



燕山大学

机械精度设计与先进测量技术实验指导书

Mechanical Precision Design and Advanced Measurement
Technology Experiment Instruction Book

编者：吴玲 李斌 马筱聪

教务处

2023年8月

实验一 位置度误差的测量

一、实验目的

- 1、加深了解位置度误差的检测原理、基准的体现方法及数据处理方法。
- 2、了解大型工具显微镜的结构、原理、使用方法及注意事项。

二、实验设备及被测工件

大型工具显微镜、手表中夹板。

三、实验内容

在大型工具显微镜上测量手表中夹板的孔中心距的位置度误差。

四、仪器概述

大型工具显微镜是机械制造工厂、科学研究机关及高等院校的计量部门或车间检查站广泛使用的一种多用途计量仪器。由于仪器附有多种专用镜头，所以除测量一般长度和角度外，还可用于测量样板、螺纹孔中心距等。

1、测量范围

坐标测量行程 (mm): X 坐标: 0~150

Y 坐标: 0~75

立柱倾斜角度: $\pm 15^\circ$

圆工作台旋转角度: 0~360°

2、刻度值

X、Y 坐标数显分辨率: 0.001mm

圆工作台测量角度数显分辨率: 1'

显微镜立柱侧向倾斜角度: 30'

3、仪器结构

如图 1-1, 由横臂、立柱、物镜、目镜、照明等部分组成。

4、仪器的光学系统

如图 1-2, 是利用透射光进行工作的光学系统图。由光源发出的光, 通过滤色片 2, 可变光阑 3, 经反光镜 4 而垂直向上, 通过聚光镜 5 形成一组光束,

照明工作台 10 玻璃板上的被测工件,通过物镜 3 使放大的工件轮廓成像在目镜分划板上,然后用目镜 1 进行观察。测量时通过显示屏 7 读取数值。

5、测角目镜的结构

如图 1-3, 测角目镜内有一组瞄准刻线, 由一条水平虚线和五条竖直平行的虚线及一对交叉实线组成。



图 1-1 仪器结构示意图

1 目镜 2 照明灯 3 物镜 4 锁紧手轮 5 横向手轮 6 旋转手轮 7 显示屏 8 变压器
9 纵向手轮 10 工作台 11 反射照明器 12 横臂 13 升降手轮 14 立柱

五、测量方法

本实验被测工件为手表里的中夹板, 见图 1-4, 要求 1、2、3 三个孔中心相对于基准孔 A 的中心在中心距方向上的位置度误差不超过直径为 $\phi 0.35\text{mm}$ 的

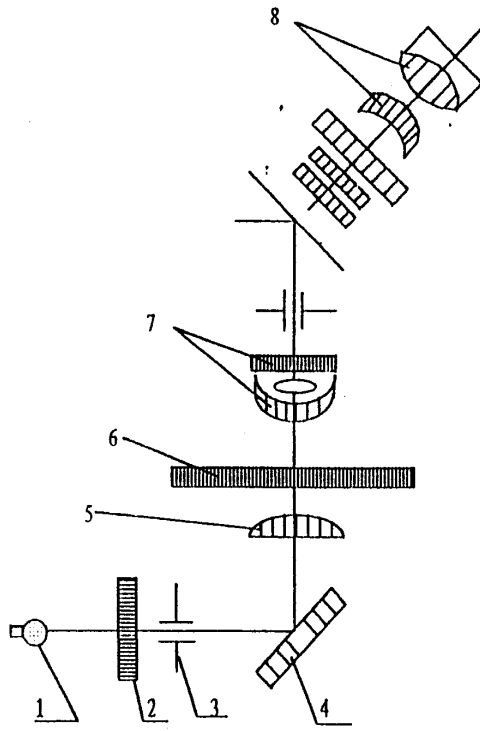


图 1-2

1 光源 2 滤色片 3 光阑 4 反光镜 5 聚光镜 6 圆工作台 7 物镜 8 目镜

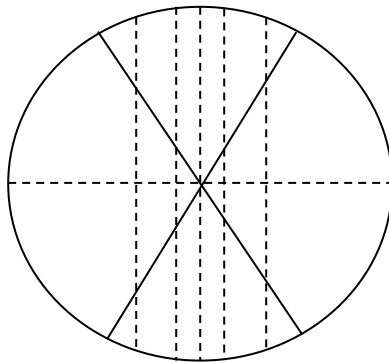


图 1-3 测角目镜视场

圆柱形内部（公差带）区域。测量时的辅助基准为 B（中夹板的左侧面）。在大型工具显微镜上用测角目镜和 3×物镜，利用影象法测量出 A、1、2、3 四个孔相关位置点（切点）的直角坐标值，然后计算出三个孔（1、2、3）的实际中心对基准孔 A 的中心的直角坐标距离，最后间接计算出位置度误差的值。测量时调整工作台，使目镜中的竖直虚线（任意一条）与基准 B 重合，然后再移动工作台，使中间竖直虚线分别与基准孔 A 的左、右两边相切（注意：相切时“+”字线的交点应与切点重合），并在显示屏（X 坐标）上分别读出两个数值 a_1 、 a_2 ，再移动工作台，使中间竖直虚线分别与被测孔 1 的左、右两边相切，在显示屏（X 坐标）上分别读出两个数值 a_3 、 a_4 ，这样就可求出孔 1 对基准孔 A 的实际中心距的横向坐标距离为：

$$X1 = \left| \frac{a_3 + a_4}{2} - \frac{a_1 + a_2}{2} \right|$$

然后，通过移动工作台，使水平虚线分别与基准孔 A 的上、下两边相切，在显示屏（Y 坐标）上分别读出两个数值 b_1 、 b_2 ，再通过移动工作台，使水平虚线分别与孔 1 的上、下两边相切，在显示屏（Y 坐标）上分别读出两个数值 b_3 、 b_4 ，这样就可求出孔 1 对基准孔 A 的实际中心距的纵向坐标距离为：

$$Y1 = \left| \frac{b_3 + b_4}{2} - \frac{b_1 + b_2}{2} \right|$$

用上述同样方法求出 $X2$ 、 $Y2$ ， $X3$ 、 $Y3$ 。

然后将求得的 $X1$ 、 $X2$ 、 $X3$ ； $Y1$ 、 $Y2$ 、 $Y3$ 分别与相应的理论正确尺寸 $\boxed{X1}$ 、 $\boxed{X2}$ 、 $\boxed{X3}$ ； $\boxed{Y1}$ 、 $\boxed{Y2}$ 、 $\boxed{Y3}$ 进行比较，求出横向、纵向偏差值 f_{xi} 、 f_{yi} （ $i=1, 2, 3$ ）。

计算出位置度误差 f_i ：

$$f_i = 2\sqrt{f_{Xi}^2 + f_{Yi}^2}$$

当 $f_i \leq \Phi 0.35\text{mm}$ 时，工件合格。

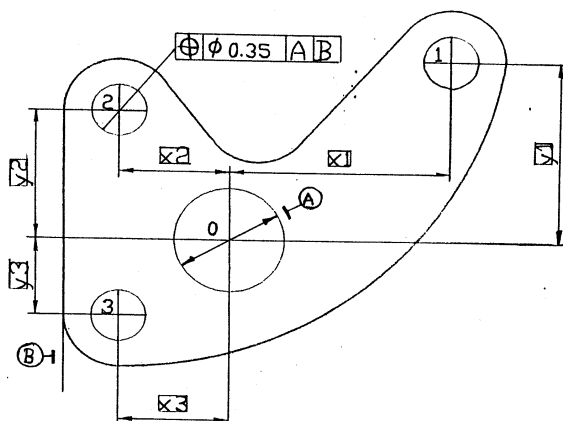


图 1-4

六、实验步骤

1、将工件放置在工作台的适当位置；

2、接通电源；

3、调焦距；

(A) 将立柱 14 调到垂直位置（即立柱倾斜角度为零度）。

(B) 调整目镜焦距，直到能清晰看到目镜内的刻线为止。

(C) 右手松开横臂锁紧手柄，同时用左手和右手转动横臂升降手轮 13，使横臂 12 沿立柱上下移动，直到在目镜视场中看到清晰的工件为止，然后锁紧手柄。

(D) 旋转目镜调节手轮，使“+”字线中的水平线与旁边的角度刻线中的“0”刻度线对准，松开工作台锁紧手轮 4，转动圆工作台旋转手轮 6，同时移动横向、纵向手轮，将基准 B 与竖直虚线（任意一条）重合或平行。然后拧紧圆工作台锁紧手轮 4（注意：测量过程中工件与圆工作台不能有相对转动）。

(E) 用前面的测量方法，将测量数据计算后填入报告。

实验二 用立式光学计测量圆柱形工件的外径

一、实验目的

- 1、了解立式光学计的基本原理、结构及操作技术。
- 2、掌握量块的组合方法。
- 3、掌握用相对测量方法测量圆柱形工件的外径及形状误差。

二、实验设备及被测工件

立式光学计、量块、圆柱形工件。

三、仪器概述

立式光学计是精密光学机械端度计量仪器之一。它是利用标准量块与被测零件相比较的方法来测量零件外形的微差尺寸。它可以检定量块以及高精度柱形量规。对于圆柱形、球形等工件的直径或板形物件的厚度均能测量。

1、仪器的基本度量指标如下

总放大倍数 $1650\times$

分划板分度值 0.001mm

分划板分度范围 $\pm 0.1\text{mm}$

2、仪器结构及简介

如图 2-1 所示，主要由立柱、投影灯、光学计管、横臂、工作台、测帽等组成。

投影光学计管由上端壳体及下端测量管组成，上端壳体内装有隔热玻璃分划板、反射棱镜、投影物镜、直角棱镜、反光镜、投影屏及放大镜等光学零件，在壳体的右侧上装有调节零位的微动螺钉，转动微动螺钉可使分划板得到一个微小的移动，使投影屏上的刻线像对准零位。测量管插入仪器主体横臂内，在测量管内装有准直物镜、平面反光镜及光学杠杆放大系统的测量杆，测量杆下端装有测帽（球面、平面和刃形）。测量杆的上下升降是借助于测帽提升器的杠杆作用，调整其上升距离，使被测工件方便推入测帽下端。

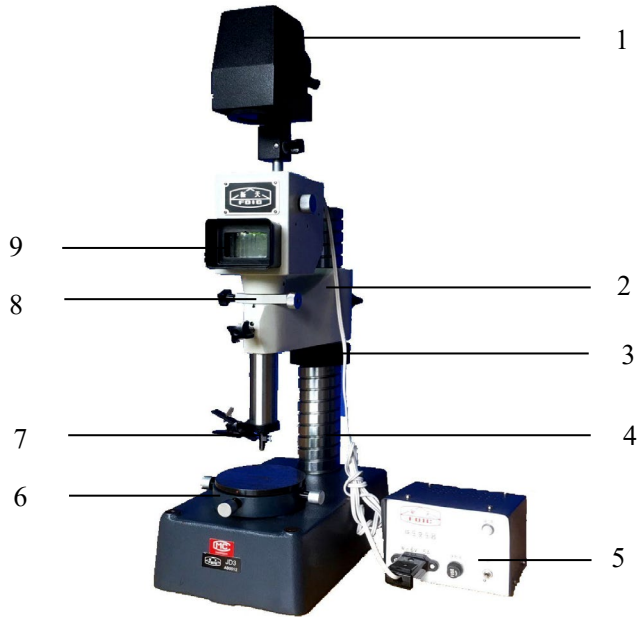


图 2-1

1 投影灯 2 横臂 3 升降螺母 4 立柱 5 变压器 6 工作台 7 测帽 8 微动托圈 9 投影屏

3、投影立式光学计管的测量原理：

如图 2-2 所示，由白炽灯泡 1 发出的光线经过聚光镜 2 和滤色片 6，再通过隔热玻璃 7 照明分划板 8 的刻线面，再通过反射棱镜 9 后射向准直物镜 12。由于分划板 8 的刻线面置于准直物镜 12 的焦平面上，所以成像光束通过准直物镜 12 后成为一束平行光入射于平面反光镜 13 上，根据自准直原理，分划板刻线的像被平面反光镜 13 反射后，再经准直物镜 12 被反射棱镜 9 反射，成像在投影物镜 4 的物平面上，然后通过投影物镜 4，直角棱镜 3 和反光镜 5 成像在投影屏 10 上，通过读数放大镜 11 观察投影屏 10 上刻线像。

由于测帽 15 接触工件后，其测量杆 14 使平面反光镜 B 倾斜了一个角度 ϕ ，在投影屏上就可以看到刻线的像也随着移动了一定的距离，其关系计算如下图 2-3。

设测量杆移动距离为 S ，平面反射镜则以 O 为轴线摆动 ϕ 角，因此 $\text{tg } \phi = S/a$ ，（ a 为测量杆轴线至平面反光镜 13 的摆动轴线 O 之距离）所以 $S = a \cdot \text{tg } \phi$ 。

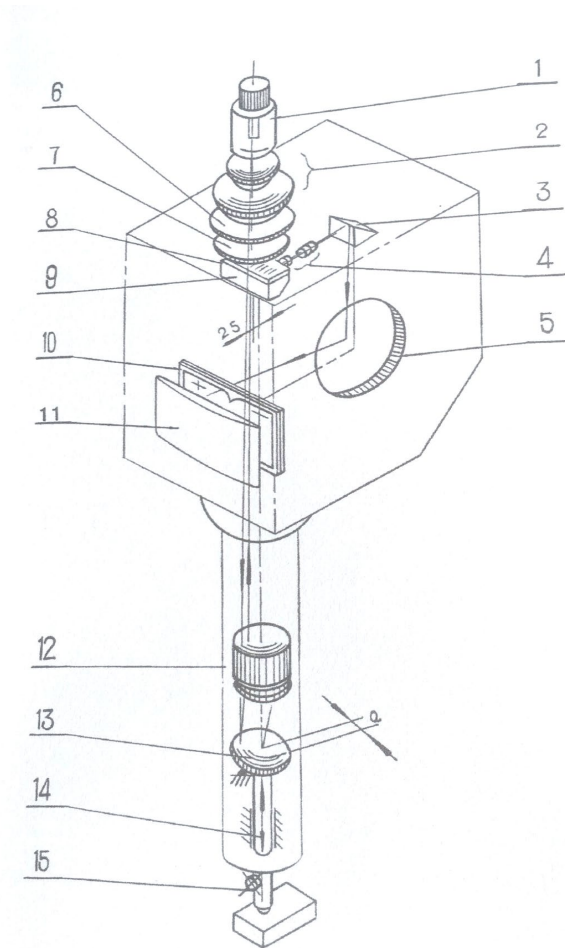


图 2-2 光学计管的测量原理图

- 1 灯泡 2 聚光镜 3 直角棱镜 4 投影物镜 5 反光镜 6 滤色片 7 隔热玻璃 8 分划板
9 反射棱镜 10 投影屏 11 读数放大镜 12 准直物镜 13 平面反光镜 14 测量杆 15 测帽

又设入射在平面反光镜 13 上的主光线为 MN，根据反射定律，当平面反光镜转动了 ϕ 角时，其反射光线与入射光线夹角应为 2ϕ 角，因此 M 点转动到 M_1 点，令 $MN_1=f$ （即准直物镜焦距）。因此 $\text{tg}2\phi = t/f$ ，所以 $t=f \cdot \text{tg}2\phi$

因此：光学杠杆的传动比 $K=t/s=f \cdot \text{tg}2\phi/a \cdot \text{tg}\phi$

由于 ϕ 角很小，可视作 $\text{tg}2\phi=2\phi$ ， $\text{tg}\phi=\phi$

故得： $K=2f/a$

假设投影物镜放大率为 V_1 ，读数放大镜的放大率为 V_2

则投影光学计的总放大率 $n=k \cdot V_1 \cdot V_2=2f/a \cdot V_1 \cdot V_2$

令光学计的准直物镜焦距 $f=200\text{mm}$, $a=5\text{mm}$, $V_1=18.75\times$, $V_2=1.1\times$

故 $n=1650\times$

由上式可知,当测量杆移动一个微小的距离 0.001mm ,经过 $1650\times$ 的放大后,就相当于在投影屏上所看到的 1.65mm 的距离。

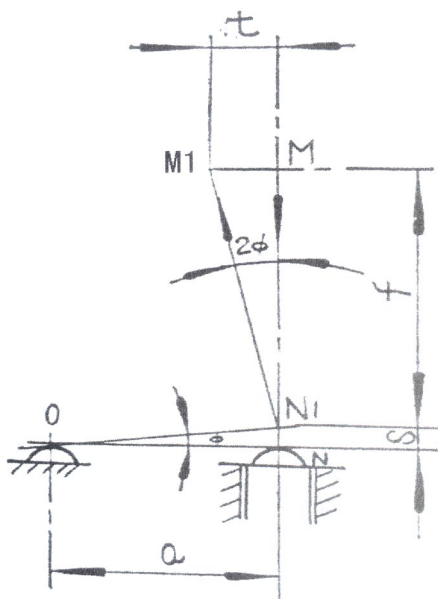


图 2-3 光学杠杆传动比示意图

四、量块的使用知识

1、量块的组合原则

根据零件的基本尺寸选择量块的数量,因为每块量块本身有加工误差,所以选择量块时其数量应尽量少,以免由于量块本身误差的积累而造成测量误差的增加。由此规定,量块最多只能选四块。

2、量块的组合方法

举例说明,现有一基本尺寸为 $\phi 24.685\text{mm}$ 的圆柱形工件,根据这一尺寸进行组合量块。

24.685

-1.005 第一块——量块尾数为工件的千分位小数

23.680

23.680

-1.180 第二块——量块尾数为工件的百分位小数

22.500

22.500

-2.500 第三块——量块尾数为工件的十分位小数

20.000

20.000

-20.000 第四块——量块尾数为工件的整数

0

3、量块的接合

使用量块之前，将量块先用清洁的棉花浸汽油洗过，用干棉花擦干，去掉表面的灰尘，粘合量块时应将量块表面小部分接触，轻轻用力下压平行向前推动如图 2-4。

使用量块时应特别小心爱护，量块表面必须保持清洁，严防量块掉到地下或与其它硬面相碰，因稍有损坏，就会影响两块量块之间的相互粘合性和精度。

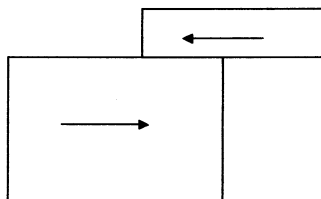


图 2-4

五、测量方法

本实验是比较测量，测量前首先根据零件的基本尺寸组合量块，然后用组合好的量块调整仪器的零位，调零位前应将仪器工作台及量块表面擦干净。

1、选择测帽

根据被测零件形状进行选择，即测帽与被测零件的接触宜采用点接触或线接触。本实验的被测工件为圆柱形工件，故可选用刃形或球面测帽，选好后装在测量管上。

2、组合量块

根据被测零件的基本尺寸，按照量块的使用知识进行选择量块并研合好。如被测圆柱形工件的外径为 $\Phi 26\text{mm}$ ，我们选择两个尺寸分别为 20mm 和 6mm 的量块进行组合。

3、调整工作台

测量时以工作台为基准面，因此要求台面应与测量杆移动方向垂直，可用工作台调整螺钉来调整。

4、调整零位

(A) 把研合好的量块置于工作台上，并使其侧面中间对准测头。

(B) 粗调整：旋松横臂固定螺钉（要握住横臂，以防横臂突然下坠），转动横臂升降螺母，使横臂缓缓下降，当测头刚好接触量块表面并在目镜上出现标尺像为止，拧紧横臂固定螺钉。

(C) 细调整：松开光管固定螺钉，转动微动手轮作适当升降，从目镜内看到分划线后，再旋转目镜调焦，以便更清楚地看见分划线，调节使分划线之零位与指示虚线重合，再适当将光管固定螺钉旋紧。

(D) 微调整：若旋紧光管固定螺钉后，零位稍有移动，可旋动零位调节手轮作零位的微动调节，此时最好拨动提升器几次，然后检查横臂固定螺钉、光管固定螺钉、微动托圈固定螺钉是否紧固，并检查提升器、测帽是否装牢，直至扳动提升器后零位不变动即可进行工作，但以上紧固部分不宜再动。

5、取下量块，放上工件。工件在测头下面轻轻滚动，从投影屏上读出最大值（注意正负），即为工件在这点的偏差值。将工件分为 30 个截面，在每个截面上测 4 个点（约 45° 测一个点），共测 120 个点。将测得数据填入实验报告中，按要求进行数据处理。

封面设计： 贾丽

地 址： 中国河北省秦皇岛市河北大街 438 号

邮 编： 066004

电 话： 0335-8057068

传 真： 0335-8057068

网 址： <http://jwc.ysu.edu.cn>