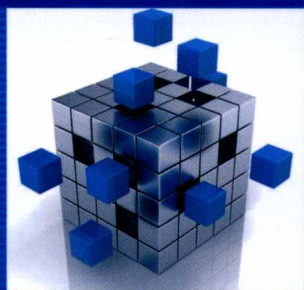


浙江省教育厅2015年度省教育技术研究规划课题

公差与检测技术实验

梁荣 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



浙江省教育厅 2015 年度省教育技术研究规划课题

宁波工程学院教材出版基金项目

公差与检测

技术实验

主 编 梁 荣

副主编 纪宏波 季英萍 胡如夫

参 编 高 华 殷 璟 王学锋 陈晓平

主 审 崔仲华



机械工业出版社

《公差与检测技术实验》是机械类专业必修的一门技术基础实验课。本书内容主要包括孔轴及长度尺寸测量,角度锥度测量,形状及位置测量,表面粗糙度测量,螺纹测量以及齿轮测量等相关的多个实验。通过该实验课程学习,使学生获得互换性原理与技术测量两方面的基本知识、基本理论与一定的动手能力,学会进一步应用公差标准。本书可作为机械类专业本科生和研究生的实验用书,同时也可以作为高职、高专教材及技术培训的参考书籍。

本书适合工科院校相关专业用作教材,也适合机械工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

公差与检测技术实验/梁荣主编. —北京:机械工业出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-111-50148-0

I. ①公… II. ①梁… III. ①公差-配合-高等学校-教材②技术测量-高等学校-教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第114318号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:黄丽梅

版式设计:赵颖喆 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:陈沛 责任印制:李洋

北京华正印刷有限公司印刷

2015年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11印张·268千字

0 001-2 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-50148-0

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前言

《公差与检测技术实验》是机械类专业必修的一门技术基础实验课。近年来,本着创新精神的要求和专业发展的需要,杭州湾汽车学院做了许多新的尝试,积累了丰富的经验。编者顺应高校专业新改革的要求,兼顾传统基础和发展创新的需要,特编写此书。本书与机械工业出版社出版的理论教材,由周兆元、李翔英主编的《互换性与测量技术基础》配套使用。

通过该实验课程学习,使学生获得互换性原理与技术测量两方面的基本知识、基本理论及对应的动手能力,学会进一步应用公差标准;掌握机械制造过程中误差的知识,为分析、确定公差和计算、处理误差奠定必要的基础;熟悉有关公差标准的基本内容,能够正确地运用公差标准,并能把公差要求正确地标在图样上;掌握根据机器和零件的功能要求确定各类公差及所需配合的能力。在实验成绩体系中,对每个学生所做的每个实验,根据其实验准备、实际操作、实验效果、实验报告及实验纪律综合评定,注重过程考核。

学生在学习《公差与检测技术实验》前,应具有一定的理论和生产实践知识,能够读懂零件图,了解机械加工的一般知识,熟悉常用机构的原理。因此,本实验课程应在《机械制图》、《金属工艺学》、《工程力学》和《机械设计基础》等课程后进行。《公差与检测技术实验》为机械类专业必修实验课,教学中要在教学方法、手段、学时等方面予以充分保证。对各个公差项目和等级的选择,本书要求能掌握其选择原则和具有类比法选择的能力。我国公差标准正处在逐渐更新和完善的过程中,因此,要求教师密切注视标准变化的状况,并及时反映到实验教学中。

为了此书的编写,编者先后到上海大众、吉利、德国博世、法国佛吉亚、美国江森、美国伟世通、中信戴卡、日本矢崎、韩国万都等多家在杭州湾新区的世界 500 强企业参观学习,到清华大学、北京理工大学、北京工业大学、北京航空航天大学、青岛理工大学、浙江大学、浙江工业大学、宁波大学、宁波大红鹰学院等高校进行了相关的调研。

本书由宁波工程学院杭州湾汽车学院梁荣主编,杭州湾汽车学院纪宏波、季英萍、胡如夫任副主编,杭州湾汽车学院殷璟、王学锋、陈晓平,海天集团有限公司高华参编。杭州湾汽车学院崔仲华副教授任主审,刘淑珍副教授也以严谨的科学态度和高度负责的精神认真审阅了本书,并一起对本书的内容编写、整体设计等提供了大量的帮助,在此表示衷心的感谢!

本书在编写过程中,参考并引用了国内外许多相关书籍和资料,在这里向相关作者和同仁表示感谢!由于编者水平有限,书中难免有很多不妥之处,望广大读者提出宝贵意见。

编者

目 录

前言	
实验 1 用立式光学计测量轴承外套圈	1
实验 2 用内径指示表测量孔径	5
实验 3 齿轮公法线长度变动及公法线平均长度偏差测量	8
实验 4 齿轮齿厚偏差测量	11
实验 5 用样块及粗糙度测量仪评定表面粗糙度	14
实验 6 影像法测量外螺纹主要参数	22
实验 7 位置误差的测量	28
实验 8 测量误差及等精度测量	35
实验 9 卧式测长仪测量内孔	39
实验 10 阿贝比长仪检定线纹尺	44
实验 11 接触式干涉仪检定量块	47
实验 12 游标万能角度尺检测角度	51
实验 13 正弦规测量外锥体	53
实验 14 光学分度头的使用	57
实验 15 测角仪测量棱镜角度及折射率	62
实验 16 平直度测量仪测量导轨直线度	67
实验 17 圆度与圆柱度测量	70
实验 18 平板的平面度测量	78
实验 19 圆度误差分析	84
实验 20 双管显微镜测量表面粗糙度	88
实验 21 干涉显微镜测量表面粗糙度	93
实验 22 螺纹综合测量——螺纹量规的使用	97
实验 23 用三针法测量螺纹中径	100
实验 24 齿距偏差与齿距累积偏差的测量	103
实验 25 齿轮齿圈径向跳动的测量	107
实验 26 用基节仪测量齿轮齿圆齿距偏差	109
实验 27 用齿轮跳动检查仪测量齿向误差	112

实验 28 齿轮综合偏差测量	115
实验 29 万能工具显微镜综合测量	121
附录	129
附录 A 量块的使用与维护	129
附录 B 常用仪器的保养与维护	132
附录 C 实验报告	134
参考文献	169

- (1) 掌握用相对测量法测量外尺寸和内尺寸的原理。
- (2) 了解立式光学比较仪的工作原理及适用范围。
- (3) 学会调节立式光学比较仪的零位及测量方法。
- (4) 了解量块的使用及维护保养方法。
- (5) 掌握微辨及微分法及判断被测件合格性的原则。

- (1) 被测件：轴类件套圈。
- (2) 量具及仪器：立式光学比较仪、量块。

光学比较仪主要用作相对测量（也可在 $\pm 0.1\text{mm}$ 范围内用作绝对测量）。测量前用量块（或标准件）调整零位，被测尺寸和量块尺寸的差数可以在仪器的刻度尺上读出，因此称为光学比较仪，简称光比较仪，而习惯上叫光学计。

光学比较仪由升降比较装置和支架两部分组成，光学比较仪可以从仪器上取下，装在其他支架座上，可作其他用途测量之用。按照光学比较仪安装在支架座上位置的不同，可分为立式光学比较仪和卧式光学比较仪。本实验主要对立式光学比较仪进行详细讲解。

立式光学比较仪是一种精度较高、结构简单的常用计量光学仪器。用来测量圆柱形、球形、线形等工件的直径或几处一处的厚度，可检定五级精度的量规或一级精度的圆柱形量规。

仪器的基本参数如下：

仪器分度值：0.001mm

指示值范围： $\pm 0.1\text{mm}$

仪器测量范围：0~150mm

测量公式： $\Delta(0.5 + \frac{1}{100})\text{mm}$ （被测尺寸 L，单位为 mm）



实验 1



用立式光学计测量轴承外套圈

一、实验目的

- (1) 掌握用相对测量法测量外尺寸和内尺寸的原理。
- (2) 了解立式光学比较仪的构造原理及应用场合。
- (3) 学会调节立式光学比较仪的零位及测量方法。
- (4) 了解量块的使用及维护方法。
- (5) 掌握数据处理方法及判断被测件合格性的原则。

二、实验设备

- (1) 被测件：轴承外套圈。
- (2) 量具及仪器：立式光学比较仪、量块。

三、仪器说明

光学比较仪主要用作相对法测量（也可在 $\pm 0.1\text{mm}$ 范围内用作绝对测量）。测量前用量块（或标准件）对准零位，被测尺寸和量块尺寸的差数可以在仪器的刻度尺上读出，因此称为光学比较仪，简称光较仪，通常也叫光学计。

光学比较仪由光学比较仪管和支架座组成，光学比较仪管可以从仪器上取下，装在其他支架座上，可作其他精密测量之用。按照光学比较仪管安放在支架座上位置的不同，可分为立式光学比较仪和卧式光学比较仪。本实验主要对立式光学比较仪进行详细讲解。

立式光学比较仪是一种精度较高、结构简单的常用计量光学仪器。用来测量圆柱形、球形、线形等工件的直径或板形工件的厚度，可检定五级精度的量块或一级精度的圆柱形量规。

仪器的基本参数如下：

仪器分度值： 0.001mm

标尺示值范围： $\pm 0.1\text{mm}$

仪器测量范围： $0 \sim 180\text{mm}$

测量误差： $\pm \left(0.5 + \frac{L}{100} \right) \mu\text{m}$ （被测尺寸 L ，单位为 mm ）

图 1-1 为立式光学比较仪的外形结构。

立式光学比较仪是利用光学杠杆的放大原理（通过光线反射产生放大作用）进行测量的仪器，其光学系统如图 1-2 所示。

如图 1-2 所示，照明光经反射镜 1 及折光棱镜 2 照亮了位于分划板 3 左半部（从目镜中看）的分度尺 4（也称标尺，共 200 格）。光线从分度尺 4 继续出发，经直角棱镜 5 及物镜 6 后成为平行光束（因为分划板 3 位于物镜的焦平面上），此光束被平面反射镜 7 反射回来，再经物镜 6、直角棱镜 5，在分划板 3 的右半部成标尺像，即分度尺 4 成像在成像面 9 上。该分度尺像可通过目镜 8 进行观察。

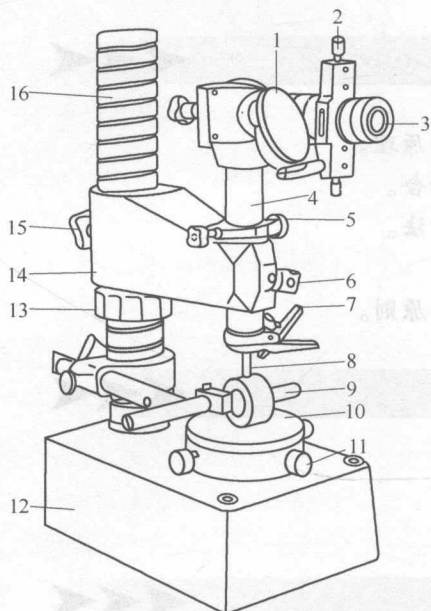


图 1-1 立式光学比较仪的外形结构

- 1—反射镜 2—偏差指示界限调节手轮 3—目镜
4—光管 5—光管细调手柄 6—光管紧固螺钉
7—测头提升器 8—测杆及测头 9—被测工作
10—工作台 11—工作台调整螺钉 12—底座
13—升降螺母 14—横臂 15—横臂紧固螺钉
16—立柱

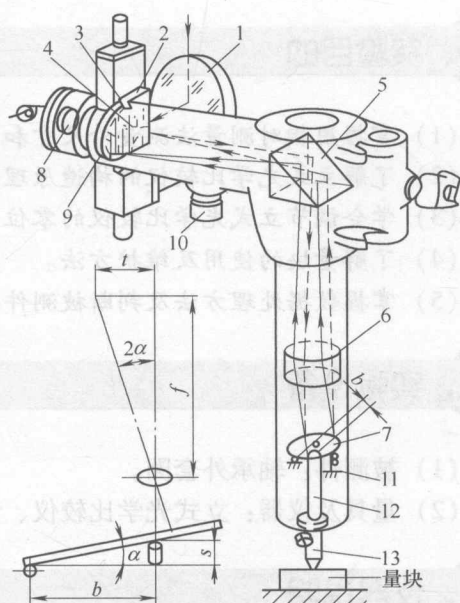


图 1-2 光学比较仪的光学系统

- 1—反射镜 2—折光棱镜 3—分划板 4—分度尺
5—直角棱镜 6—物镜 7—平面反射镜 8—目镜
9—成像面 10—零位微调螺钉 11—弹簧
12—测杆 13—测头

平面反射镜 7 由三个直径相同的球做支承，其中两个球为转动支承，另一个钢球固定在测杆 12 的顶端，反射镜 7 的下面用两个小弹簧钩住，保证反射镜和测杆顶端钢球的接触，同时使测杆产生测量力。当平面反射镜 7 处于水平位置时，分划板 3 左半部分的分度尺与右半部分的分度尺像位置是对称的，如图 1-3a 所示。分划板右半部分中间有一条固定分度线，称为指示线。

测量时首先要用量块调整光学比较仪的零点，即使分度尺像与分划板上的指示线重合。测量时，当测杆 12 因工件尺寸变化而上下移动一个距离 s 时，如图 1-2 所示，反射镜面随之绕固定支点转动一个角度 α ，则反射光相对入射光偏转了 2α 角度，从而使分度尺像产生位移量 t ， t 代表了被测尺寸的变动量，其大小可直接从分度尺零点偏离指示线的格数读出，

如图 1-3b 所示。

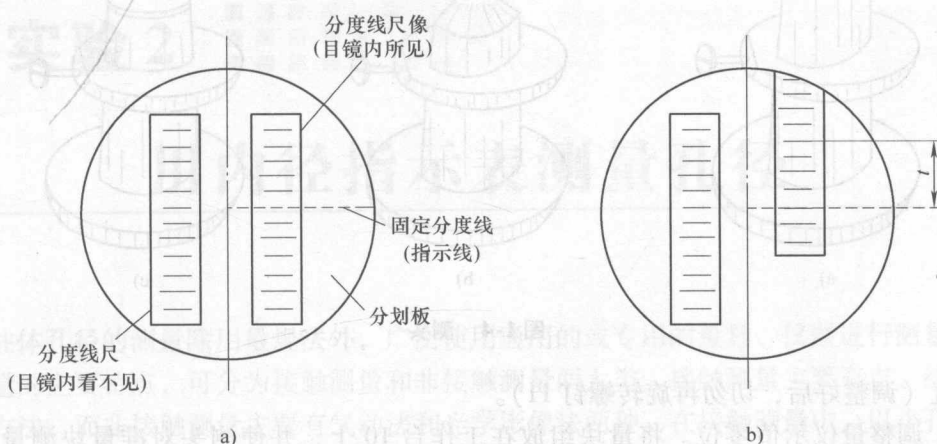


图 1-3 刻线尺成像示意

由上述可知，直角光管的放大倍数为

$$K = \frac{t}{s} = \frac{f \tan 2\alpha}{b \tan \alpha} \approx \frac{2f}{b}$$

式中 f ——物镜距分度尺的距离，即物镜焦距 ($f=200\text{mm}$)；

b ——测杆中心至反射镜固定支点的近距离 ($b=5\text{mm}$)。

$$\text{故 } K = \frac{2 \times 200}{5} = 80。$$

分度尺的刻线间距 $c=0.08\text{mm}$ ，则分度尺的分度值为

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

刻度尺上有 200 格，故其示值范围为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

由于目镜放大 12 倍，故在目镜中人眼看到的分度尺像的视间距为 $0.08\text{mm} \times 12 = 0.96\text{mm}$ 。

四、测头的选择

选择测头的原则是被测工件与测头的接触面必须最小，因此在测量圆柱形零件时应选择使用刀刃形测头，如图 1-4a 所示；测量平面零件时，选择使用球面测头，如图 1-4b 所示；测量球形零件时，选择使用平面测头，如图 1-4c 所示。

五、测量步骤及要求

- (1) 根据被测表面的几何形状，选择测头并将它安装在测杆上。
- (2) 根据被测轴承外套圈工作部分的基本尺寸或极限尺寸选取几块量块，一般不超过 4 块，并将它们研合成量块组。
- (3) 参看图 1-1，接通电源，旋转螺钉 11，调整工作台 10 的位置，使它与测杆 8 运动

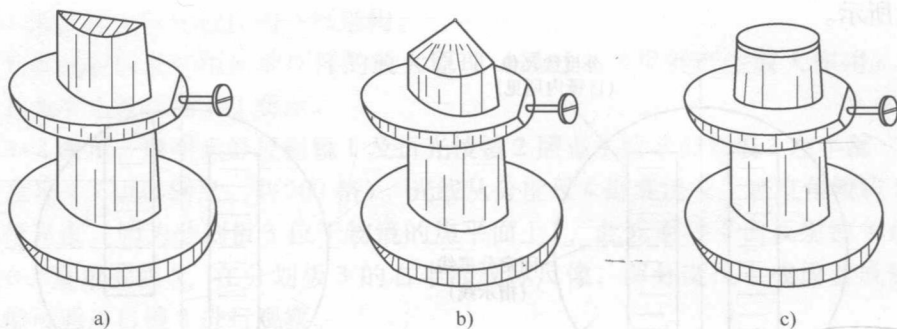


图 1-4 测头

方向垂直（调整好后，切勿再旋转螺钉 11）。

(4) 调整量仪示值零位。将量块组放在工作台 10 上，并使测头对准量块测量面的中央，按下列三个步骤进行调整：

1) 粗调整：松开螺钉 15，转动螺母 13，使横臂 14 缓缓下降，直至测头与量块测量面接触，有从目镜 3 的视场中看到刻度尺影像为止，再旋紧螺钉 15。

2) 细调整：松开螺钉 6，转动手轮 5，使刻度尺零刻线的影像接近固定指示线，然后旋转螺钉 6。细调整后的目镜视场如图 1-5a 所示。

3) 微调整：轻轻按动测头提升器 7，使测头起落数次，零刻线影像的位置稳定后，转动零位微调螺钉 10（见图 1-2），使零刻线影像与固定指示线重合。微调整后的目镜视场如图 1-5b 所示。

(5) 按动测头提升器 7，取下量块组，换上被测轴承外套圈。在轴承外套圈工作表面上均布的三个横截面 I、II、III 上，分别对相隔 90° 的径向位置 AA'、BB' 进行测量（见图 1-6）。

(6) 将测量结果记入实验报告，根据轴承外套圈公差要求，做出被测件合格性的结论。

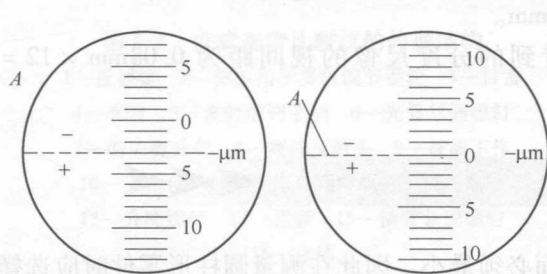


图 1-5 目镜视场

a) 细调整后 b) 微调整后

A—指示线

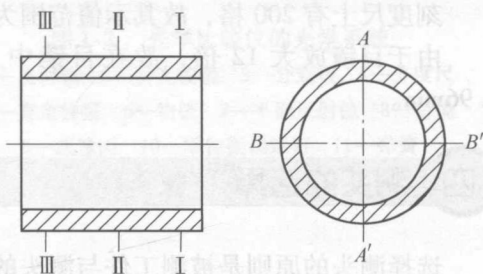


图 1-6 轴承外套圈的被测部位

六、思考题

- (1) 能否用千分尺、游标卡尺测量塞规，为什么？
- (2) 根据什么原则来选择测头？
- (3) 立式光学比较仪测量塞规属于什么测量方法？



实验 2



用内径指示表测量孔径

圆柱体孔径的测量除用量规法外,广泛使用通用的或专用的量具、仪器进行测量。根据孔径测量的主要特点,可分为接触测量和非接触测量两大类。接触测量主要有点、线、面三种测量方法;而非接触测量主要有气动法和光学影像法两种。在接触测量中,以小孔测量最为困难和复杂。在内径指示表测量孔径和卧式测长仪测量内孔两个实验当中,分别安排了实际工作中最为常用的测量方法,即内径指示表测量法、双测钩测量法和电眼测量法对小孔进行测量练习。主要对深孔或公差等级较高的孔作比较测量。

一、实验目的

- (1) 掌握内径比较测量的原理。
- (2) 了解内径指示表的结构,学会用内径指示表测量内径的方法。
- (3) 了解内缩原则并掌握孔的公差带分布。
- (4) 了解安全裕度知识及上下检验极限的确定。
- (5) 加强量块附件的使用练习。

二、实验设备

内径指示表、量块及量块附件、被测件。

三、仪器说明

内径指示表由百分表(千分表)和杠杆系统组成。它是采用相对比较法测量孔径的常用量具,可测量6~1000mm的孔径,特别适合测量深孔。

内径指示表的测量范围有:6~10mm,10~18mm,18~35mm,35~50mm,50~100mm,100~160mm等规格。百分表的分度值有0.01mm及0.001mm两种。示值范围有3mm、5mm和10mm三种。

内径指示表结构如图2-1所示。其固定测头1和活动测头2与孔壁接触,活动测头被压缩,则推动等臂直角杠杆3绕固定转轴转动,使推杆4向上压缩弹簧5,并推转百分表9的指针顺时针转动,指针的转动量即为活动测头移动的距离。弹簧5的反力使活动测头向外,对孔壁产生测力。

在活动测头的两侧有弦板6,它在两弹簧5和7的作用下,对称地压靠在孔壁上,以保证测杆的中心线通过被测圆柱孔的轴线。测量时应按图2-2中所示左右摆动,找准正测位,同时注意表盘上指示针的摆动,读取其最小示值(转折点)为测量结果。

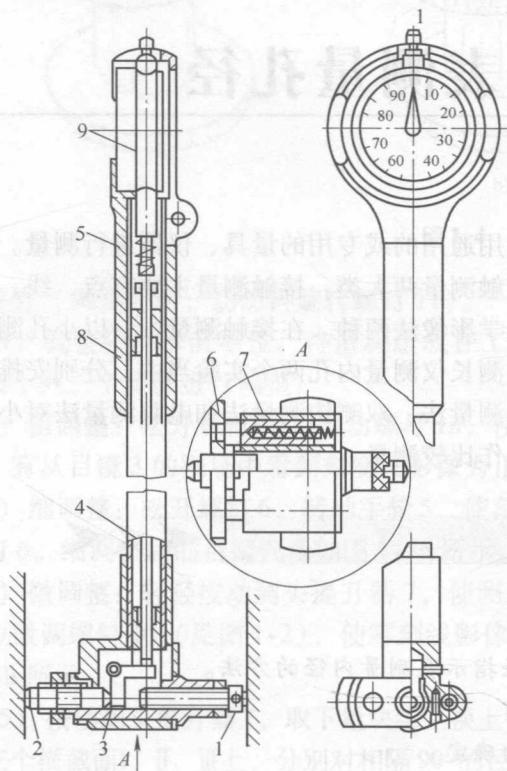


图 2-1 内径指示表结构

1—固定测头 2—活动测头 3—等臂直角杠杆 4—推杆
5、7—弹簧 6—弦板 8—隔热手柄 9—百分表

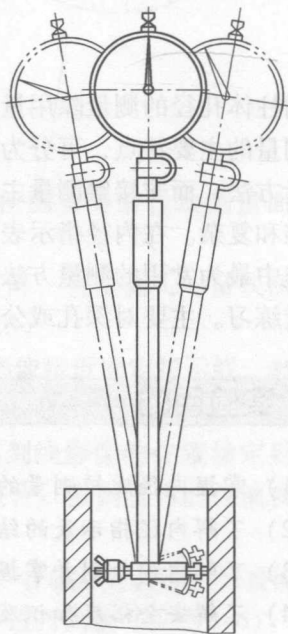


图 2-2 内径指示表测量
孔径找正测位

四、测量步骤及要求

(1) 根据被测孔径的公称尺寸 L , 选择量块组, 如图 2-3a 所示将量块组 3 和专用量爪 5 一起放入量块夹 4 内夹紧, 构成标准内尺寸卡规。

(2) 根据被测孔径尺寸, 选择固定测头, 装在内径指示表上。

(3) 用标准内尺寸卡规调整指示表零位。手持仪器隔热手柄, 将仪器测头压缩后放入标准内尺寸卡规, 使测头与两端的量爪相接触, 轻轻摆动内径指示表。当指针顺时针转动到转折点(指读数最小处)时, 即表示仪器所处位置为标准尺寸位置, 此时转动指示表的滚花环, 使刻度盘的零刻线转到指针所指位置(转折点)。再轻轻摆动内径指示表, 重复上述过程, 直至指针准确地地在刻度盘零位处转折为止, 即调整好仪器零位。

(4) 测量孔径。将内径指示表放入被测孔, 如图 2-3b 所示, 轻轻摆动仪器, 找其转折位置, 记下指示表读数(注意“+”、“-”), 即为该处的孔径实际尺寸与标准尺寸的偏差。相同的, 依次测量孔内三个横截面, 两个互相垂直方向的孔径。将测量结果记入实验

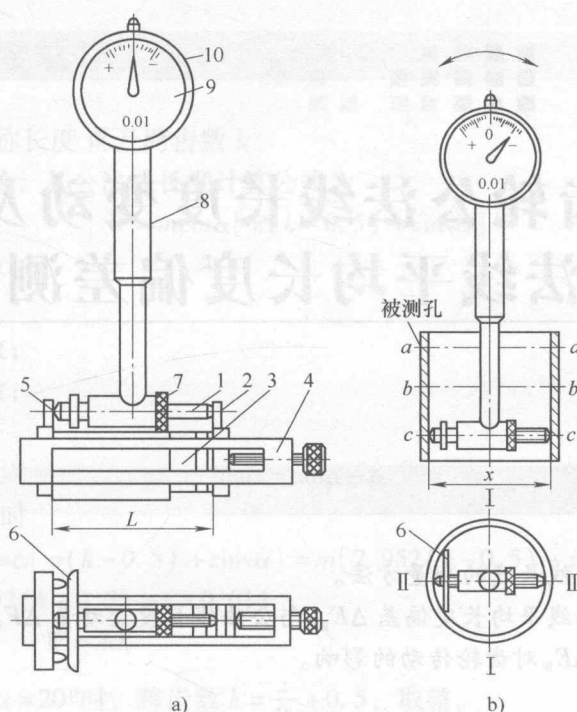


图 2-3 内径指示表测量孔径

1—固定测头 2—活动测头 3—量块组 4—量块夹 5—专用量爪
6—弦板 7—固定测头锁紧螺母 8—隔热手柄 9—指示表 10—滚花环

报告。

(5) 测量完毕后，重复步骤 (3)，看指示表指针是否回“零位”，若不回“零位”，误差超过一定限度时应重测。

(6) 处理数据，判断被测工件的合格性。

五、思考题

- (1) 从读数值和测量力来看，内径指示表测量工件属于什么测量方法？
- (2) 使用内径指示表测量时为什么必须要摆动指示表？测量时如何读数？

实验 3

齿轮公法线长度变动及 公法线平均长度偏差测量

一、实验目的

- (1) 熟悉齿轮公法线长度的测量方法。
- (2) 加深理解公法线平均长度偏差 ΔE_{wm} 与公法线长度变动量 ΔF_w 的定义及测量目的。
- (3) 了解 ΔF_w 及 ΔE_w 对齿轮传动的影响。

二、实验内容

用公法线指示千分尺测量齿轮公法线平均长度偏差和公法线长度变动。

三、实验设备

公法线指示千分尺、被测齿轮。

四、原理知识

渐开线齿轮的公法线长度是指与两个异侧齿面相切的两平行平面间的距离 W (见图 3-1)。两切点 a 、 b 的连线是两齿面共同的法线, 又是齿轮基圆的切线。因此公法线长度 W 等于 $(k-1)$ 个基节 p_b 加一个基圆齿厚 s_b , k 是公法线长度所包含的齿数。测量齿轮公法线实际长度需要确定两个项目: 在齿轮一周范围内, 实际公法线长度的最大值与最小值之差, 称为公法线长度 ΔF_w ; 公法线长度的平均值与公称值之差, 称为公法线平均长度偏差 ΔE_{wm} , 它与齿厚偏差有关, 因此可以用来评定齿侧间隙。而公法线长度变动 ΔF_w 能部分地表明齿轮传动时啮合线长度的变动, 故可用来评定齿轮的运动精度。

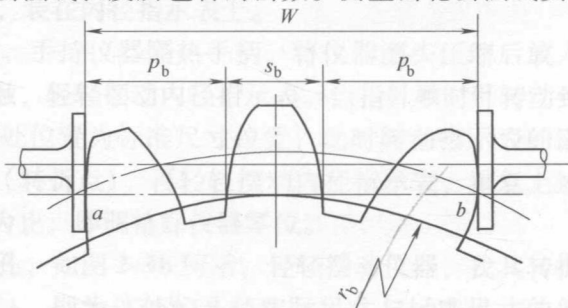


图 3-1 齿轮的公法线长度

五、测量步骤及要求

1. 确定公法线公称长度 W 及跨齿数 k

对于直齿圆柱齿轮，其公法线长度计算公式为

$$W = m \cos \alpha [\pi (k - 0.5) + z \operatorname{inv} \alpha]$$

式中 m ——齿轮模数；

α ——压力角；

x ——变位系数；

z ——齿轮齿数；

k ——跨齿数。

$$\operatorname{inv} \alpha = \tan \alpha - \alpha$$

当 $\alpha = 20^\circ$, $\xi = 0$ 时

$$W = m \cos \alpha [\pi (k - 0.5) + z \operatorname{inv} \alpha] = m [2.952 (k - 0.5) + z \times 0.014]$$

令 $K = 2.952 (k - 0.5) + z \times 0.014$

对非修正齿数 $W = mK$

通常情况下，当 $\alpha = 20^\circ$ 时，跨齿数 $k = \frac{z}{9} + 0.5$ ，取整。

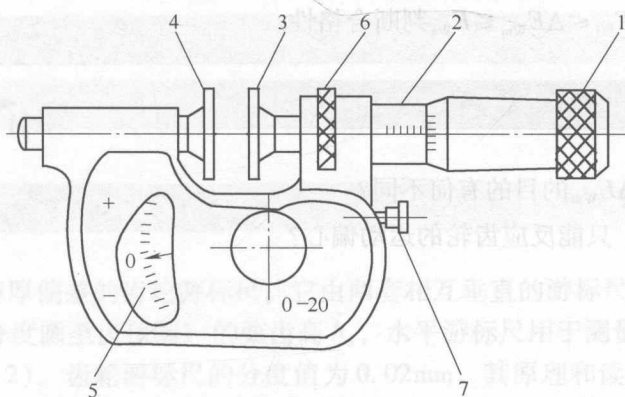


图 3-2 公法线指示千分尺

1—手柄 2—千分尺部分 3—固定测头 4—活动测头
5—指示表 6—锁紧螺母 7—按钮

2. 调整仪器

图 3-2 所示为公法线指示千分尺，测量前应用脱脂棉蘸汽油清洗公法线指示千分尺的测头的测量面，旋进手柄 1，使修正值为零，如不为零可用扳手调整手柄 1 使修正值为零，即指示表读数和千分尺的读数都为零。把千分尺调整到公法线的公称尺寸附近，插入齿槽，使测头分别与轮齿在齿高的 1/2 处接触，测量时即不能测齿根也不能测齿顶，应使千分尺水平面略微下坠，再从千分尺和指示表上读出被测实际公法线长度 W 。

3. 测量公法线平均长度偏差 ΔE_{Wm}

使公法线指示千分尺的两测头与被测齿轮的齿廓在分度圆处相接触，沿齿圈等距测量 5

个以上的位置（最好测全齿圈值）。测量时应轻轻左右摇动公法线指示千分尺，按指针移动的转折点（最小值）读数。此值即为公法线实际长度，公法线平均长度偏差 $\Delta E_{\text{wm}} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z W_i - W_{\text{公称}}$ 。即 $\Delta E_{\text{wm}} = W_{\text{平均}} - W_{\text{公称}}$ ，其值为负值，应在平均长度的上极限偏差 E_{ws} 和下极限偏差 E_{wi} 之间。

4. 测量公法线长度变动量 ΔF_{w}

利用已调好的公法线指示千分尺，依次沿整个齿圈进行测量，在所有读数中，最大值和最小值之差即为公法线长度变动量 ΔF_{w} ， $\Delta F_{\text{w}} = W_{\text{max}} - W_{\text{min}}$ ，其值应小于公法线长度变动公差 F_{w} 。

5. 计算公法线平均长度极限偏差

根据齿轮的技术要求，查出公法线变动公差 F_{w} 、齿圈径向跳动公差 F_{r} 、齿厚上极限偏差 E_{ss} 和齿厚下极限偏差 E_{si} 。按下式计算公法线平均长度的上极限偏差 E_{ws} 和下极限偏差 E_{wi} ：

$$E_{\text{ws}} = E_{\text{ss}} \cos \alpha - 0.72 F_{\text{r}} \sin \alpha$$

$$E_{\text{wi}} = E_{\text{ss}} \cos \alpha + 0.72 F_{\text{r}} \sin \alpha$$

当 $\alpha = 20^\circ$ 时，有

$$E_{\text{ws}} = 0.94 E_{\text{ss}} - 0.25 F_{\text{r}}$$

$$E_{\text{wi}} = 0.94 E_{\text{ss}} + 0.25 F_{\text{r}}$$

按 $\Delta F_{\text{w}} \leq F_{\text{w}}$ 和 $F_{\text{wi}} \leq \Delta E_{\text{wm}} \leq E_{\text{ws}}$ 判断合格性。

六、思考题

- (1) 求 ΔF_{w} 和 ΔE_{wm} 的目的有何不同？
- (2) 为什么 ΔF_{w} 只能反应齿轮的运动偏心？



实验 4



齿轮齿厚偏差测量

一、实验目的

- (1) 掌握测量齿轮齿厚的方法。
- (2) 加深理解齿轮齿厚偏差的定义。

二、实验内容

用齿轮游标尺测量齿轮的齿厚偏差。

三、实验设备

齿轮游标卡尺、齿轮

四、仪器说明

图 4-1 为测量齿厚偏差的齿轮游标尺。它由两套相互垂直的游标尺组成。垂直游标尺用于控制测量部位（分度圆至齿顶圆）的弦齿高 $\bar{h}_a$ ，水平游标尺用于测量所测部位（分度圆）的弦齿厚 $\bar{s}$ （见图 4-2）。齿轮游标尺的分度值为 0.02mm，其原理和读数方法与普通游标卡尺相同。

齿厚偏差 ΔE_s 是指在分度圆柱面上，法向齿厚的实际值与公称值之差。

用齿轮游标尺测量齿厚偏差，是以齿顶圆为基础的。当齿顶圆直径为公称值（见图 4-2）时，直齿圆柱齿轮分度圆处的弦齿高 $\bar{h}_a$ 和弦齿厚 $\bar{s}$ 分别为

$$\bar{h}_a = h_a + x = m + \frac{zm}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \quad (4-1)$$

$$\bar{s} = zm \sin \frac{90^\circ}{z} \quad (4-2)$$

式中 m ——模数（mm）；

z ——齿数；

h_a ——齿顶高。

当齿轮为变位齿轮且齿顶圆直径有误差时，分度圆处的弦齿高 $\bar{h}_a$ 和弦齿厚 $\bar{s}$ 应按下式