

互换性与技术测量 实验指导书

重庆大学公差、刀具教研室 编

中国计量出版社

互换性与技术测量 实 验 指 导 书

重庆大学公差、刀具教研室 编

中国计量出版社

内 容 摘 要

本书包括尺寸测量,形位误差测量,表面粗糙度、锥度测量,螺纹测量和齿轮测量等方面的十五个实验。编写时,针对各种典型表面,结合常用的计量器具,系统地介绍了测量的基本知识,计量器具的原理和测量方法。

本书可作为高等院校、中等专业学校机械类各专业《互换性与技术测量》课程的配套教材,也可供工厂的计量测试人员参考。

互换性与技术测量 实 验 指 导 书

重庆大学公差、刀具教研室 编

责任编辑 刘瑞清

—♦—

中国计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—♦—

开本 787 × 1092 1/16 印张 3 1/2

字数 82 千字 印数 1—10 000

1986年11月第一版 1986年11月第一次印刷

统一书号 15210·673

定价 0.85 元

前 言

在《互换性与技术测量》课程中，实验课是教学的重要组成部分。它的目的是使学生进一步掌握和巩固课堂上所学的公差理论、基本的测量技术和初步熟悉某些计量器具的正确使用。

本书是按照《互换性与技术测量》课程教学大纲编写的。书中包括尺寸测量、形位误差测量、表面粗糙度测量、锥度测量、螺纹测量和齿轮测量等方面内容。在编写时，我们针对各种典型表面，结合常用计量器具，系统地介绍了测量的基本知识，计量器具的原理和测量方法。根据不同专业的教学要求和具体的设备条件，可选做书中的部分实验，或另补充一些示范实验。

本书可作为高等院校、中等专业学校机械类各专业《互换性与技术测量》课程的配套教材。

本书在编写时，教研室进行了讨论，并在校内印刷试用一次。

本书由古莹菴、杨兴骏、何捷、兰远红、饶邦靖等同志执笔。最后由吉林工业大学甘永立副教授审阅。

由于我们水平有限，书中内容难免存在一些缺点和错误。希读者批评指正。

编 者

1986年6月于重庆大学

学生实验守则

1. 进入实验室前，必须更换拖鞋。除必要的书籍和文具外，其它物品不得带入实验室。
2. 进入实验室后，不准随便吐痰、抽烟和乱抛纸屑，保持室内清洁和安静。
3. 凡与本次实验无关的仪器，均不得动用和触摸。
4. 实验前认真预习实验指导书，在教师的指导下，按照规定的测量步骤进行实验。
5. 做实验时，应擦净计量器具和被测工件。细心调整，用力适当，严禁用手触摸光学镜头。在接通电源时，要特别注意仪器要求的电压。如仪器发生故障，应立即报告指导教师进行处理，不得自行拆修。
6. 实验完毕后，将计量器具和被测工件整理好，认真填写实验报告（包括记录数据与处理数据，以及绘制必要的图形）。
7. 爱护国家财产，如损坏计量器具，应根据具体情节，按有关规章制度进行处理。

实验报告的基本内容和要求

学生对每个实验应做到：原理清楚，方法正确，数据准确可靠，会简单处理测量结果，会查阅公差表格，认真书写实验报告。

实验报告一般包括下述内容：

1. 实验名称。
2. 使用的计量器具与仪器的名称及规格。
3. 测量原理简述。
4. 被测零件的基本尺寸、极限偏差或公差。
5. 列出测量结果，做出适用性结论。
6. 写出测量误差分析与实验心得。

目 录

实验一 尺寸测量.....	(1)
实验1—1 用立式光学计测量塞规.....	(1)
实验1—2 用内径百分表或卧式测长仪测量内径.....	(3)
实验二 形位误差测量.....	(8)
实验2—1 用合象水平仪测量直线度误差.....	(8)
实验2—2 用外径千分尺和角尺测量位置度误差.....	(11)
实验三 表面粗糙度测量.....	(14)
实验3—1 用双管显微镜测量表面粗糙度.....	(14)
实验3—2 用干涉显微镜测量表面粗糙度.....	(17)
实验四 锥度测量——用正弦尺测量圆锥角偏差.....	(21)
实验五 螺纹测量.....	(23)
实验5—1 影象法测量螺纹主要参数.....	(23)
实验5—2 外螺纹中径的测量.....	(27)
实验六 齿轮测量.....	(30)
实验6—1 齿轮周节偏差与周节累积误差的测量.....	(30)
实验6—2 齿轮齿圈径向跳动测量.....	(33)
实验6—3 齿轮径向综合误差测量.....	(35)
实验6—4 齿轮齿形误差测量.....	(36)
实验6—5 齿轮齿厚偏差测量.....	(38)
实验6—6 齿轮公法线平均长度偏差及公法线长度变动的测量.....	(40)
附实验一 用三坐标测量机测量轮廓度误差.....	(43)
附实验二 用计算机处理位置误差的测量数据.....	(45)

实验一 尺寸测量

实验 1—1 用立式光学计测量塞规

一、实验目的

1. 了解立式光学计的测量原理。
2. 熟悉用立式光学计测量外径的方法。
3. 加深理解计量器具与测量方法的常用术语。

二、实验内容

1. 用立式光学计测量塞规。
2. 根据测量结果, 按国家标准 GB1957—81《光滑极限量规》查出被测塞规的尺寸公差和形状公差, 作出适用性结论。

三、测量原理及计量器具说明

立式光学计是一种精度较高而结构简单的常用光学量仪。用量块作为长度基准, 按比较测量法来测量各种工件的外尺寸。

图 1 为立式光学计外形图, 它由底座 1、立柱 5、支臂 3、直角光管 6 和工作台 11 等几部分组成。光学计是利用光学杠杆放大原理进行测量的仪器, 其光学系统如图 2b 所示。照明光线经反射镜 1 照射到刻度尺 8 上, 再经直角棱镜 2、物镜 3, 照射到反射镜 4 上。由于刻度尺 8 位于物镜 3 的焦平面上, 故从刻度尺 8 上发出的光线经物镜 3 后成为平行光束, 若反射镜 4 与物镜 3 之间相互平行, 则反射光线折回到焦平面, 刻度尺象 7 与刻度尺 8 对称。若被测尺寸变动使测杆 5 推动反射镜 4 绕支点转动某一角度 α (图 2a), 则反射光线相对于入射光线偏转 2α 角度, 从而使刻度尺象 7 产生位移 t (图 2c), 它代表被测尺寸的变动量。物镜至刻度尺 8 间的距离为物镜焦距 f , 设 b 为测杆中心至反射镜支点间的距离, s 为测杆 5 移动的距离, 则仪器的放大比 K 为:

$$K = \frac{t}{s} = \frac{f \operatorname{tg} 2\alpha}{b \operatorname{tg} \alpha}$$

当 α 很小时, $\operatorname{tg} 2\alpha \approx 2\alpha$, $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$, 因此,

$$K = \frac{2f}{b}$$

光学计的目镜放大倍数为 12, $f=200\text{mm}$, $b=5\text{mm}$, 故仪器的总放大倍数 n 为:

$$n = 12K = 12 \times \frac{2f}{b} = 12 \times \frac{2 \times 200}{5} = 960$$

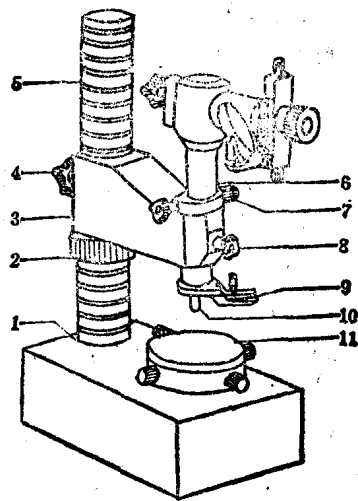


图 1

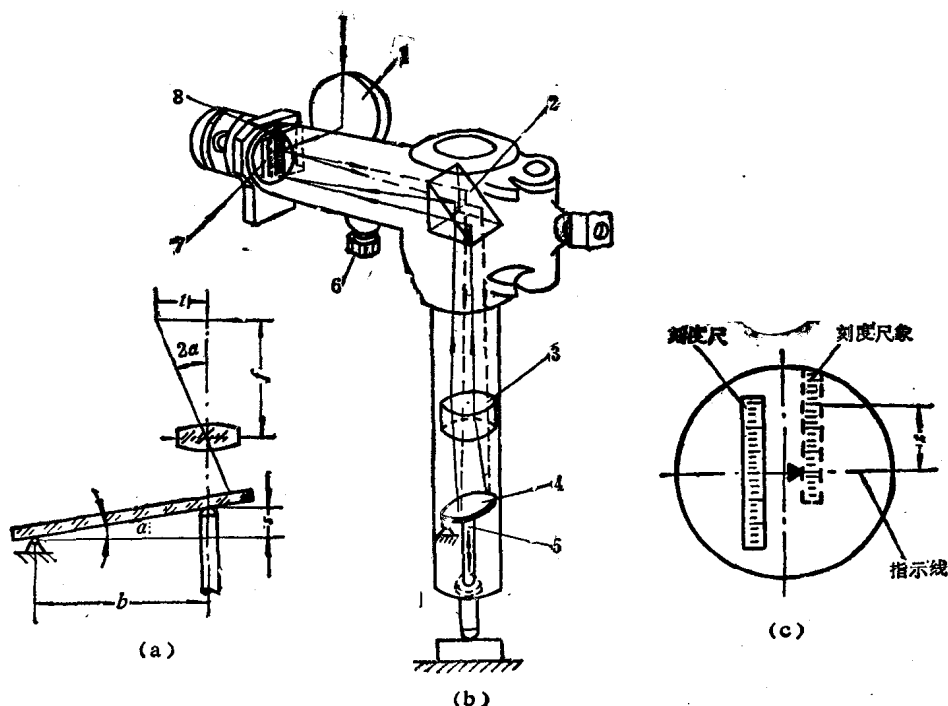


图 2

由此说明, 当测杆移动 0.001mm 时, 在目镜中可见到 0.96mm 的位移量。

四、测量步骤

1. 测头的选择: 测头有球形、平面形和刀口形三种, 根据被测零件表面的几何形状来选择, 使测头与被测表面尽量满足点接触。所以, 测量平面或圆柱面工件时, 选用球形测头。测量球面工件时, 选用平面形测头。测量小于 10mm 的圆柱面工件时, 选用刀口形测头。

2. 按被测塞规的基本尺寸组合量块。

3. 调整仪器零位

(1) 参看图1, 选好量块组后, 将下测量面置于工作台11的中央, 并使测头10对准上测量面中央。

(2) 粗调节: 松开支臂紧固螺钉4, 转动调节螺母2, 使支臂3缓慢下降, 直到测头与量块上测量面轻微接触, 并能在视场中看到刻度尺象时, 将螺钉4锁紧。

(3) 细调节: 松开紧固螺钉8, 转动调节凸轮7, 直至在目镜中观察到刻度尺象与 μ 指示线接近为止(图3a)。然后拧紧螺钉8。

(4) 微调节: 转动刻度尺微调螺钉6(图2b), 使刻度尺的零线影象与 μ 指示线重合(图3b), 然后压下测头提升杠杆9数次, 使零位稳定。

(5) 将测头抬起, 取下量块。

4. 测量塞规: 按实验规定的部位(在三个横截面上的两个相互垂直的径向位置上)进行测量, 把测量结果填入实验报告。

5. 从国家标准GB1957—81查出塞规的尺寸公差和形状公差, 并判断塞规的适用性。

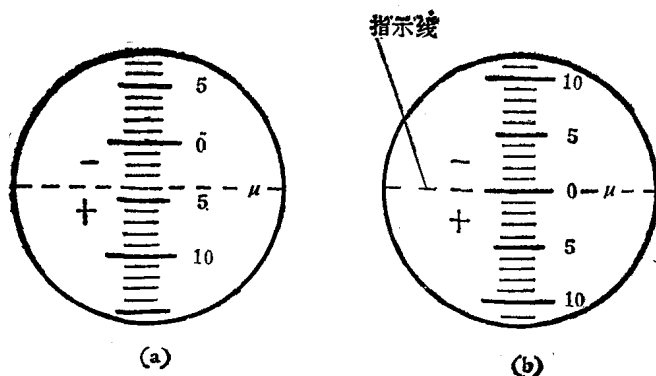


图 3

思考题

1. 用立式光学计测量塞规属于什么测量方法？绝对测量与相对测量各有何特点？
2. 什么是分度值、刻度间距？它们与放大比的关系如何？
3. 仪器工作台与测杆轴线不垂直，对测量结果有何影响？工作台与测杆轴线垂直度如何调节？
4. 仪器的测量范围和刻度尺的示值范围有何不同？

实验 1—2 用内径百分表或卧式测长仪测量内径

一、实验目的

1. 熟悉测量内径常用的计量器具和方法。
2. 加深对内尺寸测量特点的了解。

二、实验内容

1. 用内径百分表测量内径。
2. 用卧式测长仪测量内径。

三、测量原理及计量器具说明

内径可用内径千分尺直接测量。但对深孔或公差等级较高的孔，则常用内径百分表或卧式测长仪作比较测量。

1. 内径百分表

国产的内径百分表，常由活动测头工作行程不同的七种规格组成一套，用以测量 10—450mm 的内径，特别适用于测量深孔，其典型结构如图 1 所示。

内径百分表是用它的可换测头 3（测量中固定不动）和活动测头 2 跟被测孔壁接触进行测量的。仪器盒内有几个长短不同的可换测头，使用时可按被测尺寸的大小来选择。测量时，

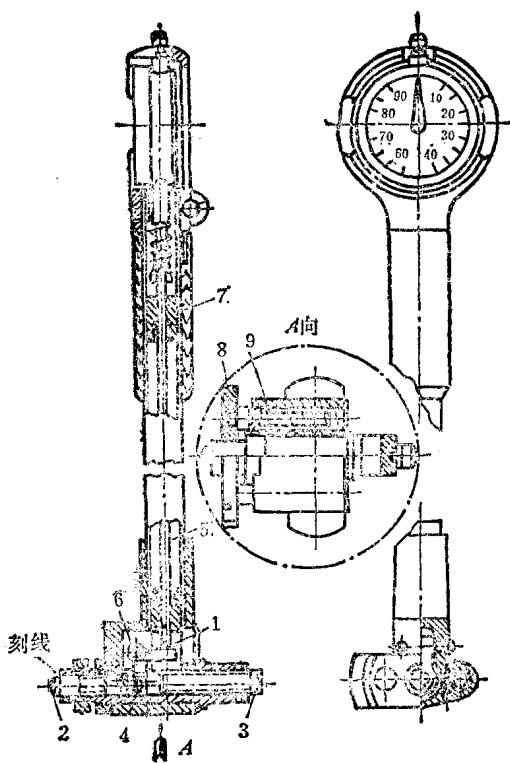


图 1

部分后，测量轴就停止滑动。图3a是测微目镜1的光学系统。在目镜1中可以观察到毫米数值，但还需细分读数，以满足精密测量的要求。测微目镜中有一个固定分划板4，它的上面刻有10个相等的刻度间距，毫米刻度尺的一个间距成象在它上面时恰与这10个间距总长相等，故其分度值为0.1mm。在它的附近，还有一块通过手轮3可以旋转的平面螺旋线分划板2，其上刻有十圈平面螺旋双刻线。螺旋双刻线的螺距恰与固定分划板上的刻度间距相等，其分度值也为0.1mm。在分划板2的中央，有一圈等分为100格的圆周刻度。当分划板2转动一格圆周分度时，其分度值为：

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

这样就可达到细分读数的目的。这种仪器的读数方法如下：从目镜中观察，可同时看到三种刻线（图3b），先读毫米数（7mm），然后按毫米刻线在固定分划板4上的位置读出零点几毫米数（0.4mm）。再转动手轮3，使靠近零点几毫米刻度值的一圈平面螺旋双刻线夹住毫米刻线，再从指示线对准的圆周刻度上读得微米数（0.051mm）。所以从图3b中读得的数是7.451mm。

活动测头2受到一定的压力，向内推动镶在等臂直角杠杆1上的钢球4，使杠杆1绕支轴6回转，并通过长接杆5推动百分表的测杆而进行读数。

在活动测头的两侧，有对称的定位板8。装上测头2后，即与定位板连成一个整体。定位板在弹簧9的作用下，对称地压靠在被测孔壁上，以保证测头的轴线处于被测孔的直径截面内。

2. 卧式测长仪

卧式测长仪是以精密刻度尺为基准，利用平面螺旋线式读数装置的精密长度计量器具。该仪器带有多种专用附件，可用于测量外尺寸、内尺寸和内、外螺纹中径。根据测量需要，既可用于绝对测量，又可用于相对（比较）测量，故常称为万能测长仪。

卧式测长仪的外观如图2所示。在测量过程中，镶有一条精密毫米刻度尺（图3a中的6）的测量轴3随着被测尺寸的大小在测量轴承座内作相应的滑动。当测头接触被测

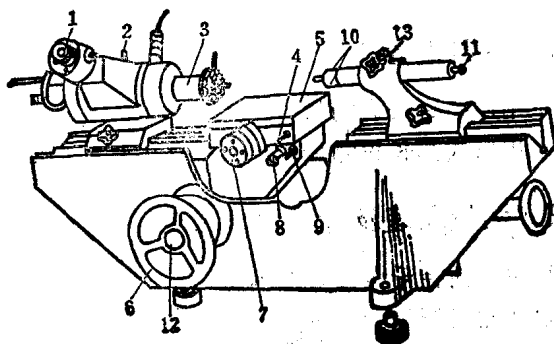


图 2

所以从图3b中读得的

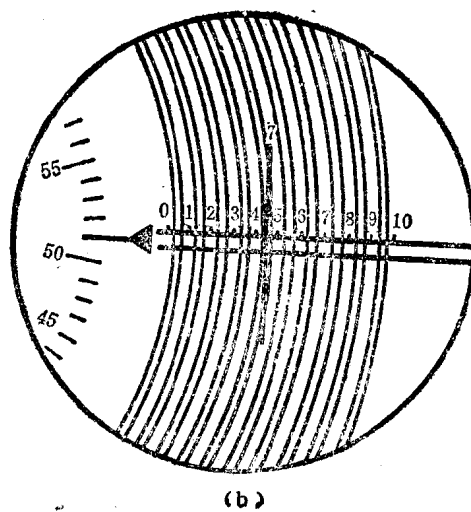
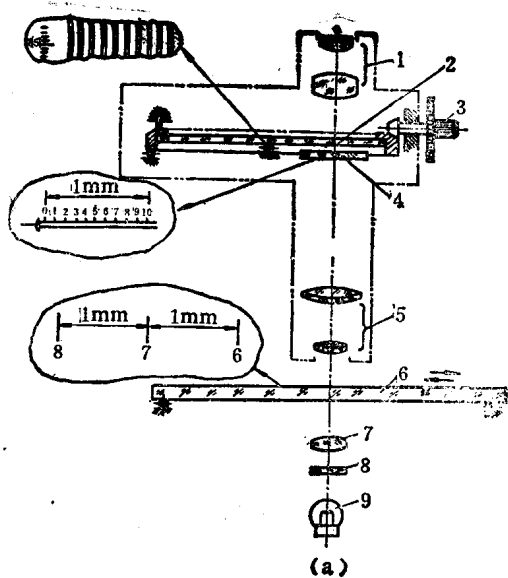


图 3

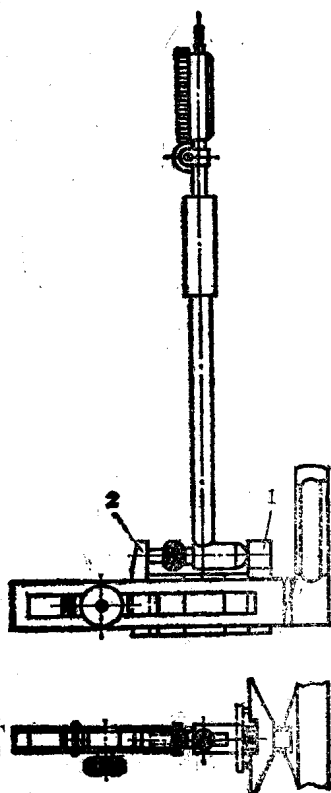


图 4

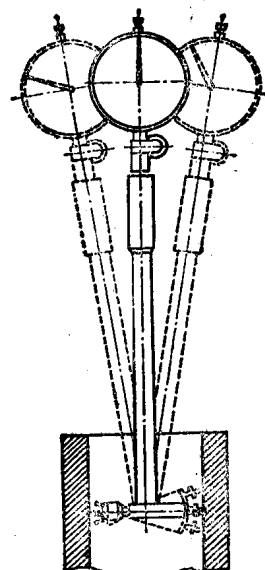


图 5

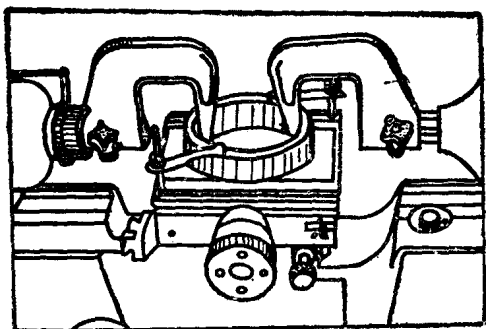


图 6

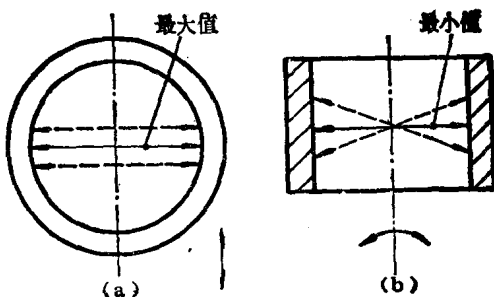


图 7

四、测量步骤

1. 用内径百分表测量内径

(1) 按被测孔的基本尺寸组合量块。换上相应的可换测头并拧入仪器的相应螺孔内。

(2) 将选用的量块组和专用侧块(图4中的1和2)一起放入量块夹内夹紧(图4),以便仪器对零位。在大批量生产中,也常按照与被测孔径基本尺寸相同的标准环的实际尺寸对准仪器的零位。

(3) 将仪器对好零位

用手拿着隔热手柄(图1中的7),另一只手的食指和中指轻轻压按定位板,将活动测头压靠在侧块上(或标准环内)使活动测头内缩,以保证放入可换测头时不与侧块(或标准环内壁)摩擦而避免磨损。然后,松开定位板和活动测头,使可换测头与侧块接触,就可在垂直和水平两个方向上摆动内径百分表找最小值。反复摆动几次,并相应地旋转表盘,使百分表的零刻度正好对准示值变化的最小值。零位对好后,用手指轻压定位板使活动测头内缩,当可换测头脱离接触时,缓缓地将内径百分表从侧块(或标准环)内取出。

(4) 进行测量

将内径百分表插入被测孔中,沿被测孔的轴线方向测几个截面,每个截面要在相互垂直的两个部位上各测一次。测量时轻轻摆动内径百分表(图5),记下示值变化的最小值。根据测量结果和被测孔的公差要求,判断被测孔是否合格。

2. 用卧式测长仪测量内径

(1) 接通电源,转动测微目镜的调节环以调节视度。

(2) 参看图2:松开紧固螺钉12,转动手轮6,使工作台5下降到较低的位置。然后在工作台上安好标准环或装有量块组的量块夹子,如图4所示。

(3) 将一对测钩分别装在测量轴和尾管上(图6),测钩方向垂直向下,沿轴向移动测量轴和尾管,使两测钩头部的楔槽对齐,然后旋紧测钩上的螺钉,将测钩固定。

(4) 上升工作台,使两测钩伸入标准环内或量块组两侧块之间,再将手轮6的紧固螺钉12拧紧。

(5) 移动尾管10(11是尾管的微调螺钉),同时转动工作台横向移动手轮7,使测钩的内测头在标准环端面上刻有标线的直线方向或量块组的侧块上接触,用紧固螺钉13锁紧尾管;然后用手扶稳测量轴3,挂上重锤,并使测量轴上的测钩内测头缓慢地与标准环或侧块接触。

(6) 找准仪器对零的正确位置(第一次读数)

如为标准环, 则需转动手轮 7, 同时应从目镜中找准转折点 (图 7 a 中的最大值), 在此位置上, 扳动手柄 8, 再找转折点 (图 7b 中的最小值), 此处即为直径的正确位置。然后, 将手柄 9 压下固紧。

如为量块组, 则需转动手柄 4, 找准转折点 (最小值)。在此位置上扳动手柄 8 仍找最小值的转折点, 此处即为正确对零位置。要特别注意, 在扳动手柄 4 和 8 时, 其摆动幅度要适当, 千万避免测头滑出侧块, 由于重锤的作用使测量轴急剧后退产生冲击, 将毫米刻度尺损坏。为防止这一事故的发生, 通过重锤挂绳长度对测量轴行程加以控制。当零位找准后, 即可按前述读数方法读数。

(7) 用手扶稳测量轴 3, 使测量轴右移一个距离, 固紧螺钉 2 (尾管是定位基准, 不能移动), 取下标准环或量块组。然后安装被测工件, 松开螺钉 2, 使测头与工件接触, 按前述的方法进行调整与读数, 即可读出被测尺寸与标准环或量块组尺寸之差。

(8) 沿被测内径的轴线方向测几个截面。每个截面要在相互垂直的两个部位上各测一次。根据测量结果和被测内径的公差要求, 判断该内径是否合格。

思 考 题

1. 用内径千分尺与内径百分表测量孔的直径时, 各属何种测量方法?
2. 卧式测长仪上套手柄 4 (图 2), 能使万能工作台下水平转动, 测量哪些形状的工作需要用它来操作?

实验二 形位误差测量

实验 2—1 用合象水平仪测量直线度误差

一、实验目的

1. 掌握用水平仪测量直线度误差的方法及数据处理。
2. 加深对直线度误差定义的理解。

二、实验内容

用合象水平仪测量直线度误差。

三、测量原理及计量器具说明

机床、仪器导轨或其他窄而长的平面,为了控制其直线度误差,常在给定平面(垂直平面、水平平面)内进行检测。常用的计量器具有框式水平仪、合象水平仪、电子水平仪和自准直仪等。使用这类器具的共同特点是测定微小角度的变化。由于被测表面存在着直线度误差,计量器具置于不同的被测部位上,其倾斜角度就要发生相应的变化。如果节距(相邻两测点的距离)一经确定,这个变化的微小倾角与被测相邻两点的高低差就有确切的对应关系。通过对逐个节距的测量,得出变化的角度,用作图或计算,即可求出被测表面的直线度误差值。由于合象水平仪的测量准确度高、测量范围大($\pm 10\text{mm/m}$)、测量效率高、价格便宜、携带方便等优点,故在检测工作中得到了广泛的采用。

合象水平仪的结构如图 1 a、d 所示,它由底板 1 和壳体 4 组成外壳基体,其内部则由杠杆 2、水准器 8、两个棱镜 7、测量系统 9、10、11 以及放大镜 6 所组成。使用时将合象水平仪放于桥板(图 2)上相对不动,再将桥板放于被测表面上。如果被测表面无直线度误差,并与自然水平面基准平行,此时水准器的气泡则位于两棱镜的中间位置,气泡边缘通过合象棱镜 7 所产生的影象,在放大镜 6 中观察将出现如图 1b 所示的情况。但在实际测量中,由于被测表面安放位置不理想和被测表面本身不直,导致气泡移动,其视场情况将如图 1c 所示。此时可转动测微螺杆 10,使水准器转动一角度,从而使气泡返回棱镜组 7 的中间位置,则图 1c 中两影象的错移量 Δ 消失而恢复成一个光滑的半圆头(图 1b)。测微螺杆移动量 s 导致水准器的转角 α (图 1d) 与被测表面相邻两点的高低差 h 有确切的对应关系,即

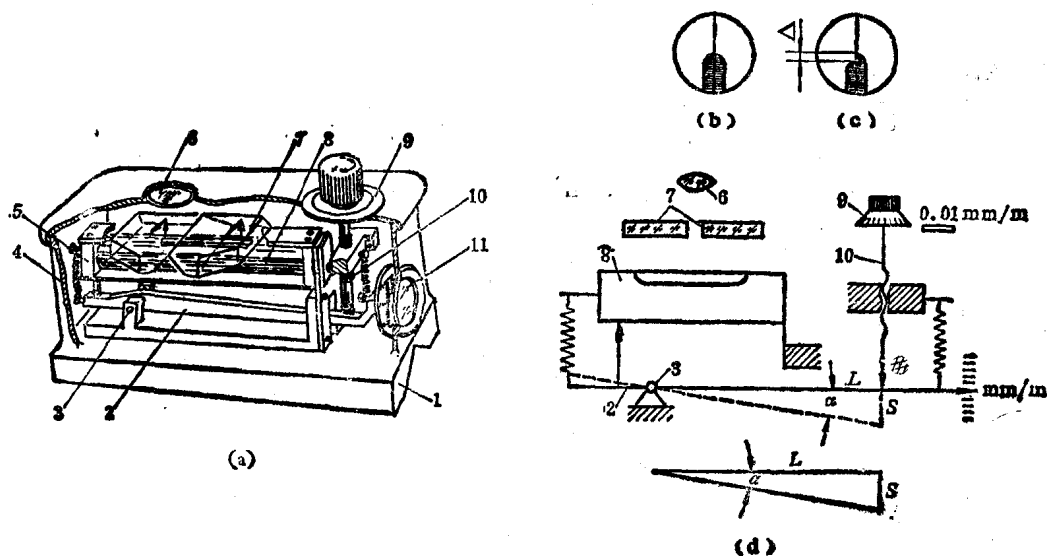
$$h = 0.01La \text{ (}\mu\text{m)}$$

式中 0.01——合象水平仪的分度值 (mm/m);

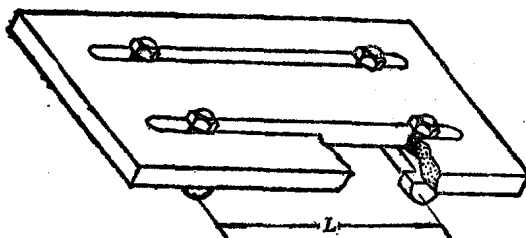
L ——桥板节距 (mm);

α ——角度读数值 (用格数来计数)。

如此逐点测量,就可得到相应的 α_i 值,为了阐述直线度误差的评定方法,后面将用实例加以叙述。



1

**圖 2**

四、实验步骤

1. 量出被测表面总长, 确定相邻两测点之间的距离(节距), 按节距 L 调整桥板(图2)的两圆柱中心距。

2. 将合象水平仪放于桥板上,然后将桥板依次放在各节距的位置。每放一个节距后,要旋转微分筒9合象,使放大镜中出现如图1b所示的情况,此时即可进行读数。先在放大镜11处读数,它是反映螺杆10的旋转圈数;微分筒9(标有+、-旋转方向)的读数则是螺杆10旋转一圈(100格)的细分读数;如此顺测(从首点至终点)、回测(由终点至首点)各一次。回测时桥板不能调头,各测点两次读数的平均值作为该点的测量数据。必须注意,如某测点两次读数相差较大,说明测量情况不正常,应检查原因并加以消除后重测。

3. 为了作图的方便, 最好将各测点的读数平均值同减一个数而得出相对差 (见后面的例题)。

4. 根据各测点的相对差, 在坐标纸上取点。作图时不要漏掉首点(零点), 同时后一测点的坐标位置是以前一点为基准, 根据相邻差数取点的。然后连接各点, 得出误差折线。

5. 用两条平行直线包容误差折线, 其中一条直线必须与误差折线两个最高(最低)点相切, 在两切点之间, 应有一个最低(最高)点与另一条平行直线相切。这两条平行直线之

间的区域才是最小包容区域。从平行于纵坐标方向画出这两条平行直线间的距离，此距离就是被测表面的直线度误差值 f (格)。

6. 将误差值 f (格)按下式折算成线性值 $f(\mu\text{m})$ ，并按国家标准 GB1184—80 评定被测表面直线度的公差等级。

$$f(\mu\text{m}) = 0.01 L f (\text{格})$$

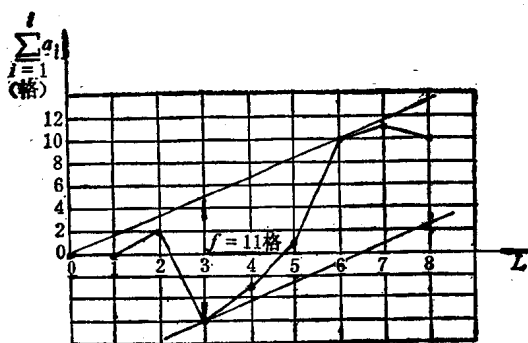
例：用合象水平仪测量一窄长平面的直线度误差，仪器的分度值为 0.01mm/m ，选用的桥板节距 $L=200\text{mm}$ ，测量直线度记录数据见附表。若被测平面直线度的公差等级为 5 级，试用作图法评定该平面的直线度误差是否合格？

附 表

测点序号：		0	1	2	3	4	5	6	7	8
仪器读数 α_i (格)	顺 测	—	298	300	290	301	302	306	299	296
	回 测	—	296	298	288	299	300	306	297	296
	平 均	—	297	299	289	300	301	306	298	296
相 对 差 (格) $\Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha$		0	0	+2	-8	+3	+4	+9	+1	-1

注：①表列读数，百分数是从图1的11处读得，十位、个位数是从图1的9处读得。

② α 值可取任意数，但要有利于相对差数字的简化，本例取 $\alpha=297$ 格。



$$f = 0.01 \times 200 \times 11 \\ = 22 \mu\text{m}$$

按国家标准 GB1184—80，直线度 5 级公差值为 $25 \mu\text{m}$ 。误差值小于公差值，所以被测工件直线度误差合格。

思 考 题

1. 目前部分工厂用作图法求解直线度误差时，仍沿用以往的两端点连线法，即把误差折线的首点（零点）和终点连成一直线作为评定标准，然后再作平行于评定标准的两条包容直线，从平行于纵坐标来计量两条包容直线之间的距离作为直线度误差值。

(1) 以例题作图为例，试比较按两端点连线和按最小条件评定的误差值，何者合理？

为什么?

(2) 假若误差折线只偏向两端点连线的一侧(单凸、单凹), 上述两种评定误差值的方法的情况如何?

2. 用作图法求解直线度误差值时, 如前所述, 总是按平行于纵坐标计量, 而不是垂直于两条平行包容直线之间的距离, 原因何在?

实验 2—2 用外径千分尺和角尺测量位置度误差

一、实验目的

1. 了解用外径千分尺和角尺测量位置度误差的方法及位置度误差的数据处理方法。
2. 加深对位置度误差定义的理解。

二、实验内容

用外径千分尺、宽底座角尺、量块和检验螺钉等测量内螺纹轴线的位置度误差。

三、测量原理

图 1 所示零件上有一个四螺孔组, 给有位置度公差 $\phi 0.2\text{mm}$ 。该四螺孔组的定位尺寸在水平方向为 $L_1 \pm 0.5\text{mm}$, 在垂直方向为 $L_2 \pm 0.5\text{mm}$ 。按图 1 的标注, 四螺孔组的位置度公差与定位尺寸及四螺孔的尺寸不发生联系, 遵守独立原则。因此, 只要各螺孔的实际轴线同时位于位置度公差带内和定位尺寸公差带内就算合格。测量分下列两个步骤进行。

1. 测量各螺孔的位置度误差

图 2 为测量示意图。利用宽底座角尺(以下简称角尺)、量块和检验螺钉(以下简称螺钉)建立以第 1 孔的孔心为原点和 1、2 两孔的孔心连线为 x 轴的测量坐标系, 并由此确定量块组的尺寸 L_0 和 L_0 。在此基础上, 用外径千分尺测出尺寸 a_1 ; 然后将角尺短边与长边相切的位置对调, 测出尺寸 a_4 ; 再将角尺长边靠切 1、2 螺钉, 角尺短边与螺钉 2 或 3 相切, 测出尺寸 a_2 ; 最后将角尺长边靠切两个量块组, 用角尺短边与螺钉 3 或 4 相切, 测出尺寸

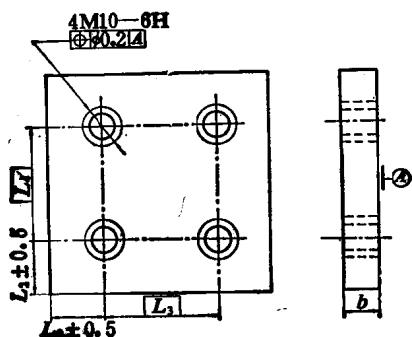


图 1

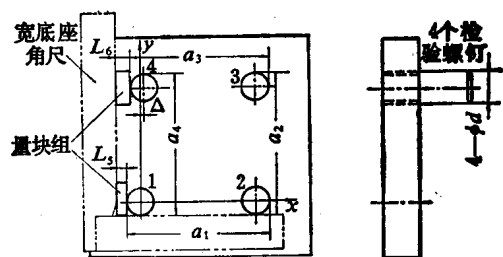


图 2