不垂直？