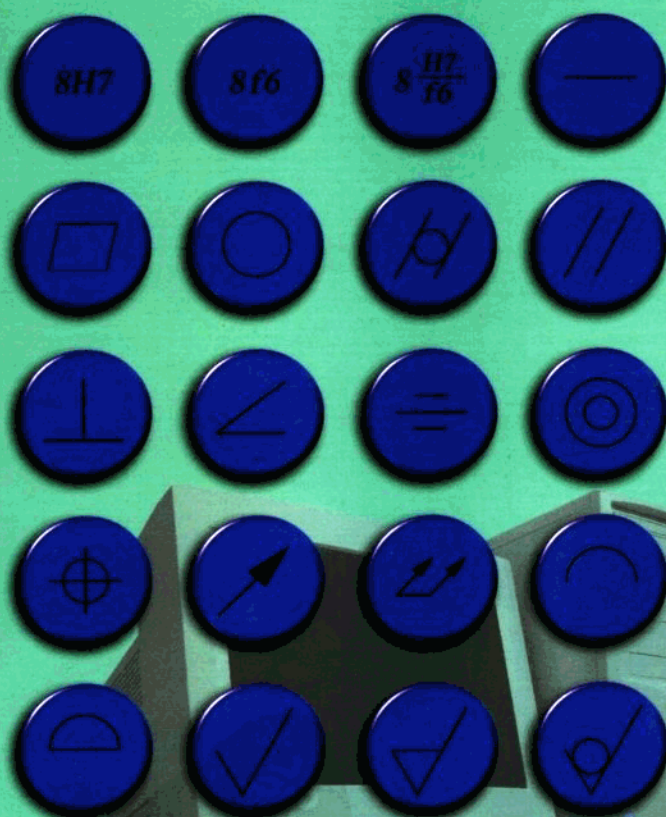
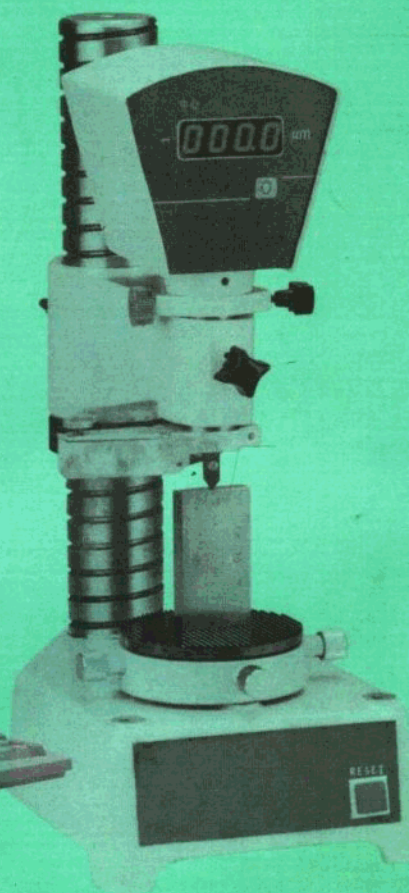


机械精度设计与检测基础 实验指导书

赵熙萍 主编



哈尔滨工业大学出版社



机械精度设计与检测基础 实验指导书

赵熙萍 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书是为机械精度设计与检测基础课程(原互换性与测量技术基础课程)编写的实验指导书。

本书编写了轴孔测量、形状误差测量、位置误差测量、表面粗糙度测量、圆柱螺纹测量、圆柱齿轮测量等方面的 23 个实验,还附有实验报告等内容。

本书可作为高等工科院校机械类专业本、专科学生的实验教材,也可作为成人教育机械类专业本、专科学生的实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测基础实验指导书/赵熙萍主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社, 2003. 1 (2006. 3 重印)

ISBN 7 - 5603 - 1729 - 4

I . 机… II . 赵… III . 机械 - 加工精度 - 实验 -
高等学校 - 教学参考资料 IV . TH161

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 032557 号

责任编辑 徐 雁

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787mm × 1092mm 1/16 印张 6.25 字数 140 千字

版 次 2004 年 4 月第 2 版 2006 年 3 月第 3 次印刷

印 数 8 001 ~ 12 000

定 价 9.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

机械精度设计与检测基础(即互换性与测量技术基础)课程中,实验课是教学的重要组成部分。通过实验课,可以使学生熟悉有关几何量测量的基础知识、测量方法和常用计量器具的使用方法,同时可以巩固学生在课堂上所学的内容,培养学生的基本技能和动手能力。

本书根据高等工业学校互换性与测量技术课程教学指导小组的要求、参考了于春泾、齐宝玲编写的《几何量测量实验指导书》(北京理工大学出版社出版),并融入了作者的多年实验教学经验。各校可根据具体的设备条件和不同专业的教学要求,选做本书中的部分实验。

本书经过近几年的实验教学实践,一直在不断的修订和完善。随着科学技术和本课程(机械精度设计与检测基础)的发展,为了进一步满足教学改革的需要,与时俱进,我们又对 2003 年版进行了修订。对原版的内容进行了精减和更新,并且增加了综合实验的内容,让学生自己设计实验方案,以培养学生独立进行科学研究的能力。

本书将量块的使用与维护简介于附录 I,量仪的使用与维护简介于附录 II,供现场教学和学生自学参考;实验报告列于附录 III,供学生使用。

本书由哈尔滨工业大学赵熙萍主编,哈尔滨理工大学杨玉春主审。参加本书编写的作者有:实验一、实验二、实验六和实验七由赵熙萍编写,实验三和附录由哈尔滨工业大学周海编写,实验四和实验五由黑龙江工程学院于海波编写,实验八由哈尔滨工业大学张晓光编写。

由于作者水平有限,书中难免有不当之处,真诚欢迎读者批评指正。

作 者

2006 年 3 月

目 录

实验守则	(1)
实验 1 轴孔测量	(3)
实验 1.1 用立式光学计测量轴径	(3)
实验 1.2 用立式测长仪测量轴径	(7)
实验 1.3 用内径指示表测量孔径	(10)
实验 2 形状误差测量	(13)
实验 2.1 用自准直仪测量平台的直线度误差	(13)
实验 2.2 用分度头测量圆度误差	(16)
实验 2.3 用指示表测量平面度误差	(18)
实验 3 位置误差测量	(21)
实验 3.1 箱体位置误差测量	(21)
实验 3.2 用框式水平仪测量导轨平行度误差	(26)
实验 3.3 用摆差测定仪测量跳动误差	(28)
实验 4 表面粗糙度测量	(30)
实验 4.1 用双管显微镜测量表面粗糙度	(30)
实验 4.2 用干涉显微镜测量表面粗糙度	(33)
实验 4.3 用电动轮廓仪测量表面粗糙度	(37)
实验 5 圆柱螺纹测量	(41)
实验 5.1 在大型工具显微镜上测量螺纹量规	(41)
实验 5.2 外螺纹单一中径测量	(46)
实验 6 圆柱齿轮测量	(50)
实验 6.1 齿轮齿距偏差测量	(50)
实验 6.2 齿轮公法线长度变动量和公法线长度偏差测量	(54)
实验 6.3 齿轮基节偏差测量	(57)
实验 6.4 齿轮齿厚偏差测量	(59)
实验 6.5 齿轮径向跳动测量	(61)
实验 6.6 齿轮径向综合总偏差测量	(66)

实验 7 几何量测量的综合实验(选做)	(65)
实验 8 测量结果与测量误差的评定	(68)
实验 8.1 直接测量结果与测量误差的评定	(68)
实验 8.2 间接测量结果与测量误差的评定	(69)
附录 I 量块的使用与维护	(71)
附录 II 量仪的使用与维护	(73)
附录 III 实验报告	(75)

实 验 守 则

(1) 上课前学生必须对实验内容进行充分预习,并写出预习报告。经指导教师检查合格后,方可进行实验。

(2) 必须爱护仪器设备,遵守操作规程,严禁乱动、乱拆。如有损坏丢失,必须立即报告指导教师,由实验室酌情处理。因违反规章制度、不遵守操作规程而造成仪器损坏者,需按规定进行赔偿。

(3) 实验室内严禁吸烟、吐痰、吃东西和乱扔纸屑。除实验必须的讲义、记录纸及文具以外,个人的书包及衣物等一概不要放在实验台上。实验室内不得大声喧哗,注意保持肃静。

(4) 实验做完后,需先经指导教师审查数据并签字,然后再将仪器设备按原样整理完毕,搞好实验室卫生,经教师允许后方可离去。

(5) 学生必须认真写好实验报告,在规定的时间内交给教师批阅。批阅后的实验报告由学生妥善保管,以备考核。

实验 1 轴孔测量

实验 1.1 用立式光学计测量轴径

一、实验目的

- (1) 了解立式光学计的基本技术性能指标和光学杠杆放大原理。
- (2) 学会调节仪器零位和测量方法。
- (3) 巩固轴类零件有关尺寸及形位公差的概念。
- (4) 掌握数据处理方法和合格性判断原则。

二、仪器简介及工作原理

1. 仪器简介

立式光学计(立式光学比较仪)是一种精度较高、结构简单的光学仪器,一般采用相对法以量块为长度基准测量外尺寸。除了用于测量精密的轴类零件外,还可以检定 5 等和 6 等量块。

常见的立式光学计有两种:刻线尺式立式光学计和数显式立式光学计,下面分别简介。

(1) 刻线尺式立式光学计

仪器的基本技术性能指标如下:

分度值 0.001mm

示值范围 $\pm 0.1\text{mm}$

测量范围 $0 \sim 180\text{mm}$

示值误差 $\pm 0.3\mu\text{m}$

仪器外形及主要部分见图 1.1。

由图 1.1 可知,它由底座 1、支臂升降螺旋 2、支臂 3、支臂紧固螺钉 4、立柱 5、直角光管 6、光管微动手柄 7、光管紧固螺钉 8、测头升降杠杆 9、测头 10 和工作台 11 等几部分组成。

(2) 数显式立式光学计

JDG - S1 数字式立式光学计的基本技术性能指标如下:

分度值 0.0001mm

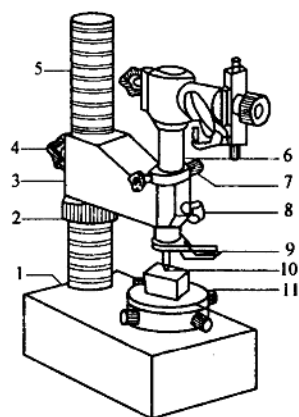


图 1.1

示值范围 (相对于中心零位) $\geq \pm 0.1\text{mm}$

测量范围 $0 \sim 180\text{mm}$

示值误差 (相对于中心零位) $\pm 0.00025\text{mm}$

JDG-S1 的外形及主要部分见图 1.2。

由图 1.2 可知,它由底座 1、升降螺母 2、横臂紧固螺钉 3、横臂 4、电缆 5、立柱 6、微动螺钉 7、光学计管 8、微动紧固螺钉 9、光学计管紧固螺钉 10、提升器 11、测帽 12、可调工作台 13、方工作台安置螺孔 14、数显窗 15、中心零位指示 16、置零按钮 17、电源插座 18 和电缆插座 19 等部分组成。

2. 测量原理——光学杠杆放大原理

刻线尺式立式光学计是利用光学杠杆放大原理进行测量的,其光学系统如图 1.3 所示。

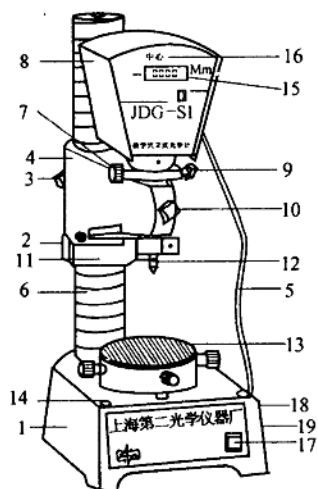


图 1.2

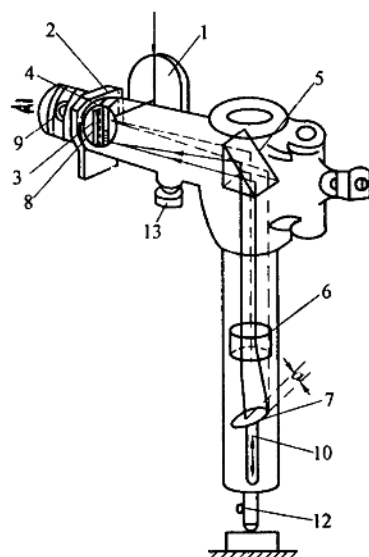


图 1.3

照明光线反射镜 1 及三角棱镜 2 照亮位于分划板 3 左半部的标尺 4 (共 200 格, 分度值为 $1\mu\text{m}$), 再经直角棱镜 5 及物镜 6 后变成平行光束 (分划板 3 位于物镜 6 的焦平面上), 此光束被反射镜 7 反射回来, 再经物镜 6、棱镜 5 在分划板 3 的右半部形成标尺像。分划板 3 右半部上有位置固定的指标尺 8, 当反射镜 7 与物镜 6 平行时, 分划板左半部的标尺与右半部的标尺像上下位置是对称的, 指标尺 8 正好指向标尺像的零刻线, 如图 1.4(a) 所示。当被测尺寸变化, 使测杆 10 推动反射镜 7 绕其支承转过某一角度时, 则分划板上的标尺像将向上或向下移动一相应的距离 t , 如图 1.4(b) 所示。此移动量为被测尺寸的变动量, 可按指示所指格数及符号读出。

光学杠杆放大原理如图 1.5 所示。 s 为被测尺寸变动量, t 为标尺像相应的移动距离, 物镜及分划板刻线面间的距离 F 为物镜焦距, 该测杆至反射镜支承之间的距离为 a , 则放大比 K 为

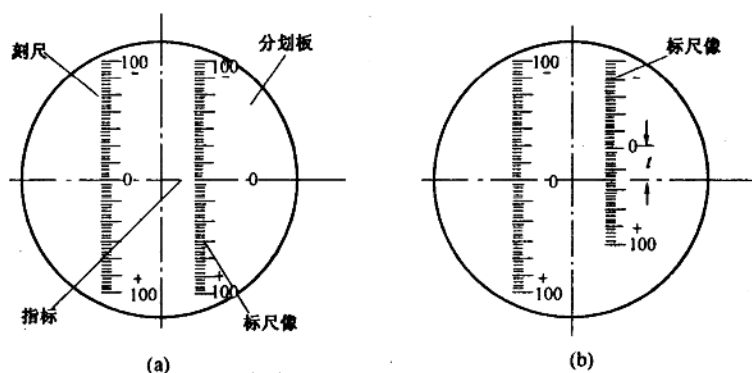


图 1.4

$$K = \frac{t}{s} = \frac{F \cdot \tan 2\alpha}{a \cdot \tan \alpha}$$

式中 F ——物镜焦距；

a ——测杆与支点间的距离。

由于 α 角一般很小,可取 $\tan 2\alpha = 2\alpha$, $\tan \alpha = \alpha$, 所以

$$K = \frac{2F}{a}.$$

一般光学计物镜焦距 $F = 200\text{mm}$, $a = 5\text{mm}$, 则放大比 $K = 80$ 。用 12 倍目镜观察时,标尺像又放大 12 倍,因此总放大比 n 为

$$n = 12K = 12 \times 80 = 960$$

当测杆移动 0.001mm 时,在目镜中可见到 0.96mm 的位移量。由于仪器的刻度尺刻度间距为 0.96mm (它代表 0.001mm), 即这个位移量相当于刻度尺移动一个刻度距离,所以仪器的分度值为 $1\mu\text{m}$ 。

数显式立式光学计读数原理与刻线尺式立式光学计有所不同,它是采用光栅刻线尺传感器及数字信号处理系统将测头的移动量转化为数字并由显示屏显示出来,因而测量结果更为直观,提高了测量精度和测量效率。

三、实验步骤(参阅图 1.1)

以刻线尺式立式光学计为例说明其实验步骤。

1. 选择测帽

测平面或圆柱面用球形测帽;测小于 10mm 的圆柱面用刀口形测帽;测球面用平测帽。

2. 按被测的基本尺寸组合量块组(用 4 等量块)

选好的量块用脱脂棉浸汽油清洗,再经干脱脂棉擦净后研合在一起,并将其放在工作台上。

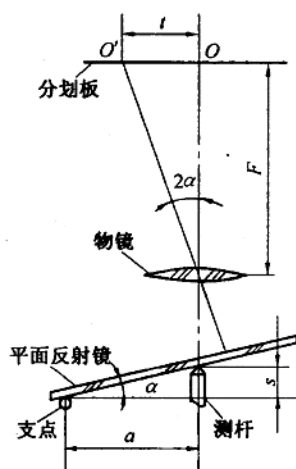


图 1.5

3. 调节零位

(1) 粗调: 松开锁紧螺钉 4, 转动粗调螺母 2, 使测头 10 与量块上测量面慢慢靠近, 待两者极为靠近时(约留出 0.1mm 的间隙, 切勿接触), 将螺钉 4 锁紧。

(2) 精调: 松开螺钉 8, 转动光管微调轮 7, 观察目镜视场, 直至移动着的标尺像处于零位附近时, 再将螺钉 8 锁紧。

若标尺像不清晰, 可调节目镜视度环。

(3) 微调: 转动微调轮 7 使标尺像准确对准零位(图 1.6), 然后用手轻轻按压测头升降杠杆 9 二至三次, 以检查零位是否稳定。若零位略有变化, 可转动微调轮 7 再次对零。

4. 测量

按压测头升降杠杆 9, 抬起测头, 取出量块, 再将被测轴置于工作台上, 按图 1.7 所要求的部位进行测量。可先将被测轴上 I 点靠近测头, 并使其从测头下慢慢滚过, 由目镜中读取最大值(即读数转折点), 此读数就是被测尺寸相对量块尺寸的偏差。读数时应注意正、负号。然后依次测量同一素线上的 II、III 点。用同样的方法测量相隔 90° 的各条素线上的 I、II、III 点。共测量四条素线上的 12 个点, 并将测量结果依次记入实验报告中。

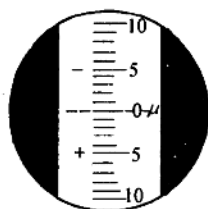


图 1.6

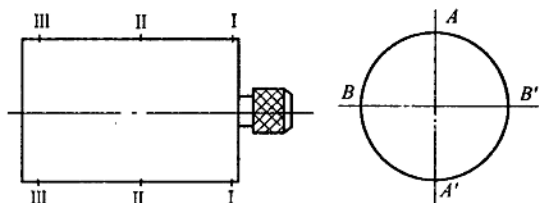


图 1.7

四、数据处理及合格性的评定方法

1. 评定轴径的合格性

所测 12 个直径的实际偏差都应在上、下极限偏差所限定的区域内(图 1.8) 该轴直径才是合格的, 即

$$es \geq e_s \geq ei$$

式中 e_s ——直径的实际偏差。

2. 评定形状位置误差的合格性

在被测轴的零件图上标注了素线直线度公差 t_1 、圆度公差 t_0 、圆柱度公差 t_{ϕ} 和素线平行度公差 $t_{\parallel}$ 。由于在轴上测了四条素线, 所以应求出四个素线直线度误差值 f_1 等和四个素线平行度误差值 $f_{\parallel}$, 并将其中最大的 f_1 、 f_{ϕ} 、 f_0 和 $f_{\parallel}$ 与公差值相比较, 当 $f_1 \leq t_1$ 、 $f_{\parallel} \leq t_{\parallel}$ 、 $f_0 \leq t_0$ 和 $f_{\phi} \leq t_{\phi}$ 时, 即为合格。

(1) 求素线直线度误差的方法有作图法和计算法两种(应按最小条件法求, 但对仅测三点, 比较简单, 可用此法), 现举例说明。

若已测得某一素线上的三点, 其实际偏差分别为: $e_{a1} = -16\mu\text{m}$; $e_{a2} = -8\mu\text{m}$; $e_{a3} = -10\mu\text{m}$ (见表 1.1)。

① 作图法: 如图 1.9 所示, 先将首尾两点相连, 再找出 II 点与该连线的纵坐标距离即

可。此例中显然 $f_- = 5\mu\text{m}$ 。

② 计算法

$$f_- = \left| e_{a2} - \frac{1}{2}(e_{a1} + e_{a3}) \right| = \left| -8 - \frac{1}{2}(-16 - 10) \right| = 5\mu\text{m}$$

(2) 求素线平行度误差的方法很简单,三个实际偏差中最大与最小偏差之差值的绝对值即是。如上例中

$$f_{//} = |e_{a2} - e_{a1}| = |-8 - (-16)| = 8\mu\text{m}$$

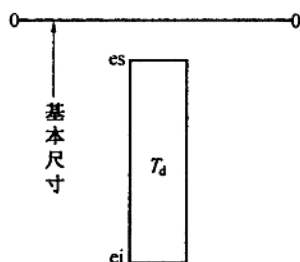


图 1.8

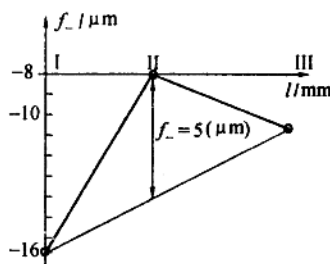


图 1.9

(3) 求圆柱度和圆度误差方法可用近似地计算法,例如,测得三个截面相隔 90° 的径向位置上共 6 个直径。其实际偏差如表 1.1 所示。

表 1.1

μm

测量方向	实际偏差		
	I	II	III
A - A'	-16	-8	-10
B - B'	-8	-10	-6

圆柱度误差可由测得最大偏差和最小偏差之差的 $1/2$ 来确定。在本例中 $f_v = [-6 - (-16)]/2 = 5(\mu\text{m})$ 。

圆度误差可用同一截面两垂直方向的直径差的一半近似作为该截面的圆度误差,取三个截面的圆度误差最大者作最后结果。在本例中 $f_o = [-8 - (-16)]/2 = 4(\mu\text{m})$ 。

实验 1.2 用立式测长仪测量轴径

一、实验目的

学会立式测长仪的操作方法,重点要掌握其读数的方法。

二、仪器简介及读数原理

1. 仪器简介

立式测长仪是一种通用光学量仪,其外观如图 1.10 所示。一般采用绝对测量法测量

各种零件的外型尺寸。

仪器的基本技术性能指标如下：

分度值	0.001mm
示值范围	0 ~ 100mm
测量范围	0 ~ 200mm

2. 读数原理

图 1.10 为立式测长仪的外形图，在测量轴 1 上装有一个玻璃毫米刻线尺，它和测量头 2 可同时上下移动。测量头到工作台面 3 的距离（被测尺寸）可由螺旋读数显微镜 4 读出。其读数原理可见图 1.11。毫米刻线尺 1 上刻有长 100mm、间距为 1mm 的刻线 101 条。在固定分划板 2 上刻有间距为 0.1mm 的刻线 11 条。刻线旁边分别刻有数字 0 ~ 10。从 0 ~ 10 长度恰好为 1mm。该分划板亦可称为 0.1 毫米刻线尺。此外，在该分划板的上方还刻有一个指示箭头。活动分划板 3 是一个玻璃圆盘，可绕其中心 $O-O$ 回转，其上刻有螺距为 0.1mm 的两条并列的阿基米德螺旋线，在分划板的中央部分还有一个被分为 100 等份的圆刻度线尺。该分划板也称为微米度盘。

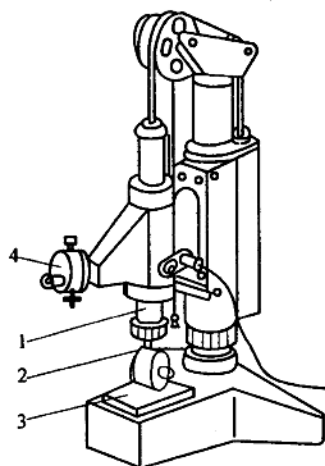


图 1.10

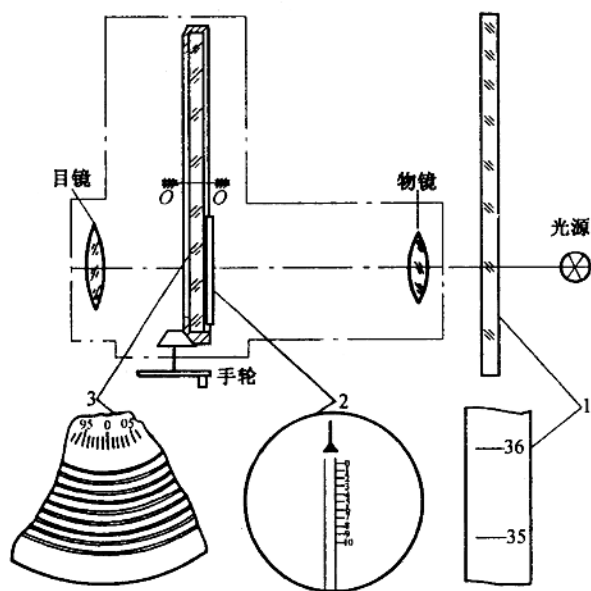


图 1.11

借助手轮可使微米度盘 3 绕其中心 $O-O$ 回转，当微米度盘回转一周时（其上的圆周刻度转过了 100 个格），阿基米德螺旋线沿径向移动了一个螺距 p ，即 0.1mm。若圆周刻度只转过一个格，则阿基米德螺旋线沿径向的位移为

$$t = p \times \frac{1}{100} = 0.1 \times \frac{1}{100} \text{mm} = 0.001 \text{mm} = 1 \mu\text{m}$$

因此,当微米度盘回转的位置确定后,阿基米德螺旋线沿径向的位移量就可由圆周刻度转过的格数确定。这就是螺旋游标原理。

从目镜视场中可以看到毫米刻线尺、0.1毫米刻线尺和微米度盘三者重合的像。不过在视场中只能看到毫米刻线尺和微米度盘的一小部分(图 1.12)。图 1.12(a) 所表示的是测量头恰好落在工作台台面上的情况,此时读数为零。可以看出毫米刻线尺上的“0”刻线恰好与 0.1 毫米刻线尺上的“0”刻线重合。而 0.1 毫米刻线尺上方的指标箭头也恰好对准圆周刻度的“0”位。此外,0.1 毫米刻线尺上的 11 条刻线(0,1,2,⋯,10)都分别对称地位于螺旋双刻线之中。

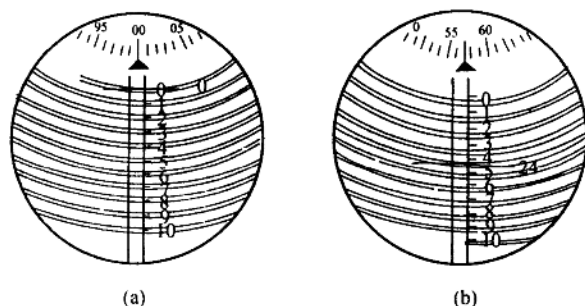


图 1.12

读数方法如下:

(1) 当抬起测量头和被测零件相接触后,装在测量轴上的毫米刻线尺就上升到某一确定位置。从目镜视场中可以看到某一毫米刻线落在 0.1 毫米刻线尺的 0 ~ 10 的范围内。在图 1.12(b) 中,24mm 刻线位于此范围内,所以应读作 24mm。

(2) 第二步要读出 1/10 毫米数。由图 1.12(b) 可看出,24mm 刻线落在 0.1 毫米刻线尺的 4 和 5 之间,所以应读作 24.4mm。

(3) 为了读出百分之一和千分之一毫米的读数,需转动图 1.11 中所示的手轮,使微米度盘回转,此时在目镜视场中可以看到双螺旋线沿测量轴方向移动。当某一双刻线移至恰好夹住了毫米刻线,并使毫米刻线在双刻线正中央时,应停止转动手轮。此时由固定分划板上的箭头所指的圆周刻度的格数读出微米读数。例如,图 1.12(b) 指示箭头指在 57 μm 处,故该例中的整个读数应为 24.457mm。

三、实验步骤

(1) 抬起测头并将被测轴置于工作台上,使其从测头下慢慢滚过并在目镜中观察,当毫米刻线处于最低位置时,停止滚动工作。

(2) 转动读数显微镜 4 的手轮(图 1.10),夹住毫米刻线后进行读数。然后将工件转过一个位置,再读取一个数值。

(3) 判断合格性。

四、思考题

- (1) 测量时为何要使工件在测头下滚动?
- (2) 绝对测量和比较测量有何区别?

实验 1.3 用内径指示表测量孔径

一、实验目的

- (1) 了解内径指示表的测量原理。
- (2) 学会内径指示表的调零及测量方法。

二、仪器简介

内径指示表是测量孔径的通用量仪,用一般的量块或标准圆环作为基准,采用相对测量法测量内径,特别适宜于测量深孔。内径指示表又分为内径百分表和内径千分表,并按其测量范围分为许多挡,可根据尺寸大小及精度要求进行选择。每个仪器都配有一套固定测头以备选用,仪器的测量范围取决于测头的范围。本实验所用内径百分表的主要技术性能指标如下:

分度值	0.01mm
示值范围	0 ~ 1mm
测量范围	15 ~ 35mm

三、测量原理

图 1.13 是内径百分表的结构示意图,内径百分表是以同轴线上的固定测头和活动测头与被测孔壁相接触进行测量的。它备有一套长短不同的固定测头,可根据被测孔径大小选择更换。

测量时,活动测头受到孔壁的压力而产生位移,该位移经杠杆系统传递给指示表,并由指示表进行读数。为了保证两测头的轴线处于被测孔的直径方向上,在活动测头的两侧有对称的定位片,定位片在弹簧的作用下,对称地压靠在被测孔径两边的孔壁上,从而达到上述要求。

四、实验步骤

1. 选择固定测头

选择与被测孔径基本尺寸相应的固定测头装到内径指示表上。

2. 调节零位(图 1.14)

(1) 按被测孔径的基本尺寸组合量块,并将该量块组与量爪一起放入量块夹中夹紧。

(2) 将内径指示表的两测头放入两量爪之间,与两量爪相接触。为了使内径指示表的两测头轴线与两量爪平面相垂直(两量爪平面间的距离就是量块组的尺寸),需拿住表杆中部,微微摆动内径指示表,找出表针的转折点,并转动表盘,使“0”刻线对准该转折点,

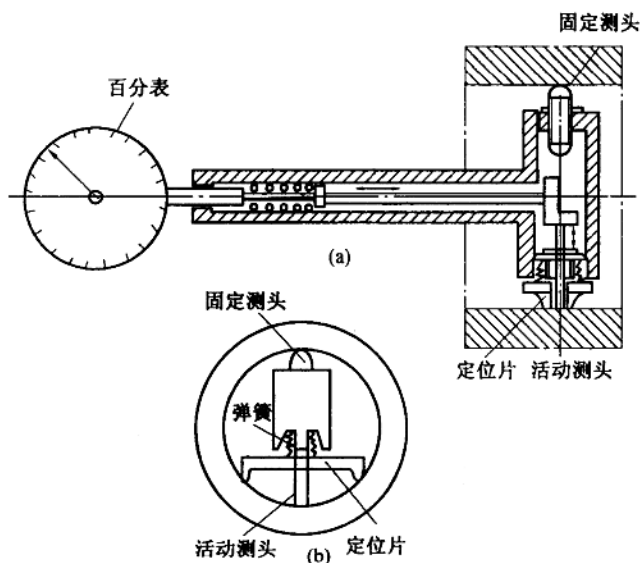


图 1.13

此时零位已调好。

3. 测量孔径(图 1.15)

将内径指示表放入被测孔中,微微摆动指示表,并按指示表的最小示值(表针转折点)读数。该数值为内径局部实际尺寸与其基本尺寸的偏差。

如图 1.16 所示,在被测孔的三个横截面、两个方向上测出 6 个实际偏差,并记入实验报告中。

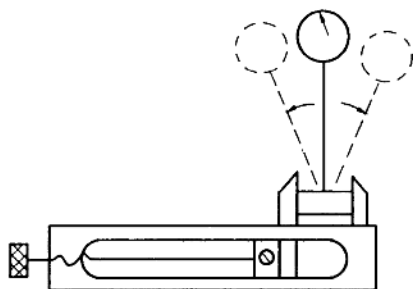


图 1.14

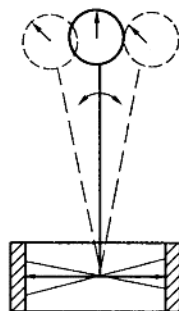


图 1.15

4. 评定合格性

若被测孔径(若要求符合包容要求)实际偏差为 E_a ,圆度误差为 f_o ,则满足以下二式者,即合格

$$ES - A \geq E_a \geq EI + A \quad (\text{式中 } A \text{ 为安全裕度})$$

$$f_o \leq t_o$$

这里,圆度误差 f_o 是由孔径实际偏差求出的。由于在被测孔的一个截面上只测了相互垂直的两个直径的实际偏差 $E_{AA'}$ 和 $E_{BB'}$,故圆度误差为: