

项目五 平面类零件的测量

项目内容引入

经过机械加工的零件表面,有平面、圆柱面、圆锥面、球面或空间曲面。针对不同的表面形状,国家制定了不同的测量指标。对平面,有平面度和给定平面内的直线度;对圆柱面,有圆柱度、端面上的圆度及轴线方向上的素线直线度;对圆锥面,有端面上的圆度及轴线方向上的素线直线度;对球面,有圆度;对空间曲面,有线轮廓度和面轮廓度。在各种测量中,平面是测量的基准。

本项目主要介绍平面类零件的技术工艺要求基础知识,通过通用量具和量仪的应用来学习平面类零件尺寸和形位公差的一般测量方法、步骤及与测量相关的基础知识内容。本项目根据平面类零件的结构特点和技术要求,分别采用不同的量具和量仪,通过两个测量任务实施。

项目基础知识

一、平面件的基础知识

1. 功能与特点

平面是基础类零件(如箱体、工作台、床身、底座及支架等)的主要表面,也是回转体零件的重要表面之一(如端面、台阶面等)。根据平面所起的作用不同,可以将其分为非结合面、结合面、导向面、测量工具的工作平面等。

2. 技术要求

① 平面的形状精度:主要是指平面度和给定平面内的直线度,有的平面还有母线直线度的精度要求。

② 平面的位置精度:平面与其他表面之间常有位置关系的要求,主要是垂直度和平行度。

二、平面件的测量方法及测量器具的选用

1. 直线度误差的测量

为了控制机床、仪器的导轨、底座、工作台面等平面的直线度误差,常在给定平面(垂直平面或水平平面)内进行检测,常用的测量器具有框式水平仪、合像水平仪、电子水平仪和自准直仪等测定微小角度变化的精密量仪。

2. 平面度误差的测量

常见的平面度测量方法有用千分表测量平面度、用光学平晶测量平面度、用水平仪测量

平面度,以及用自准直仪和反射镜测量平面度误差。

项目测量任务

任务一 使用水平仪测量平面的直线度误差

学习目标

知识目标

- 熟悉水平仪的结构及工作原理,了解其适用范围,掌握其正确使用方法与测量步骤;
- 理解平面的形状公差(如直线度)的含义;
- 掌握直线度误差的检测及数据处理方法。

技能目标

- 学会正确、规范地使用框式水平仪、合像水平仪进行直线度误差的测量;
- 能对测量后的数值进行数据处理,并判定被测件是否合格。

器材准备

被测零件为床身导轨,如图 5-1 所示。



图 5-1 床身导轨

测量器具如图 5-2 和图 5-3 所示。



图 5-2 框式水平仪

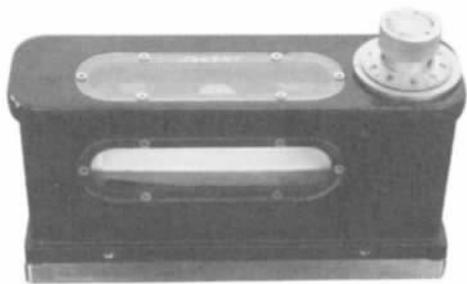


图 5-3 光学合像水平仪



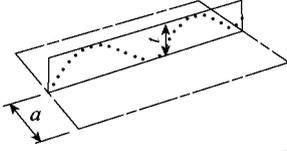
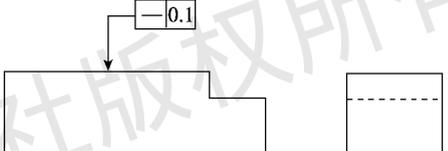
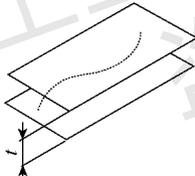
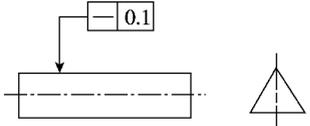
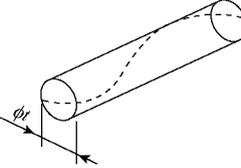
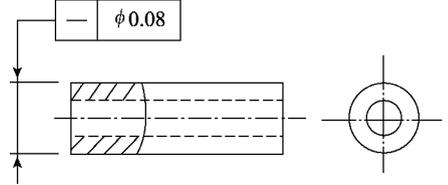
一、直线度公差知识

直线度是指零件上被测直线的不直程度。直线度公差是指实际直线对理想直线所允许的变动量,用于控制平面或空间直线的形状误差,其被测要素是直线要素。

直线度公差带的形状随被测实际直线所在位置和测量方向的不同而不同。根据零件的功能要求,可分别给出在给定平面内、给定方向上和任意方向上的直线度要求。直线度公差带的定义、标注示例及解释见表 5-1。

表 5-1 直线度公差带的定义、标注示例及解释

(单位:mm)

公差项目	公差带的定义	标注示例及解释
直线度公差	<p>公差带为在给定平面内和给定方向上,间距等于公差值 t 的两平行直线所限定的区域</p>  <p>a 为任一距离</p>	<p>在任一平行于图示投影面的平面内,上表面的提取(实际)线应限定在间距等于 0.1 的两平行直线之间</p> 
	<p>公差带为间距等于公差值 t 的两平行平面所限定的区域</p> 	<p>提取(实际)的棱边应限定在间距等于 0.1 的两平行平面之间</p> 
	<p>由于公差值前加注了符号 ϕ,所以公差带为直径等于公差值 ϕt 的圆柱面所限定的区域</p> 	<p>外圆柱面的提取(实际)中心线应限定在直径等于 $\phi 0.08$ 的圆柱面内</p> 

二、水平仪

水平仪是利用液面自然水平原理制造的一种测角量仪。水平仪主要用于测量微小角度,检验各种机床及其他类型设备导轨的直线度、平面度和设备安装的水平性、垂直性。常用的水平仪有框式水平仪和光学合像水平仪。

1. 框式水平仪

(1) 框式水平仪的结构

框式水平仪的结构如图 5-4 所示。它由读数用的主水准器、定位用的横水准器(副水准泡)、做测量基面的框式金属主体、盖板和调零装置组成。主水准器的两端套以塑料管,并用胶液黏结于金属座上,主水准器气泡的位置由偏心调节器进行调整。

框式水平仪有两个测量面,一个是安装水准器的下测量面,一个是与下测量面垂直的侧测量面。因此,框式水平仪不仅能测量工件的水平表面,还可用它的侧测量面与工件的被测表面相靠,检验其对水平面的垂直度。框式水平仪的框架规格有 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$, $200\text{mm} \times 200\text{mm}$, $250\text{mm} \times 250\text{mm}$, $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 等几种,其中 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 最为常用。

框式水平仪的主要工作部分是一个封闭的弧形玻璃管,固定在水平仪体内。玻璃管内装有对管壁附着力较小的乙醚之类的液体,并在管内留有一定长度的气泡。玻璃管内壁磨成一定的曲率半径,由于地心引力的作用,玻璃管内的液面总要保持水平,而气泡总是处在最高位置。因此,水平仪倾斜一个角度 α ,气泡便相对玻璃管移动相应的距离。移动的格数与角度 α 成正比。玻璃管上刻有间距为 2mm 的刻线,根据气泡移动方向和移过的格数,可以测量出被测工件的倾斜方向和角度。框式水平仪分度值为 $0.02\text{mm}/\text{m}$,它表示水平仪每变化一个刻度,在 1m 长度内高度变化了 0.02mm 。一般水平仪的工作长度为 200mm 。

水平仪一般放在桥板上进行检验,桥板长度一般不会是 1m ,假设桥板长度等于 $L\text{mm}$,水平仪刻度为 $0.02\text{mm}/\text{m}$,则气泡移动一格时,被侧面在该长度上两端的高度差 $h = L(\text{mm}) \times (0.02\text{mm}/1000\text{mm})$ 。

对于水平仪读数的正负,习惯上规定气泡移动方向和水平仪移动方向相同时为正值,相反时为负值。

(2) 框式水平仪的使用方法

① 将被测件固定定位。

② 根据水平仪工作长度在被测件整个长度上均匀布点,将水平仪放在桥板上,按标记将水平仪首尾相接进行移动,逐段进行测量。

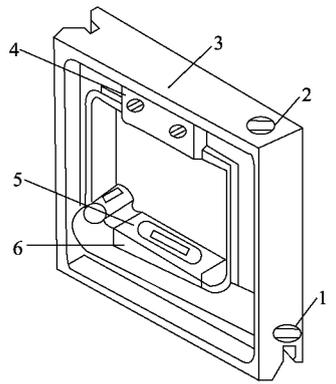
③ 测量时,后一点相对于前一点的读数差就会引起气泡的相应位移,由水准器刻度观其读数(后一点相对于前一点位置升高为正,反之为负)。正方向测量完后,用相同的方法反方向再测量一次,将读数填入实验报告中。

④ 将两次测量结果的平均值累加,用累积值作图,按最小区域包容法,求出直线度误差值 f 。

⑤ 将计算结果与公差值比较,做出合格性判定。

2. 合像水平仪

(1) 合像水平仪的结构

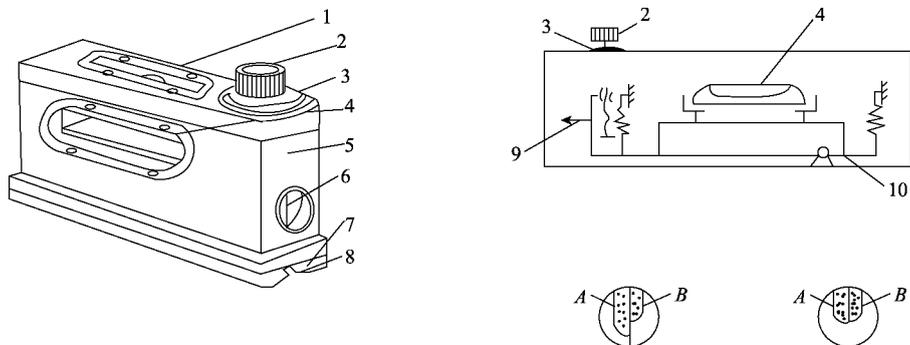


1—调零装置;2—副水准泡;3—主体;
4—绝热手柄;5—主水准泡;6—盖板

图 5-4 框式水平仪结构示意图

合像水平仪因具有测量准确、效率高、价格便宜、携带方便等特点,在直线度误差的检测工作中得到了广泛采用。

合像水平仪的结构如图 5-5 所示,它主要由微动螺杆、螺母、底盘水准仪、棱镜、放大镜、杠杆,以及具有平面和 V 形工作面的底座等构成。



1—观察窗; 2—微动旋钮; 3—微分盘; 4—主水准器; 5—壳体;
6—毫米/米刻度; 7—底工作面; 8—V 形工作面底座; 9—指针; 10—杠杆

图 5-5 合像水平仪结构示意图

合像水平仪利用棱镜将水准器中的气泡像复合放大,以提高读数时的对准精度,利用杠杆和微动螺杆传动机构来提高读数的精度和灵敏度。合像水平仪置于被测工件表面上,若被测两点相对于自然水平线不等高,则将引起两端的气泡像不重合,转动度盘使气泡像重合,此时合像水平仪的读数即表示两点相对于自然水平面的高度差 h 。合像水平仪分度值 i 为 0.01mm/m ,它表示水平仪每变化一个刻度,在 1m 长度内高度变化了 0.02mm 。高度差 h 与刻度盘读数 a 和桥板跨距 L 之间的关系如下:

$$h = i \cdot L \cdot a \quad (5-1)$$

(2) 合像水平仪的使用方法

① 量出零件被测表面总长,将总长分为若干等分段(一般为 $6\sim 12$ 段),确定每一段的长度(跨距) L ,并按 L 调整可调桥板两圆柱的中心距。

② 将合像水平仪放于桥板上,然后将桥板从首点依次放在各等分点位置上进行测量。到终点后,自终点再进行一次回测,回测时桥板不能调头,同一测点两次读数的平均值为该点的测量数据。如某测点两次读数相差较大,说明测量情况不正常,应查明原因并加以消除后重测。

测量时要注意每次移动桥板都要将后支点放在原来的前支点处(桥板首尾衔接),测量过程中不允许改变水平仪与桥板之间的相对位置。

③ 从合像水平仪读数时,先从合像水平仪的侧面视窗处读得百位数,再从其上端读数鼓轮处读得十位数和个位数。

④ 把测得的值依次填入实验报告中,并用计算法按最小条件进行数据处理,求出被测表面的直线度误差。

⑤ 将计算结果与公差值进行比较,做出合格性判定。

注意:

- 使用前,工作面要清洗干净。
- 湿度变化对仪器中的水准器位置影响很大,必须隔离热源。
- 测量时旋转度盘要平稳,等两气泡完全符合后方可读数。
- 测量过程中不允许改变水平仪与桥板之间的相对位置。

三、直线度误差测量数据处理及评定方法

① 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。

② 根据各测点的相对差,在坐标纸上描点。作图时不要漏掉首点(零点),且后一点的坐标位置是在前一点坐标位置的基础上累加的。用直线依次连接各点,得出误差折线。

③ 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(或最低)点相切,在两切点之间有一个最低(或最高)点与另一条平行线相切。这两条平行直线之间的区域就是最小包容区域。两平行线在纵坐标上的截距即为被测表面的直线度误差值 $\Delta\alpha$ (角度格数)。

④ 误差值按下式折算成线性值 $\Delta f(\mu\text{m})$,并按国家标准 GB1184—1996 确定被测表面直线度的公差等级。

$$\Delta f = i \cdot L \cdot \Delta\alpha \quad (5-2)$$

式中, i ——合像水平仪的分度值;

L ——桥板跨距;

$\Delta\alpha$ ——被测件的直线度误差值(格数)。

计算方法示例如下。

例:用合像水平仪测量一平台平面的直线度误差,仪器的分度值为 0.01mm/m ,选用的桥板节距 $L=200\text{mm}$,测量直线度的记录数据见表 5-2。若被测面的直线度公差为 5 级,试用作图法评定该平面的直线度误差是否合格。

表 5-2 记录表

		测 量 数 据					
测点序号 i		0	1	2	3	4	5
仪器 读数 a	顺测	—	273	278	285	283	270
	回测	—	275	280	287	285	272
	平均	—	274	279	286	284	271
相对差 $\Delta\alpha$		0	0	+5	+12	+10	-3
坐标值 y_i		0	0	+5	+7	+17	+14

解:数据处理的步骤如下。

① 先将各点的顺测值与回测值取平均。

② 简化测量数据。 a 值可取任意数值,但要有利于相对差数字的简化,本例取 $a = 274$ 格。

③ 将相对差中的各点读数格数在直角坐标系中逐一累加描点,如图 5-6 所示。

④ 求最小包容区域。先过 0 点和第 4 点作一直线,再过第 3 点作一平行线,则两条平

行线在纵坐标上的截距 7 格,即为该被测件的直线度误差值(格数)。

⑤ 求直线度误差的线性值:

$$\Delta f = 0.01 \times 200 \times 7 = 14(\mu\text{m})$$

⑥ 按 GB1184—1996,直线度 5 级公差值为 $25\mu\text{m}$ 。测量出的误差值小于公差值,所以被测零件直线度误差合格。

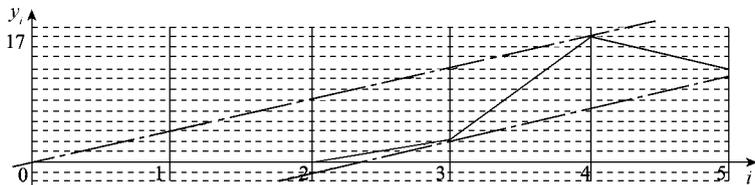


图 5-6 被测件直线度误差折线图



测量训练

一、测量训练内容、步骤和要求

① 将待测的车床导轨清理干净,擦除导轨面的铁屑和油污。将框式水平仪取出,校正并清理水平仪底部。

② 将框式水平仪分别放置在机床导轨的中间和两端位置上,并将导轨进行调平。根据框式水平仪或垫铁长度对导轨进行分段,并做好标记。

③ 从导轨的左端向右端依次在分段点位置上进行测量,读出每段框式水平仪的读数,并记录(气泡右移为正值,左移为负值)下来。到终点后,自终点再进行一次回测,同一测点两次读数的平均值为该点的测量数据。

④ 确定最小区域,用算法按最小条件进行数据处理,评定被测表面的直线度误差。

⑤ 填写测量报告单(见表 5-3)。

表 5-3 测量报告单

测量器具	框式水平仪:分度值_____,测量范围_____					
被测件	机床导轨,直线度要求:0.02/200					
测 量 数 据						
测点序号 i	0	1	2	3	4	5
仪器 读数 α	顺测					
	回测					
	平均					
相对差 $\Delta\alpha$						
坐标值 y_i						

测量器具	框式水平仪:分度值_____,测量范围_____		
被测件	机床导轨,直线度要求:0.02/200		
误差曲线图			
测量结果	$\Delta f = i \cdot L \cdot \Delta \alpha =$		
结论			
测量日期	201 年 月 日	测量者	

二、测量训练评价

学生应能够按照训练步骤和表 5-4 中的评估要求,独立完成计划和实训。评估不合格者可提交申请,允许重新评估。

表 5-4 测量技能训练评估表

学生姓名	班级	学号				
专业	课程	测量项目				
评价方面	测量评价内容	分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分
基础知识	平面类零件表面技术要求、尺寸公差知识	10				
	水平仪的结构特点和主要度量指标	5				
	水平仪的刻线原理和读数方法	5				
实训技能	第一阶段: 调节仪器	① 选用与被测零件相应的水平仪	5			
		② 检验水平仪的零位是否对准	5			
	第二阶段: 测量并 记录数据	① 准确测量,并按最小条件进行处理	10			
		② 桥板移动时,保持水平仪与桥板间相对位置不变	5			
		③ 准确读出检测器具的读数	5			
	第三阶段: 测量数据 分析、处理	① 根据实验数据计算两点高度差	5			
② 根据实验数据画出直线度误差折线图		10				
③ 评定此零件的合格性,完成实验报告,要求字迹清晰		15				

学生姓名		班级		学号					
专业		课程		测量项目					
评价方面	测量评价内容			分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分	
学习态度	① 出勤			5					
	② 纪律			5					
	③ 团队协作精神			5					
	④ 爱护实训设施			5					
规章制度	遵守操作规范,正确使用工具,保持实训场地清洁卫生,安全操作,无事故			不符合要求,每次扣5分					
测量技能训练评估记录:									
指导教师签字:					日期:				

拓展训练 使用自准直仪测量平面的直线度误差

学习目标

知识目标

- 了解自准直仪的结构、原理和作用;
- 掌握自准直仪的正确使用方法;
- 掌握直线度误差的检测及数据处理方法。

技能目标

- 学会正确、规范地使用自准直仪测量平面的直线度误差;
- 能对测量后的数值进行数据处理,并判定被测件是否合格。

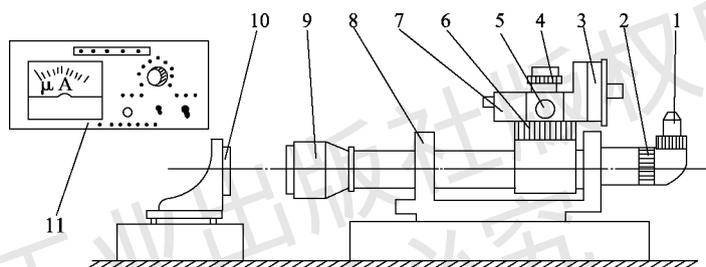
知识链接

一、自准直仪

自准直仪是根据自准直光管的原理设计的,它可以精确测量机床或仪器导轨的直线度误差,也可以测量平板等的平面度误差,利用光学直角器、带磁反射镜等附件还可以测量垂直导轨的直线度误差和垂直度误差。其分度值一般为 0.001mm 。

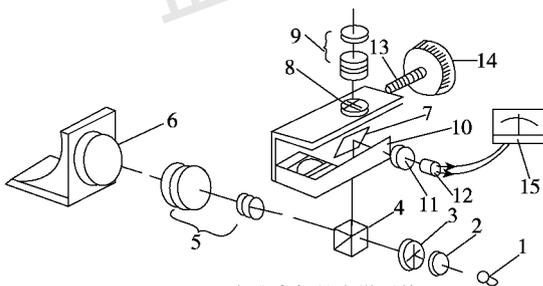
图 5-7(a)所示的自准直仪由主体和反射镜两部分组成,主体包括光管和读数显微镜。测量时主体安放在被测工件之外的固定位置上,反射镜安放在桥板上,桥板放在被测工件表面上。

光线由光源 5 发出,经滤光片 6 照亮十字分划板 4,再经立方棱镜 7 及物镜 8 形成平行光束,将十字分划板 4 的十字投射到平面反射镜 9 上,经反射后,成像在目镜分划板 2 上。若反射镜 9 与平行光束互相垂直,则平行光束沿原光路返回。反射回来的十字分划板的影像(亮十字影像)经过立方棱镜 7,并被其中的半透明膜向上反射到目镜分划板 2,且与目镜分划板 2 的指示线重合[见图 5-7(a)]。如果被测表面凹凸不平,使桥板 10 连同平面反射镜 9 倾斜一个角度 α ,那么反射光轴与入射光轴就成角度 2α ,使亮十字的影像相对于分划板 2 的指示线产生相应的偏移量 Δ 。偏移量的数值由固定分划板 3 和读数鼓轮 1 读出。读数鼓轮 1 上有 100 格的等分圆周刻度,读数鼓轮每转动一周,就使目镜分划板 2 上的指示线相对于固定分划板 3 上的刻度尺移动一个刻度间距。这样就可以由影像偏移量(格数)计算出被测工件与桥板两端的接触点相对于光轴的高度差 h 。如图 5-7(b)所示是自准直仪的光学系统。



1—读数鼓轮; 2—目镜分划板; 3—固定分划板; 4—十字分划板;
5—光源; 6—滤光片; 7—立方棱镜; 8—物镜; 9—平面反射镜; 10—桥板

(a) 自准直仪外形



(b) 自准直仪的光学系统

图 5-7 自准直仪

二、自准直仪的使用方法

① 沿被测工件直线方向将仪器本体安放在固定位置上,将反射镜安放在桥板上,按桥板工作长度在被测直线上均匀布点。

② 接通电源,使光线照准桥板上的反射镜。调整仪器本体的位置,使十字分划板 4 的影像在平面反射镜 9 位于被测直线两端时均能进入视场,这时将仪器本体的位置加以固定。

③ 将安放反射镜的桥板移到靠近自准直仪本体的被测直线一端,调整目镜分划板中指示线的位置,使它位于亮十字的中间,从固定分划板的刻度尺及读数鼓轮上读出并记录起始值。

④ 按各测点的位置依次逐段移动桥板。注意每次移动桥板时,应使桥板的支承在前后位置上首尾相接,并且反射镜不得相对于桥板发生位移。观察并记录目镜中亮十字的影像相对于指示线的偏移量,并将结果记录下来。

每测量一次,偏移量的示值为 Δ_i (格数), i 表示测点序号。由始测点顺序测到终测点后,再由终测点回测到始测点。回测时桥板切勿调头。

⑤ 将在各个测量间隔上记录的两次示值的平均值分别作为各个测量间隔的测量数据。若某个测量间隔两次示值的差异较大,则表明测量不正常,要查明原因后重测。

⑥ 为了得到各测点相对于原点近似理想的高度,应将各测点的读数按顺序累加,将结果填入实验报告中。

⑦ 用累加值作图,按最小条件或两端点连线的方法处理测量数据,评定直线度误差。

⑧ 将计算结果与公差值进行比较,做出合格性评定。

注意:

- 使用前,工作面要清洗干净。
- 回测时桥板切勿调头。
- 不能用手触摸光学镜头和反射镜。
- 使用完毕应将仪器擦拭干净并盖上仪器罩。



测量训练

一、测量训练零件简图

零件图如图 5-8 所示,测量图如图 5-9 所示。

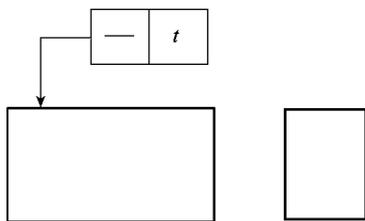


图 5-8 零件图

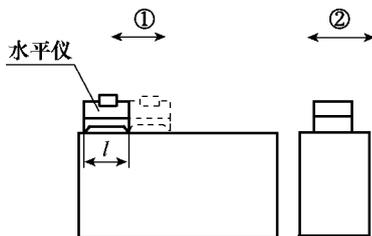
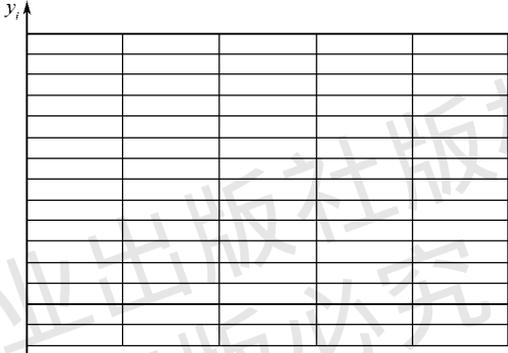


图 5-9 测量图

二、测量训练内容、步骤和要求。

- ① 将反射镜放在被测件的两端,调整自准直仪使其光轴与两端点连线平行。
- ② 按自准直仪的使用方法进行测量。
- ③ 把测得值依次填入测量报告单中。
- ④ 用算法按最小条件进行数据处理,求出被测表面的直线度误差。
- ⑤ 完成测量报告单(见表 5-5)。

表 5-5 测量报告单

测量器具	自准直仪:分度值_____,测量范围_____					
被测零件						
测 量 数 据						
测点序号 i	0	1	2	3	4	5
仪器 读数 a	顺测					
	回测					
	平均					
测点序号 i	0	1	2	3	4	5
相对差 Δa						
坐标值 y_i						
误 差 曲 线 图						
						
测量结果	$\Delta f = i \cdot L \cdot \Delta a =$					
结论						
测量日期	201 年 月 日			测量者		

任务二 使用千分表测量平面度误差

学习目标

知识目标

- 熟悉千分表的结构及工作原理,了解其适用范围,掌握其正确使用方法与测量步骤;
- 理解平面形状公差(平面度)的定义及测量方案的拟订;
- 掌握平面度误差的检测及数据处理方法。

技能目标

- 学会正确、规范地使用千分表测量平面度误差;
- 能对测量后的数值进行数据处理,并判定被测件是否合格。



器材准备

被测零件如图 5-10 所示。测量器具如图 5-11 所示。

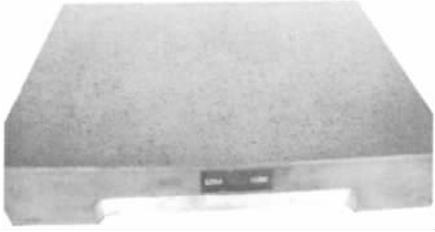


图 5-10 待测工作台



图 5-11 千分表



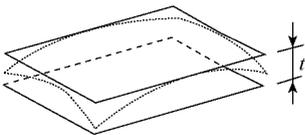
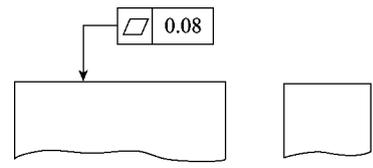
知识链接

一、平面度公差知识

平面度是限制实际表面对理想表面变动量的一项指标。平面度公差是指实际平面对理想平面所允许的最大变动量,其被测要素是平面要素。平面度公差用于控制平面形状误差,其公差带是距离为公差值 t 的两平行平面之间的区域。平面度公差带的定义、标注示例及解释见表 5-6。

表 5-6 平面度公差带的定义、标注示例及解释

单位: mm

公差项目	公差带的定义	标注示例及解释
平面度公差	<p>公差带为间距等于公差值 t 的两平行平面所限定的区域</p> 	<p>提取(实际)表面应限定在间距等于 0.08 的两平行平面之间</p> 

二、平板与平晶

测量平面的标准器具,大的是平板,小的是平晶。平板是用优质铸铁或花岗岩经过刮削或研磨制成的。平板工作面的尺寸最小的是 $200\text{mm} \times 100\text{mm}$,最大的是 $3000\text{mm} \times 5000\text{mm}$,精度分为 0 级、1 级、2 级和 3 级,前三级平板用于检验,3 级平板用于划线。

刮研平板时用着色法检验平面,即在被验表面上涂一层薄的红丹或蓝油,反复在另一块较大的标准板上前后左右推动以后,表面上出现接触斑点,斑点越细密均匀,表示表面越平。因此,可用斑点数目和分布均匀度表示平面的平面度。按 GL31—1962 的规定,0 级平板在 25mm 见方的表面上,斑点数不应少于 25 点;任何两个 25mm 见方的表面内的点数之差不应超过 3 点。

标准平板是用三块同大的铸铁平板顺次互相刮研的原始方法制作出来的,这也是达到最精密平板的正确方法。

平晶是用光学玻璃研磨制成的圆板,其直径有 45mm,60mm,80mm,100mm,150mm,200mm。精度等级分为 1 级和 2 级。工作面的平面度误差,1 级不超过 $0.03\sim 0.05\mu\text{m}$,2 级为 $0.1\mu\text{m}$ 。平晶是利用光波干涉原理测量平面度误差的。

三、平面度误差的测量原理与评定方法

1. 测量原理

平面度误差的测量是根据与理想要素相比较的原则进行的。用标准平板作为模拟基准,利用指示表和指示表架测量被测平板的平面度误差。

如图 5-12 所示,测量时将被测工件支承在基准平板上,将基准平板的工作面作为测量基准,在被测工件表面上按一定的方式布点,通常采用的是米字形布线方式。用指示表逐行测量被测表面上的各点并记录所测数据,然后按一定的方法评定其误差值。

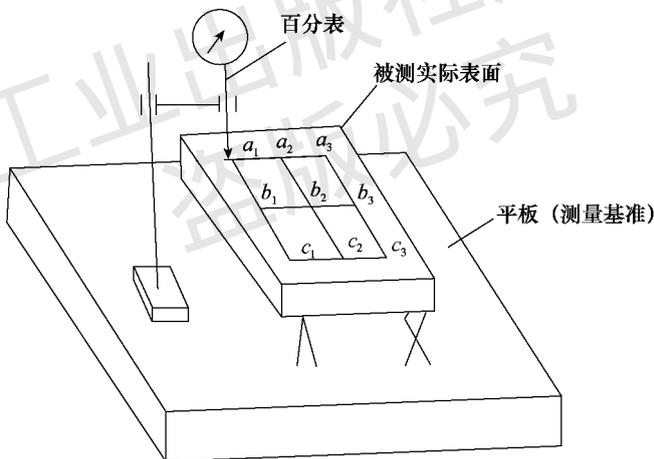


图 5-12 平面度误差的测量原理

2. 评定方法

(1) 最小包容区域法

由两平行平面包容实际被测要素时,实现至少四点或三点接触且具有下列形式之一者,即为最小包容区域,其平面度误差值最小。最小包容区域有下列三种接触形式。

① 两平行平面包容被测表面时,被测表面上有 3 个最低点(或 3 个最高点)及 1 个最高点(或 1 个最低点)分别与两包容平面接触,并且最高点(或最低点)能投影到 3 个最低点(或 3 个最高点)之间,则这两个平行平面符合最小包容区域原则,如图 5-13(a)所示。

② 被测表面上有 2 个最高点和 2 个最低点分别与两个平行的包容面相接触,并且 2 个最高点投影于 2 个最低点连线之两侧,则两个平行平面符合最小包容区域原则,如图 5-13(b)所示。

③ 被测表面的同一截面内有 2 个最高点及 1 个低点(或相反)分别和两个平行的包容面相接触,则该两平行平面符合最小包容区域原则,如图 5-13(c)所示。

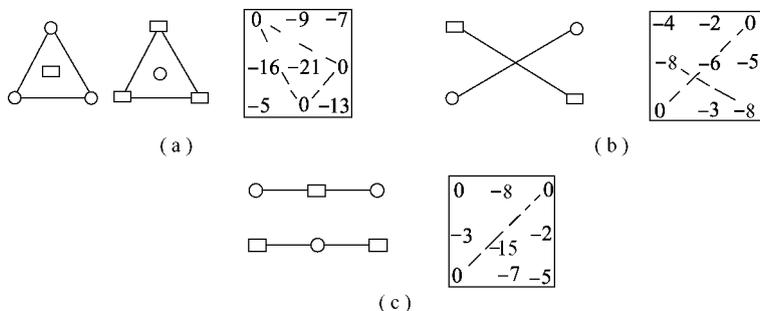


图 5-13 平面度误差的最小包容区域判别

平面度误差值用最小包容区域法评定,结果数值最小且唯一,并符合平面度误差的定义。但在实际工作中需要多次选点计算才能获得,因此它主要用于工艺分析和发生争议时的仲裁。

在满足零件使用功能的前提下,检测标准规定可用近似方法来评定平面度误差。常用的方法有三角形法和对角线法。

(2) 三角形法

三角形法是以通过被测表面上相距最远且不在一条直线上的 3 个点建立一个基准平面,各测点对此平面的偏差中最大值与最小值的绝对值之和为平面度误差。实测时,可以在被测表面上找到 3 个等高点,并且调到零。在被测表面上按布点测量,与三角形基准平面相距最远的最高和最低点间的距离为平面度误差值。

三角形法评定结果受选点的影响,故结果不唯一,一般用于低精度的工件。

(3) 对角线法

采集数据前先分别将被测平面的两对角线调整为与测量平板等高,然后在被测表面上均匀取 9 点用百分表采集数据,作平行于两对角线且过最高点和最低点的两平行平面,则其平面度误差为上、下两平行平面之间的距离,即最高点读数值减去最低点读数值。对角线法选点确定,结果唯一。计算出的数值虽稍大于定义值,但相差不多,且能满足使用要求,故应用较广。

测量训练

一、测量训练内容、步骤和要求

- ① 将测量平板和待测工作台清理干净。
- ② 参照图 5-12,将待测工作台用可调支承置于测量平板上,将千分表装夹在万能表架

上,并使千分表测头垂直地指向被测零件表面。

③ 使千分表测头与被测表面接触,为了读数方便,可转动表盘,使大指针为零。移动千分表,调节可调支承,使被测表面的其中三个角相对于测量平板等高。

④ 在被测表面上均匀取 9 点,移动千分表,记下在每点的读数,测量三次并做好记录。

⑤ 用最小包容区域法评定平面度误差值,并做出合格性判断。

⑥ 填写测量报告单(见表 5-7)。

表 5-7 测量报告单

测量器具	平板的规格与级别								
	千分表分度值								
被测零件									
测量记录	a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3	c_1	c_2	c_3
1									
2									
3									
评定方法与数据处理									
测量结果	$f =$								
结论									
测量日期	201 年 月 日				测量者				

二、测量训练评价

学生应能够按照训练步骤和表 5-8 中的评估要求,独立完成计划和实训。评估不合格者可提交申请,允许重新评估。

表 5-8 测量技能训练评估表

学生姓名		班级		学号				
专业		课程		测量项目				
评价方面	测量评价内容			分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分
基础知识	平面度误差的测量原理和评定方法			10				
	千分表的结构特点和主要度量指标			5				
	平面度公差相关知识			5				

学生姓名	班级	学号					
专业	课程	测量项目					
评价方面	测量评价内容		分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分
实训技能	第一阶段: 调节仪器	① 选用与被测零件相应的测量工具	5				
		② 检验千分表是否调零	5				
	第二阶段: 测量并 记录数据	① 按最小区域判别法进行处理	10				
		② 准确测量三次	5				
		③ 准确读出千分表的读数	5				
	第三阶段: 测量数据 分析、处理	① 知道评定平面度误差的方法	5				
② 根据实验数据进行数据处理		10					
③ 评定此零件的合格性,完成实验报告,要求字迹清晰		15					
学习态度	① 出勤		5				
	② 纪律		5				
	③ 团队协作精神		5				
	④ 爱护实训设施		5				
规章制度	遵守操作规范,正确使用工具,保持实训场地清洁卫生,安全操作,无事故		不符合要求,每次扣5分				
测量技能训练评估记录:							
指导教师签字:				日期:			

项目学习测评

1. 说明表 5-9 中各代号的含义。

表 5-9 题 1 表

代号	解释代号含义	公差带形状	代号	解释代号含义	公差带形状

2. 直线度、平面度误差常用的测量方法有哪些？

3. 平面度误差评定有哪几种形式？

4. 测量平面度误差应如何布点？

5. 如图 5-14(a)所示,在平板上以平板工作面作为测量基准,用指示表测量工件的平面度误差。

对被测表面在 x 和 y 方向等距离布置测点,在各测点处指示表上的示值(μm)如图 5-14(b)所示。

试按最小条件求解平面度误差值。

6. 写出图 5-15 所示零件形状公差符号的含义。

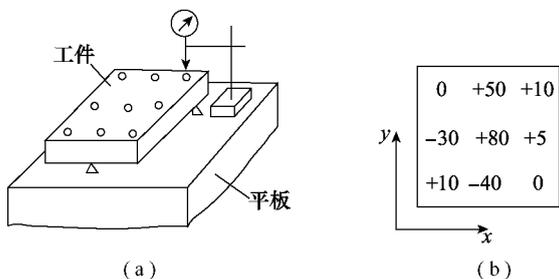


图 5-14 题 5 图

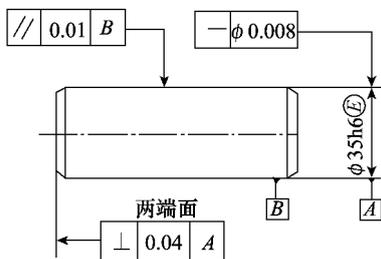


图 5-15 题 6 图

7. 测量直线度误差的仪器有哪些？

8. 用水平仪和桥板测量有效长度为 2000mm 的车床导轨的直线度误差,均匀布置测点,依次测量两相邻测点的高度差。所用水平仪的分度值为 $0.01\text{mm}/\text{m}$,桥板跨距为 250mm,测点共 9 个。水平仪在各测点的示值(格数)依次为 0, +1, +1, 0, -1, -1.5, +1, +0.5, +1.5。试通过两 endpoint 连线和按最小条件作图分别求解该导轨的直线度误差值。

项目六 箱体类零件的测量

项目内容引入

箱体类零件一般是机器的主体,常见的箱体有减速箱体、泵体、阀体、机座等。箱体类零件结构比较复杂,多有装孔的底板,上面常有凹坑和凸台结构。支承孔处常设有加厚凸台或加强肋。箱体类零件主要起承托、容纳、定位、密封和保护等作用,其毛坯多为铸件。

本项目主要介绍箱体类零件的功用、结构特点和技术工艺要求,箱体类零件的测量项目、一般测量方法及测量器具的选用等相关内容。本项目根据箱体类零件的结构特点和技术要求,分别采用不同的量具和量仪,通过两个测量任务实施。

项目基础知识

一、箱体类零件的功用和技术要求

1. 功能与特点

箱体类零件是机器(或部件)的基础零件。它将轴、套、轴承、齿轮及其他零部件连成一个整体,使其保持正确的位置关系,并按照一定的传动关系工作。箱体类零件通常尺寸较大,形状复杂,壁薄而不均匀,在箱壁上有许多精度较高的轴承与轴孔及平面,还有许多精度较低的紧固孔。如图 6-1 所示为减速器箱体零件图。

2. 技术要求

- ① 支承孔的尺寸精度和表面粗糙度。
- ② 支承孔的形状精度和支承孔之间的位置精度。
- ③ 支承孔与主要安装平面间的相互位置精度。
- ④ 平面的形状精度、相互位置精度、表面粗糙度。

二、箱体的测量方法及测量器具的选用

不同用途的箱体类零件,其结构形式、尺寸大小、精度要求等差异较大,加之其形状和位置误差的测量项目较多,其测量方法也千差万别。用常规量具能实现测量目的,但测量比较烦琐,工作量较大。根据箱体结构及精度要求,箱体的测量可选择“平台测量法”进行。

1. 平台测量法的特点

所谓“平台测量法”是指以精密测量平板为基本的测量器件,辅以百分表、千分表、高度尺、直角尺等通用量具及其他辅助器具,通过不同的组合完成测量。该测量方法具有以下主要特点:

- ① 测量条件要求不高,容易实现。

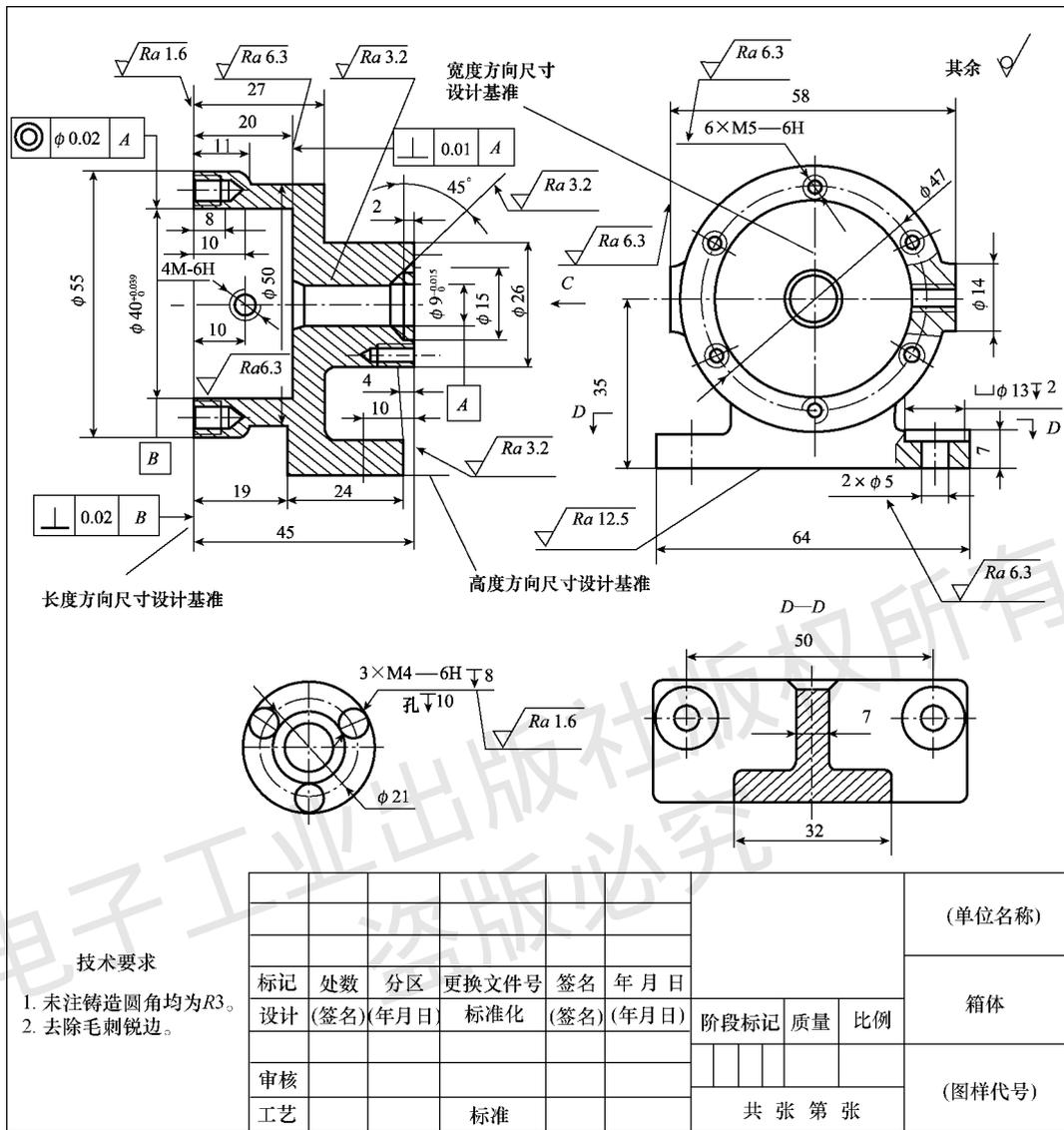


图 6-1 减速器箱体零件图

- ② 适用面广，一般的中、低精度的零件均可测量。
- ③ 由于受测量器具精度限制，该方法不适合测量精度较高的零件。
- ④ 该方法的测量效率不高，一般不适合大批量的检验与测量。

2. 测量时的注意事项

① 测量前要认真审阅被测零件图，明确需要测量的项目及要要求。通常在对完工零件进行检验与测量时，凡标注了公差的尺寸和项目都必须测量，对一些影响使用性能和外观的未注公差的尺寸和项目也必须测量。

② 在设计测量方案时要综合考虑测量条件、现有测量器具情况、零件批量大小、精度高低等因素。

③ 在设计零件的形状和位置公差检测方案时,必须满足我国国家标准 GB/T1958—2004《产品几何量技术规范(GPS) 形状和位置公差检测规定》的要求。

④ 使用“平台测量法”时,被测件要拿稳放好,防止人身和设备事故的发生。

项目测量任务

任务一 用百分表测量箱体平行度误差

学习目标

知识目标

- 熟悉箱体类零件的基础知识;
- 理解箱体的位置公差(如平行度、同轴度)的实际含义;
- 掌握平行度误差的检测及数据处理方法。

技能目标

- 学会使用百分表进行箱体类零件平行度、同轴度等位置误差的测量;
- 能对测量后的数值进行数据处理,并判定被测件是否合格。

器材准备

被测零件为机座(见图 6-2),测量器具为百分表和测量平板。

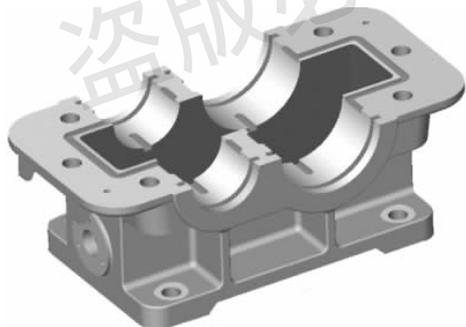


图 6-2 机座

知识链接

一、平行度

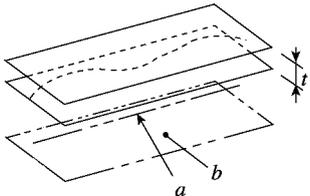
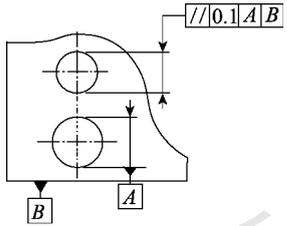
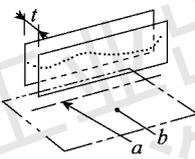
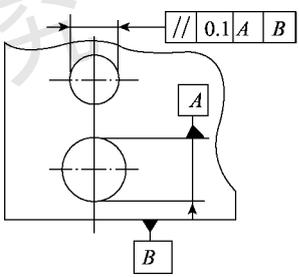
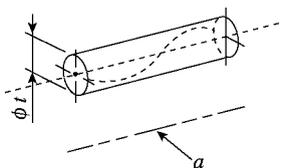
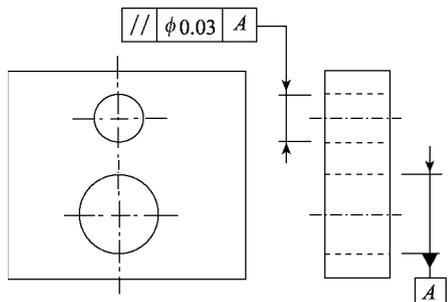
1. 平行度公差知识

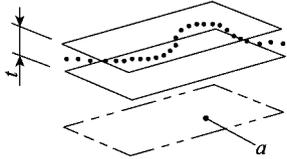
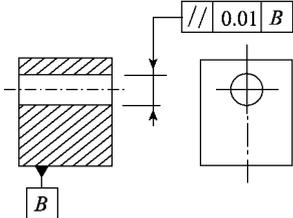
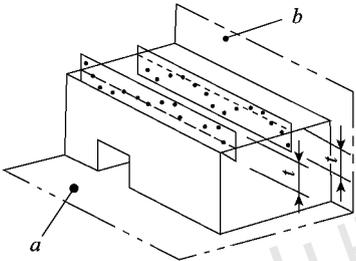
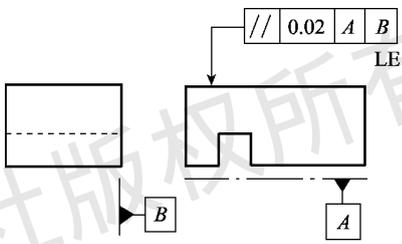
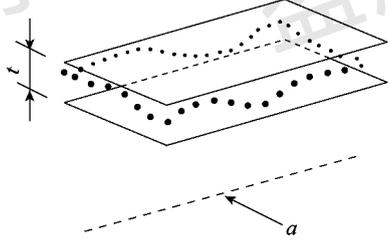
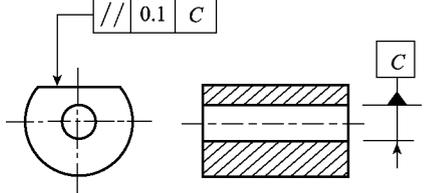
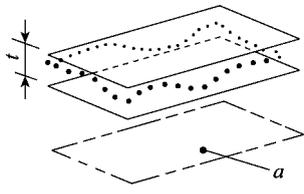
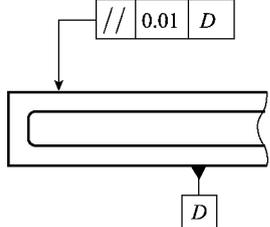
平行度是限制实际要素对基准在平行方向上变动量的一项指标。平行度公差是一种方

向公差,是指被测要素相对基准在平行方向上允许的变动全量。所以,方向公差具有控制方向的功能,即控制被测要素对基准要素的方向。根据被测要素与基准要素各自几何特征的不同,平行度包含面对面、线对面、面对线和线对线四种情况。平行度公差带的定义、标注示例及解释见表 6-1。

表 6-1 平行度公差带的定义、标注示例及解释

单位:mm

特征	公差带定义	标注示例及解释
线 对 基 准 体 系	<p>公差带为间距等于公差值 t、平行于两基准的两平行平面所限定的区域</p>  <p>a 为基准轴线 A b 为基准平面 B</p>	<p>提取(实际)中心线应限定在间距等于 0.1、平行于基准轴线 A 和基准平面 B 的平行平面之间</p> 
线 对 基 准 体 系	<p>公差带为间距等于公差值 t、平行于基准轴线 A 且垂直于基准平面 B 的两平行平面所限定的区域</p>  <p>a 为基准轴线 A b 为基准平面 B</p>	<p>提取(实际)中心线应限定在间距等于 0.1 的平行平面之间。该两平行平面平行于基准轴线 A 且垂直于基准平面 B</p> 
线 对 基 准 线	<p>若公差值前加注了符号 ϕ,则公差带是平行于基准轴线、直径等于公差值 ϕt 的圆柱面所限定的区域</p>  <p>a 为基准轴线 A</p>	<p>提取(实际)中心线应限定在平行于基准轴线 A、直径等于 $\phi 0.03$ 的圆柱面内</p> 

特征	公差带定义	标注示例及解释
线对基准面	<p>公差带为平行于基准平面、间距等于公差值 t 的两平行平面所限定的区域</p>  <p>a 为基准平面 B</p>	<p>提取(实际)中心线应限定在平行于基准平面 B、间距等于 0.01 的两平行平面之间</p> 
线对基准体系	<p>公差带为间距等于公差值 t 的两平行直线所限定的区域。该两平行直线平行于基准平面 A 且处于平行于基准平面 B 的平面内</p>  <p>a 为基准平面 A b 为基准平面 B</p>	<p>提取(实际)线应限定在间距等于 0.02 的两平行直线之间。该两平行直线平行于基准平面 A 且处于平行于基准平面 B 的平面内</p> 
面对基准线	<p>公差带为间距等于公差值 t、平行于基准轴线的两平行平面所限定的区域</p>  <p>a 为基准轴线 C</p>	<p>提取(实际)表面应限定在间距等于 0.1、平行于基准轴线 C 的两平行平面之间</p> 
面对基准面	<p>公差带为间距等于公差值 t、平行于基准平面的两平行平面所限定的区域</p>  <p>a 为基准平面 D</p>	<p>提取(实际)表面应限定在间距等于 0.01、平行于基准平面 D 的两平行平面之间</p> 

2. 平行度误差的检测方法

(1) 用指示表类仪器测量

将被测零件放在平板上,用指示表类仪器在整个平面上按规定测量线进行测量,如图 6-3 所示。

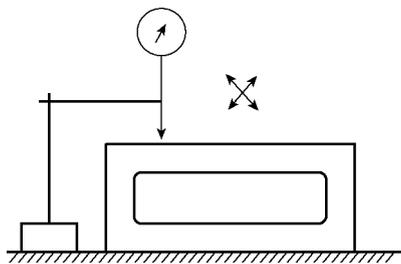


图 6-3 平行度误差检测方法示例一

(2) 用水平仪测量

将被测零件放在平板上,用水平仪分别在平板和被测零件的若干个方向上测量,记录水平仪的示值 A_1 和 A_2 ,如图 6-4 所示。

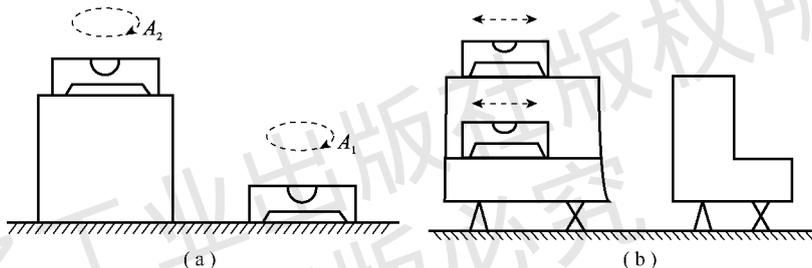


图 6-4 平行度误差检测方法示例二

二、同轴度

同轴度的公差知识可参见项目一中的相关内容。



测量训练

一、箱体平行度误差的测量

主要分析线对面平行度误差的测量与面对面平行度误差的测量。

1. 线对面平行度误差的测量

① 如图 6-5 所示,将被测零件的基准面 F 直接放在平板上,然后在被测孔中放入模拟心轴。

② 用百分表分别靠近箱体壁的左右两侧。

③ 在心轴最高点处读取读数,两读数之差即为被测轴线对基准平面的平行度误差。

2. 面对面平行度误差的测量

① 如图 6-5 所示,将被测零件的基准面 F 直接放在平板上。

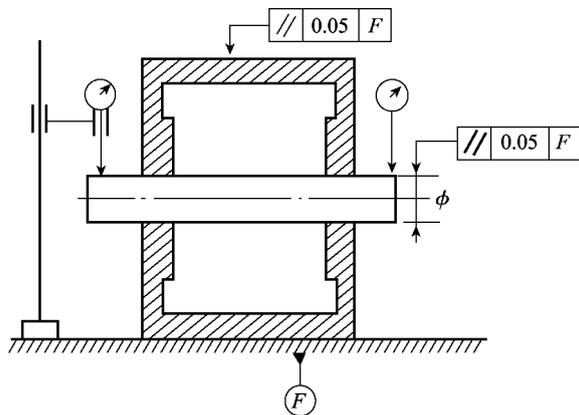


图 6-5 平行度误差测量

- ② 用百分表测得被测平面上各点的读数,记录最大的读数与最小的读数。
- ③ 最大的读数与最小的读数之差即为该被测平面对基准平面的平行度误差。
- ④ 进行合格性评定。当实测值小于给定的公差值时,该项目合格。

注意:

- 被测实际要素的形状误差相对于位置误差来说一般很小,所以测量时直接在被测实际表面上进行,不排除被测实际要素的形状误差的影响。
- 必要时,应在有关的公差框格下加注文字说明。被测实际表面满足平行度要求,但被测点偶然出现一个超差的凸点或凹点时,这个特殊点的数值是否作为平行度误差,应根据零件的使用要求来处理。

二、同轴度误差的测量

- ① 如图 6-6 所示,用一长心轴模拟被测孔的公共轴线,用一短心轴模拟基准孔的轴线。

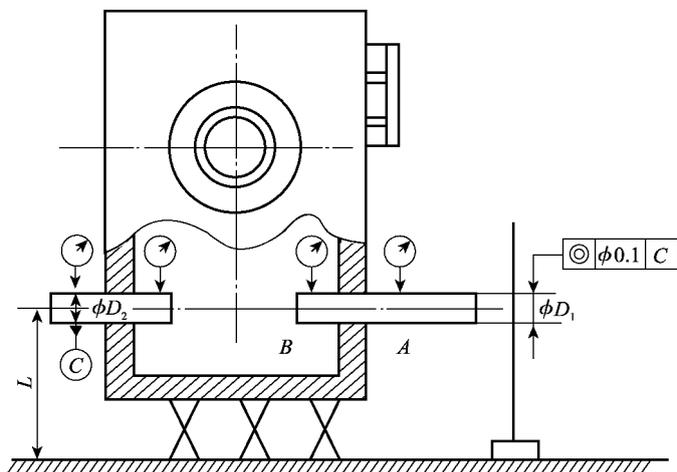


图 6-6 同轴度误差测量

② 将被测箱体的底面置于三个可调支承上。

③ 将基准孔的模拟心轴调整到与平板平行(可用百分表在该孔两端的两点进行测量,调整到与两端最高点读数相等,即表示心轴与平板平行),记下此时的读数,则该点至平板的距离为 $L + \frac{D_1}{2}$ 。

④ 用百分表在靠近被测孔模拟心轴的两端 A 和 B 两点处分别测出最高点读数,并计算与高度 $L + \frac{D_1}{2}$ 的差值 f_{AX} 和 f_{BX} 。

⑤ 将被测件翻转 90° ,按上述方法测量并计算 f_{AY}, f_{BY} 。

⑥ 计算被测孔两端的同轴度误差。

A 点处的同轴度误差为

$$f_A = 2 \sqrt{f_{AX}^2 + f_{AY}^2}$$

B 点处的同轴度误差为

$$f_B = 2 \sqrt{f_{BX}^2 + f_{BY}^2}$$

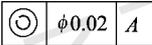
⑦ 取 f_A 和 f_B 中较大者作为该被测要素的同轴度误差。

⑧ 进行合格性评定。当实测值小于给定的公差值时,该项目合格。

三、测量训练内容、步骤和要求

① 读零件图(见图 6-1),说明零件图上的位置公差项目。

② 说明各公差项目的含义。

 表示的被测要素是 _____,基准要素是 _____。公差项目是 _____,公差值是 _____。

③ 测量 $\phi 18H7$ 孔的轴线相对于基准孔的同轴度误差。

④ 将测量结果填入表 6-2 中,根据零件公差,做出合格性判定。

表 6-2 测量报告单

被测件名称		计量器具			
测量项目					
测量结果/mm					
测量项目		测量值	误差值	公差值	合格性
平行度误差	孔轴线对平面				
	平面对平面				
同轴度误差	第一位置				

被测件名称		计量器具			
测量项目					
测量结果/mm					
测量项目		测量值	误差值	公差值	合格性
同轴度误差	转 90°后				
测量方法			结论		
测量日期	201 年 月 日		测量者		

四、测量训练评价

学生应能够按照训练步骤和表 6-3 中的评估要求,独立完成计划和实训。评估不合格者可提交申请,允许重新评估。

表 6-3 测量技能训练评估表

学生姓名		班级		学号				
专业		课程		测量项目				
评价方面	测量评价内容			分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分
基础知识	箱体类零件表面技术要求、尺寸公差知识			10				
	箱体类零件的结构特点和主要度量指标			5				
	百分表、心轴配合使用方法			5				
实训技能	第一阶段: 调节仪器	① 选用与被测零件相应的百分表及心轴		5				
		② 检验百分表的零位是否对准		5				
	第二阶段: 测量并 记录数据	① 准确测量平行度、垂直度误差		15				
		② 熟练读出百分表的读数并记录		5				
	第三阶段: 测量数据 分析、处理	① 根据实验数据确定误差值		5				
		② 测量精度是否达到要求		10				
③ 评定此零件尺寸的合格性,完成实验报告,要求字迹清晰		15						
学习态度	① 出勤			5				
	② 纪律			5				
	③ 团队协作精神			5				
	④ 爱护实训设施			5				

学生姓名		班级		学号					
专业		课程		测量项目					
评价方面	测量评价内容			分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分	
规章制度	遵守操作规范,正确使用工具,保持实训场地清洁卫生,安全操作,无事故			不符合要求,每次扣5分					
测量技能训练评估记录:									
指导教师签字:					日期:				

任务二 用千分表和直角尺测量箱体垂直度误差

学习目标

知识目标

- 理解箱体的位置公差(如垂直度、位置度)的实际含义;
- 掌握垂直度误差的检测及数据处理方法。

技能目标

- 学会使用千分表和直角尺进行箱体零件的垂直度、位置度等位置误差的测量;
- 能对测量后的数值进行数据处理,并判定被测件是否合格。

器材准备

被测零件为机座(见图 6-2),测量器具为千分表和直角尺(见图 6-7)。

知识链接

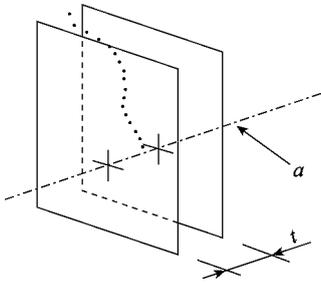
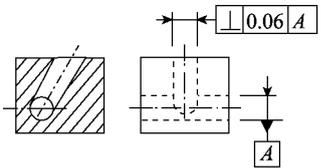
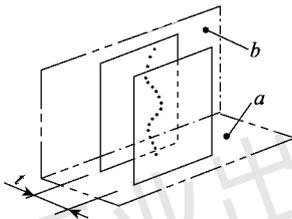
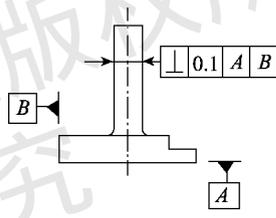
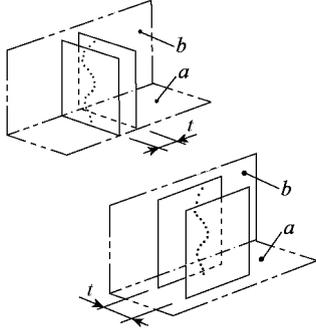
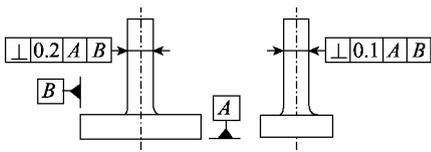
一、垂直度

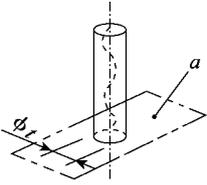
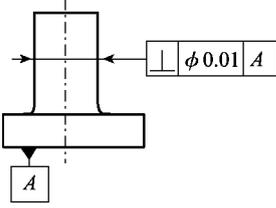
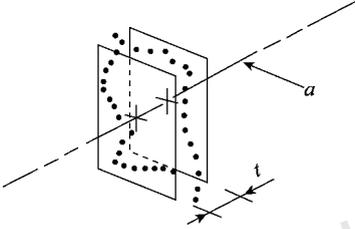
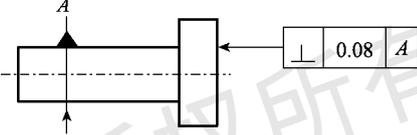
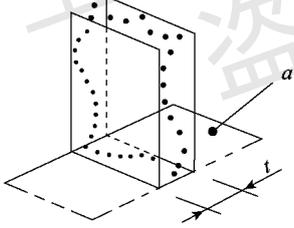
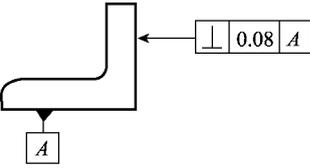
1. 垂直度公差知识

垂直度是限制实际要素对基准在垂直方向上变动量的一项指标。垂直度公差是一种方向公差,是指被测要素相对基准在垂直方向上允许的变动全量。所以,方向公差具有控制方向的功能,即控制被测要素对基准要素的方向,理论正确角度为 90° 。垂直度公差带的定义、标注示例及解释见表 6-4。



图 6-7 直角尺

特征	公差带定义	标注示例及解释
<p>线对基准线</p>	<p>公差带为间距等于公差值 t、垂直于基准线的两平行平面所限定的区域</p>  <p>a 为基准轴线 A</p>	<p>提取(实际)中心线应限定在间距等于 0.06、垂直于基准轴线 A 的两平行平面之间</p> 
<p>线对基准体系</p>	<p>公差带为间距等于公差值 t 的两平行平面所限定的区域。该两平行平面垂直于基准平面 A, 且平行于基准平面 B</p>  <p>a 为基准平面 A b 为基准平面 B</p>	<p>圆柱面的提取(实际)中心线应限定在间距等于 0.1 的两平行平面之间。该两平行平面垂直于基准平面 A, 且平行于基准平面 B</p> 
<p>线对基准体系</p>	<p>公差带为间距等于公差值 t_1 和 t_2 且互相垂直的两组平行平面所限定的区域。该两组平行平面都垂直于基准平面 A。其中一组平行平面垂直于基准平面 B (见左上图), 另一组平行平面平行于基准平面 B (见下图)</p>  <p>a 为基准平面 A b 为基准平面 B</p>	<p>圆柱的提取(实际)中心线应限定在间距等于 0.1 和 0.2 且互相垂直的两组平行平面内。该两组平行平面垂直于基准平面 A, 且垂直或平行于基准平面 B</p> 

特征	公差带定义	标注示例及解释
线 对 基 准 面	<p>若公差值前加注了符号 ϕ, 则公差带为直径等于公差值 ϕt、轴线垂直于基准平面的圆柱面所限定的区域</p>  <p>a 为基准平面 A</p>	<p>圆柱面的提取(实际)中心线应限定在直径等于 $\phi 0.01$、垂直于基准平面 A 的圆柱面内</p> 
面 对 基 准 线	<p>公差带为间距等于公差值 t 且垂直于基准轴线的两平行平面所限定的区域</p>  <p>a 为基准轴线 A</p>	<p>提取(实际)表面应限定在间距等于 0.08 的两平行平面之间。该两平行平面垂直于基准轴线 A</p> 
面 对 基 准 面	<p>公差带为间距等于公差值 t、垂直于基准平面的两平行平面所限定的区域</p>  <p>a 为基准平面 A</p>	<p>提取(实际)表面应限定在间距等于 0.08、垂直于基准平面 A 的两平行平面之间</p> 

2. 垂直度误差的常用检测方法

(1) 用指示表类仪器测量

将被测零件固定在直角座(或导向块)上,同时调整靠近基准的被测表面的指示计示值之差为最小,取指示计在整个被测表面各点测得的最大值与最小值之差作为该零件的垂直度误差,如图 6-8 所示。

(2) 用水平仪测量

用水平仪粗调基准表面到水平。分别在基准表面和被测表面上用水平仪分段逐步测量并记录换算成线值的示值,求出基准方位,然后求出被测表面相对于基准的垂直度误差,如图 6-9 所示,此方法适用于大型零件的测量。

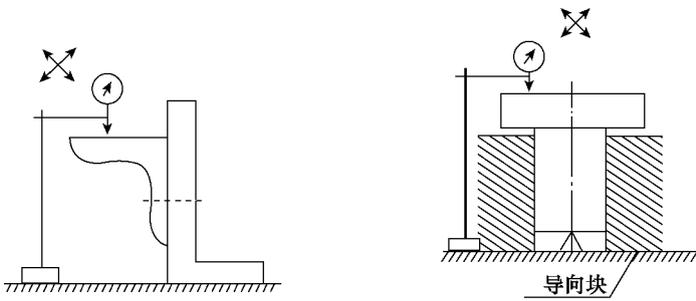


图 6-8 用指示表类仪器测量

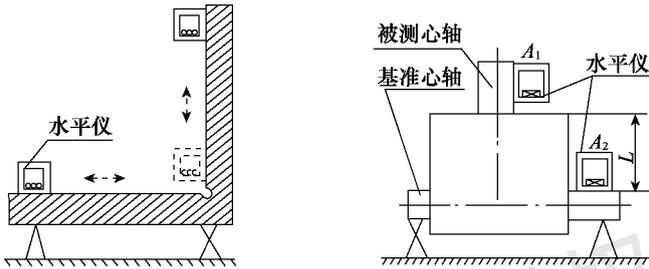


图 6-9 用水平仪测量

二、位置度

位置度是控制被测要素位置的一项指标。根据被测要素的不同,位置度分为点的位置度、线的位置度和面的位置度。

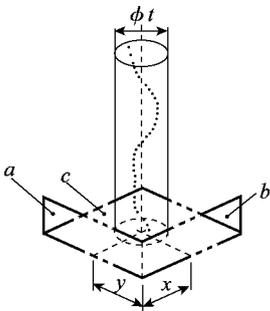
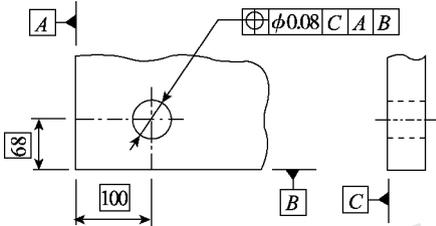
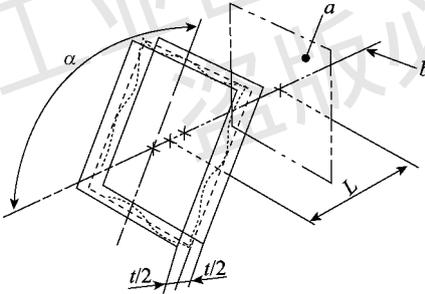
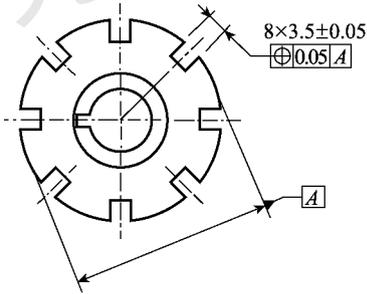
位置度公差用来控制被测要素的实际位置相对于其理想位置的变动量,其理想位置由理论正确尺寸及基准所确定。

理论正确尺寸是不附带公差的精确尺寸,在图样中用带方框的尺寸表示,以区别于未注尺寸公差的尺寸。位置度公差带的定义、标注示例及解释见表 6-5。

表 6-5 位置度公差带的定义、标注示例及解释

单位:mm

特征	功能	公差带定义	标注示例及解释
点的位置度	用于控制球心、圆心的位置误差	<p>如公差值前标注符号 $S\phi$, 则公差带为直径等于公差值 $S\phi t$ 的圆球面所限定的区域。该圆球面中心的理论正确位置由基准 A, B, C 和理论正确尺寸确定</p> <p>a 为基准平面 A b 为基准平面 B c 为基准平面 C</p>	<p>提取(实际)球心应限定在直径等于 $S\phi 0.3$ 的圆球面内。该圆球面的中心在由基准平面 A、基准平面 B、基准中心平面 C 和理论正确尺寸 30.25 确定的理论正确位置上</p>

特征	功能	公差带定义	标注示例及解释
线的 位置 度	用于控制 零件上孔的 位置误差	<p>公差值前加注符号 ϕ，公差带为直径等于公差值 ϕt 的圆柱面所限定的区域。该圆柱面的轴线的位置由基准 C, A, B 和理论正确尺寸确定</p>  <p>a 为基准平面 A b 为基准平面 B c 为基准平面 C</p>	<p>提取(实际)中心线应限定在直径等于 $\phi 0.08$ 的圆柱面内。该圆柱面的轴线的位置应由基准平面 C, A, B 和理论正确尺寸 $100, 68$ 确定</p> 
面 的 位置 度	用于控制 面的位置 误差	<p>公差带为间距等于公差值 t，且对称于被测面理论正确位置的两平行平面所限定的区域。该两平行平面的理论位置由基准平面、基准轴线和理论正确尺寸确定</p>  <p>a 为基准平面 b 为基准轴线</p>	<p>提取(实际)中心面应限定在间距等于 0.05 的两平行平面之间。该两平行平面对称于由基准轴线 A 和理论正确角度 45° 确定的各被测面的理论正确位置</p> 



测量训练

一、箱体垂直度误差的测量

常见的垂直度误差的测量有面对面垂直度误差的测量、线对面垂直度误差的测量、面对线垂直度误差的测量和线对线垂直度误差的测量。下面主要分析线对线垂直度误差的测量与面对面垂直度误差的测量。

1. 线对线垂直度误差的测量

① 如图 6-10 所示,用一长心轴模拟被测孔的公共轴心线,用一短心轴模拟基准孔的轴心线。

② 将被测箱体的底面放在三个可调支承上。

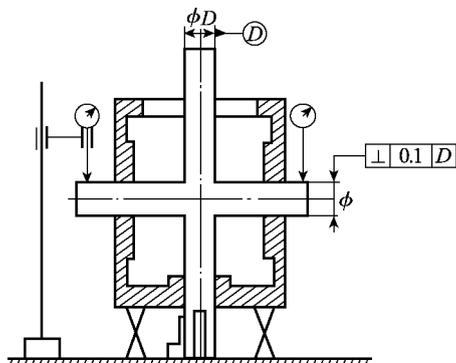


图 6-10 垂直度误差的测量

③ 用宽座直角尺分别在任意方向上检查基准孔的心轴与平板的垂直度(用光隙法)。若不垂直,可通过调整可调支承使基准轴心线与平板平行。

④ 用千分表分别在被测孔靠近箱体壁的左右两侧读取最高点的读数。两读数之差即为被测孔与基准孔轴线的垂直度误差。

⑤ 进行合格性评定。当实测值小于给定的公差值时,该项目合格。

2. 面对面垂直度误差的测量

① 与上述测量一样,将被测零件的基准面固定在直角座上。

② 将直角座放在平板上。调整靠近基准的被测表面的读数差为最小值。

③ 取指示器在整个被测表面各点测得的最大值与最小值之差,作为被测平面对基准平面的垂直度误差。

④ 进行合格性评定。当实测值小于给定的公差值时,该项目合格。

注意:

直接用直角尺测量垂直度时,由于没有排除基准表面的形状误差,测得的误差值受基准表面形状误差的影响,故作为基准表面形状误差要求高些。

二、位置度误差的测量

① 将被测零件的基准面 A 放在平板上。

② 按基准调整被测零件,使其与测量装置的坐标一致,如图 6-11 所示。

③ 将心轴放置在孔中,在靠近被测零件的板面上,测量坐标值 x_0 和 y_0 。

④ 将实测值 x_0 和 y_0 与相应的理论正确尺寸比较,得出偏差 f_x 和 f_y 。

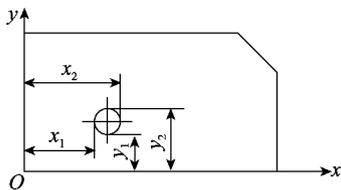


图 6-11 位置度误差测量图

⑤ 按如下公式计算位置度误差 f ：

$$f = 2 \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

⑥ 进行合格性评定。当实测值小于给定的公差值时，该项目合格。

位置度的合格性还可用综合量规检验。例如，要求在图 6-12 所示的法兰盘上装螺钉用

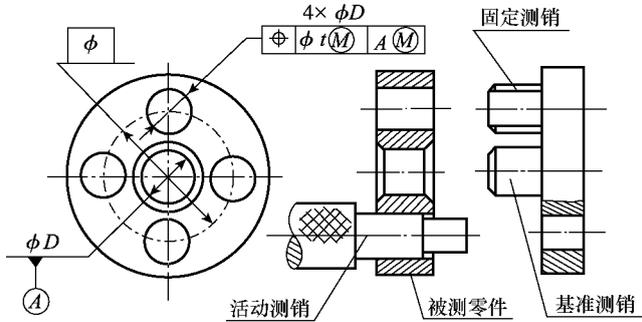


图 6-12 用量规检验孔的位置度

的四个孔具有以中心孔为基准的位置度。测量时，将量规的基准测销和固定测销插入零件中，再将活动测销插入其他孔中，如果都能插入零件和量规的对应孔中，就可判断四个孔的位置合格。

注意：

- 对于多孔孔组，可按上述方法逐孔测量和计算。若位置度公差带为给定两个方向的两组平行平面，则直接取 $2f_x, 2f_y$ ，分别作为该零件在两个方向上的位置度误差。测量时，应选用可胀式（或与孔成无间隙配合的）心轴。
- 若孔的形状误差对测量结果的影响可以忽略，则可直接在实际孔壁上测量。

三、测量训练内容、步骤和要求

① 读零件图（见图 6-1），说明零件图上的位置公差项目。

② 说明各公差项目的含义。

 表示的被测要素是_____，基准要素是_____。公差项目是_____，公差值是_____。

③ 测量 $\phi 74H6$ 孔的轴线相对于 $\phi 18H7$ 孔的轴线的垂直度误差。

④ 将测量结果填入表 6-6 中，根据零件公差，做出合格性判定。

表 6-6 测量报告单

被测件名称		计量器具		
测量项目				
测量结果/mm				
测量项目	测量值	误差值	公差值	合格性
基准孔与被测孔的垂直度误差				

被测件名称		计量器具			
测量项目					
测量结果/mm					
测量项目		测量值	误差值	公差值	合格性
位置度误差	左				
	右				
测量方法			结论		
测量日期	201 年 月 日		测量者		

四、测量训练评价

学生应能够按照训练步骤和表 6-7 中的评估要求,独立完成计划和实训。评估不合格者可提交申请,允许重新评估。

表 6-7 测量技能训练评估表

学生姓名		班级		学号				
专业		课程		测量项目				
评价方面	测量评价内容			分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分
基础知识	箱体类零件表面技术要求、尺寸公差知识			10				
	箱体类零件的结构特点和主要度量指标			5				
	百分表、心轴、直角尺的配合使用方法			5				
实训技能	第一阶段: 调节仪器	① 选用与被测零件相应的百分表及心轴		5				
		② 检验百分表的零位是否对准		5				
	第二阶段: 测量并 记录数据	① 准确测量		15				
		② 准确记录在被测部位测出的 5 个实验偏差及实际尺寸		5				
	第三阶段: 测量数据 分析、处理	① 根据实验数据计算实际尺寸的平均值和变化量		5				
		② 根据实验数据计算被测尺寸的实际偏差		10				
③ 评定此零件尺寸的合格性,完成实验报告,要求字迹清晰		15						
学习态度	① 出勤			5				
	② 纪律			5				
	③ 团队协作精神			5				
	④ 爱护实训设施			5				

学生姓名		班级		学号				
专业		课程		测量项目				
评价方面	测量评价内容			分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分
规章制度	遵守操作规范,正确使用工具,保持实训场地清洁卫生,安全操作,无事故			不符合要求,每次扣5分				
测量技能训练评估记录:								
指导教师签字:				日期:				

项目学习测评

1. 说明图 6-13 中的形位公差代号的含义,填写表 6-8。

表 6-8 题 1 表

代号	解释代号含义	公差带形状	代号	解释代号含义	公差带形状
\square 0.03			Ⓢ 0.004		
\parallel 0.05 A			Ⓞ ϕ 0.02 B-C		

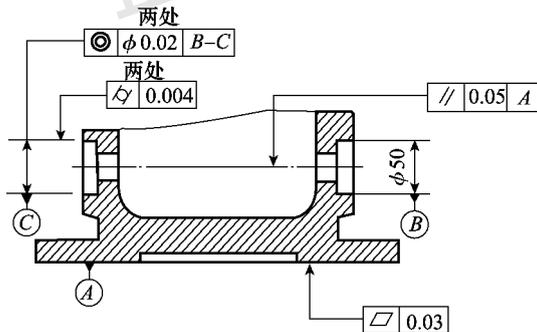


图 6-13 题 1 图

2. 根据箱体类零件的测量方法选择正确答案。

(1) 用“平台测量法”测量同轴度误差时,实际误差值需要经计算才能得到,故属_____。

- A. 直接测量 B. 间接测量 C. 非接触测量 D. 比较测量

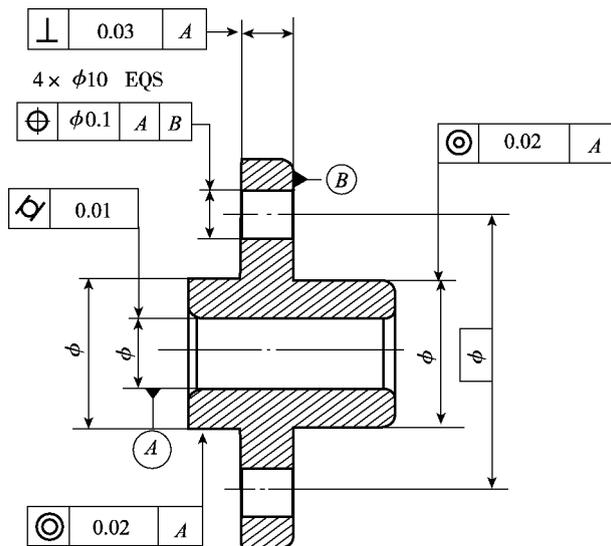


图 6-15 题 5 图

电子工业出版社版权所有
盗版必究

项目七 复杂零件的测量

项目内容引入

复杂零件是指外形轮廓为曲线或曲面的零件,如凸轮、样板、汽轮叶片。由于零件轮廓形状复杂,常规测量较困难。但无论零件的轮廓形状多复杂,都可以将其分解为点、线、面进行处理。本项目主要介绍复杂零件的测量方法和测量项目等相关内容。

项目基础知识

一、复杂零件的基础知识

复杂零件的测量主要涉及曲面、空间几何尺寸与空间形位误差等几何方面的测量,对于曲面几何尺寸的测量,如凸轮、样板的测量,通常采用两种方法:一是使用通用量具直接测量或借助量柱间接测量的机械式接触量法,二是使用光学计、测长仪、工具显微镜、投影仪的量仪测量法。

由于涉及空间测量,因此最常用的空间数字测量技术是坐标测量技术。坐标测量基本原理就是通过探测传感器(探头)与测量空间轴线运动的配合,对被测几何元素进行离散的空间点位置的获取,然后通过一定的数学计算,完成对所测得点(或点群)的分析拟合,最终还原出被测的几何元素,并在此基础上计算其与理论值(名义值)之间的偏差,从而完成对被测零件的检验工作。坐标测量技术中应用较广的是三坐标测量机。

此外,对曲面与曲线的测量有时用扫描测量仪器完成,即采用点云的扫描测量方法完成对曲面的扫描测量工作。这类测量工具还能用于逆向工程应用中形面海量点云数据的快速获取。这样的测量具有更高的效率。

二、复杂零件的测量项目及测量器具的选用

1. 复杂零件的测量项目

- (1) 样板的测量
- (2) 曲面零件的测量
- (3) 非整圆弧的测量

2. 复杂零件的测量方法及器具的选用

(1) 用机械式接触法进行测量

使用通用量具法可选用量块、游标卡尺、指示表等。

(2) 用比较法进行测量

可用光隙法、涂色法。

(3) 用精密测微仪法进行测量

精密测微仪可选用立式光学计、投影仪、万能工具显微镜、三坐标测量机等。



项目测量任务

任务一 样板的测量



学习目标

知识目标

- 熟悉样板的分类和作用,了解其适用范围;
- 了解投影仪的基本结构、原理和作用。
- 掌握样板的测量方法。

技能目标

- 能根据被测零件尺寸大小和精度要求选用相应的测量器具和量仪;
- 学会正确、规范地使用投影仪进行样板的测量,并分析判定被测件是否合格。



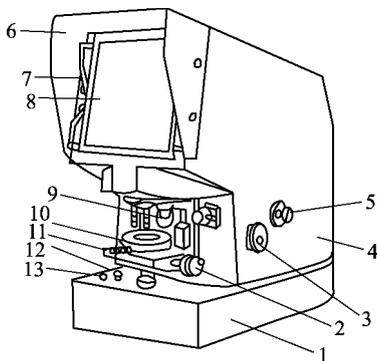
器材准备

被测零件为轮廓样板件,如图 7-1 所示。



图 7-1 轮廓样板件

测量器具为投影仪,如图 7-2 所示。



- 1—底座;2—工作台纵向测微手轮;3—工作台升降手轮;4—壳体;5—反射镜调节手柄;6—遮光罩;7—压图片;
8—投影屏;9—物镜;10—圆形工作台;11—横向测微手柄;12—调节光源亮度手柄;13—开关

图 7-2 投影仪

样板是机械制造中用途较广的一种专用定值计量器具。它常用于批量生产的零件、部件某截面的尺寸或线轮廓形状的检验,也用于轮廓形状复杂、检验困难的单件生产的零件检验。样板的测量对样板的质量起着重要作用,它是样板加工中不可忽略的一项程序,甚至对样板加工工艺起着支配作用。

一、样板的分类

样板按用途可分为测量样板与工艺样板,具体分类如图 7-3 所示。

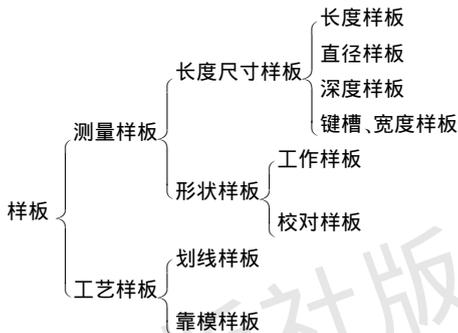


图 7-3 样板的分类

测量样板用于零件和部件的检验。长度尺寸样板结构简单,用于控制被测部位尺寸的两个极限偏差值。形状样板具有复杂的轮廓形状,使用时以光隙法判断被测截面与样板形状的差异。形状样板按用途分为工作样板与校对样板,工作样板在检验产品时使用,校对样板用于校核工作样板或校核刀具。测量样板精度要求较高,制造和检验都较困难。

靠模样板可用于工艺加工过程中的零件加工,也可用于以仿形法测量零件。使用时都以靠模样板工作轮廓作为参考轮廓,因此对其精度要求很高。划线样板用于零件加工过程中的划线工序,划线样板精度要求较低。

二、样板的测量方法

任何产品都要经过检验之后才能确定是否符合技术标准要求,样板同样需要检验。样板的检测方法有三类:划线比较法、机械式接触量法和量仪测量法。

划线比较法适用于形状复杂、尺寸较大而不使用其他测量方法测量的精度较低的热锻模、铸模等样板。

机械式接触量法是利用通用量具如量块、游标量具、指示表等直接测量或借助量柱间接测量的一种方法。机械式接触量法的优点在于测量设备简单。缺点是多数是间接测量,必须通过复杂的几何关系计算获得结果;也由于使用的通用量具的精度不太高,所以测量的精度较低。

量仪测量法就是利用各种计量仪器测量样板。量仪测量法的测量精度高,测量方便,计算简单。测量时使用的量仪有光学计、测长仪、工具显微镜、投影仪等。量仪测量法的使用

受到工厂是否具备这些测量设备的影响。

三、投影仪简介

投影仪的结构如图 7-2 所示。仪器主要由投影屏、壳体和圆形工作台三大部分组成。投影屏包括仪器的成像系统,即物镜和反射镜。圆形工作台旋转机构上的角度分度值为 1° ,角度游标读数值为 $6'$ 。

投影仪的工作原理和工具显微镜基本相同,不同点是投影仪上被测件的影像直接出现在投影屏上,而工具显微镜中的影像要通过目镜才能观察到。

测量训练

一、测量内容、步骤和要求

1. 测量零件图

被测样板零件图如图 7-4 所示。

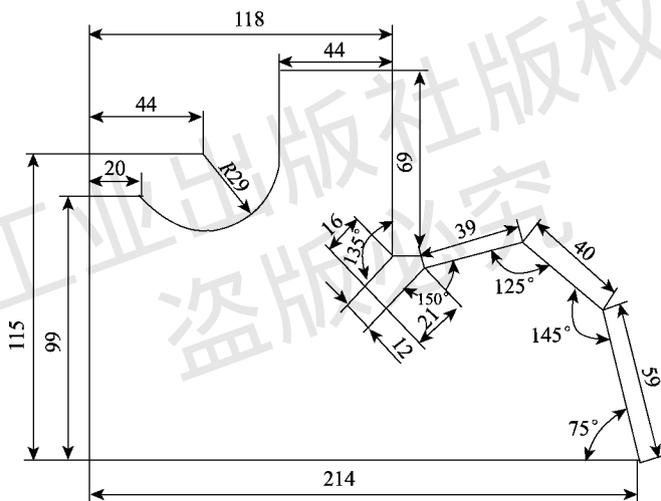


图 7-4 被测样板零件图

2. 测量方法和步骤

- (1) 将被测零件放在工作台上
- (2) 选择物镜

物镜的选择原则与工具显微镜测量时的物镜选择原则基本相同,投影仪的物镜选择应使被测件影像尺寸不超过投影屏尺寸的 80%。在这个原则下,物镜可选高倍率的,常用物镜是 20 倍和 30 倍的。

(3) 调整光源

投影仪对光源灯丝的位置有严格的要求,否则成像质量差,易引起测量误差。调整的具体要求是使投影屏上的亮度尽可能均匀,同时使照明工件的光线尽可能是平行于光轴的平

行光。为了让光源灯丝处于正确的位置上,投影仪上配备了一个可供调节的光源机构。

(4) 根据被测零件的形状、尺寸、数量及测量目的选择测量方法

① 用投影屏上的玻璃刻尺测量。一般的投影仪都带有玻璃刻尺,其分度值为 1mm 和 0.5mm。刻度尺长度随投影屏尺寸而定,一般在 200~600mm 之间,个别可达 1000mm。采用这种测量方法可测量零件上任意两点间的距离。测量时,将玻璃刻尺的刻面贴在投影屏上,使刻尺的零刻线与被测零件影像点之一重合,然后使影像的另一点与刻尺的某一刻线重合,读出此点的数值,除以所用物镜的倍率,就得出零件对应点之间的距离。

② 对于轮廓形状比较复杂的零件或被测尺寸参数较多的零件,可根据被测轮廓或参数按一定比例制作标准的放大的玻璃样板,将它放在投影屏上,与被测零件的轮廓投影放大的影像进行比较测量。在样板上还可绘制公差带,被测零件的轮廓偏差便一目了然,可迅速判断零件是否合格。这种方法使用方便,效率高,非常适用于零件多参数的批量检验。

③ 用工作台做坐标测量。用工作台做坐标测量时,以投影屏的米字线瞄准被测零件,从仪器工作台纵、横测微器读数装置上直接读出工作台的坐标位置,从而求得被测零件的尺寸。这种测量方法的测量精度主要取决于工作台坐标系统的精度,而与投影物镜放大率无关。

(5) 读数并记录数据

注意:

- 仪器室的温度不可突然急剧变化,否则容易产生露点,使仪器的金属表面及镜头表面产生毒雾,进而对表面产生腐蚀。
- 不得用手触摸光学镜头。

3. 填写测量报告单(表 7-1)

表 7-1 测量报告单

被测件名称		计量器具				
测量项目						
测 量 数 据						
测量尺寸	99	214	44	20	75°	150°
仪器 读数	1					
	2					
	3					
测量合格性						
测量日期	201 年 月 日			结论		

二、测量训练评价

学生应能够按照训练步骤和表 7-2 中的评估要求,独立完成计划和实训。评估不合格者可提交申请,允许重新评估。

表 7-2 测量技能训练评估表

学生姓名	班级	学号					
专业	课程	测量项目					
评价方面	测量评价内容		分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分
基础知识	投影仪的工作原理		10				
	样板的种类及作用		5				
	投影仪测量样板的基本操作方法		5				
实训技能	第一阶段: 调节仪器	① 选用与样板相适应的测量仪器	5				
		② 检查角度目镜零位是否对准	5				
	第二阶段: 测量并 记录数据	① 准确测量相关尺寸及角度	15				
		② 准确读数并记录	5				
	第三阶段: 测量数据 分析、处理	① 根据测量读数分析判断	10				
		② 评定此零件尺寸的合格性,完成实验报告,要求字迹清晰	20				
学习态度	① 出勤		5				
	② 纪律		5				
	③ 团队协作精神		5				
	④ 爱护实训设施		5				
规章制度	遵守操作规范,正确使用工具,保持实训场地清洁卫生,安全操作,无事故		不符合要求,每次扣5分				
测量技能训练评估记录:							
指导教师签字:				日期:			



拓展训练

使用工具显微镜测量样板



学习目标

知识目标

- 了解工具显微镜的基本结构、原理和作用;
- 掌握工具显微镜的正确使用方法。

技能目标

- 学会正确、规范地使用工具显微镜进行样板的测量,并判定被测件是否合格。

一、测量训练器具和零件图

测量器具为工具显微镜(图 3-19 和图 3-20)。被测样板零件图如图 7-4 所示。

二、测量内容、步骤和要求

- ① 仔细去除样板上的毛刺。
- ② 调节工具显微镜,在目镜视场里得到清晰的物体轮廓像。
- ③ 将米字线调水平,即角度目镜中为 0° 对 $0'$ 。

④ 如图 7-5 所示,找正 A 面,平行于横向虚线,即 x 方向,并锁紧 x 方向。压线呈镜头①得第一个纵向值即 y 值。移动纵向,使米字横向虚线压线呈镜头②得第二个 y 值,与第一个 y 值进行比较,读数差为样板上尺寸标注为 99 处的实际尺寸。

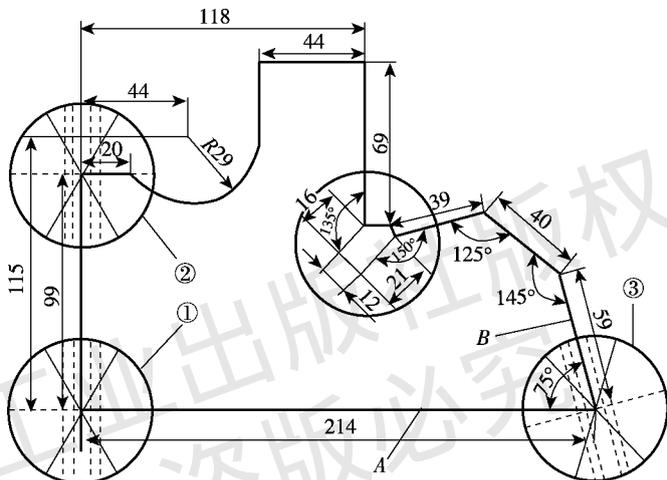


图 7-5 样板测量位置图

- ⑤ 移动米字线中心至 A 面右端点呈镜头③,转动测角目镜,使米字中心线与角度边 B 边压线或平行,转动的角度即为所测量的角度值。
- ⑥ 其他长度和角度尺寸的测量依次类推。
- ⑦ 记录测量数值,并判断样板的合格性。

任务二 曲面零件的测量

学习目标

知识目标

- 了解凸轮的测量原理;
- 掌握光学分度头的正确使用方法。

技能目标

- 能正确安装测量装置;

• 学会测量凸轮,并判定被测件是否合格。



器材准备

被测零件如图 7-6 所示。测量器具如图 7-7、图 7-8 和图 7-9 所示。

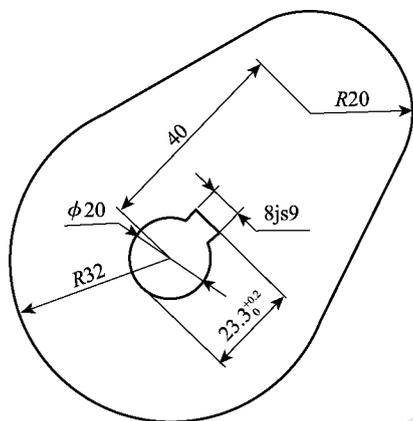


图 7-6 被测凸轮

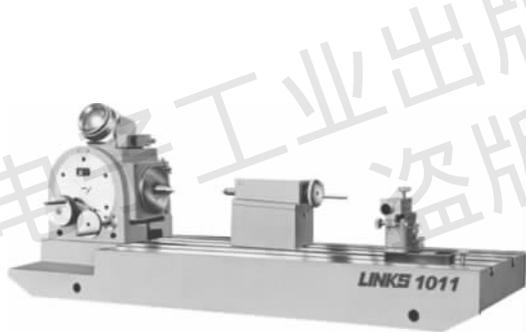


图 7-7 光学分度头



图 7-8 磁性表架



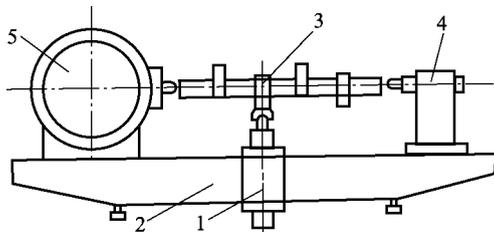
图 7-9 长量程百分表



知识链接

曲面零件中经常接触到的是凸轮。对凸轮轮廓,可用三坐标测量机测量,也可用万能工具显微镜、光学分度头等进行测量。

如图 7-10 所示为凸轮升程测量装置。该装置由光学分度头 5 和安装在万能工具显微镜导轨 2 上的长量程百分表与磁性表架 1 组成,4 为尾座,3 为凸轮轴上的圆盘凸轮。测量时,转动凸轮,在光学分度头的读数显微镜中读取转过的角度值,在长量程百分表上读取相应的升程值。通过数据分析,可获得轮廓的升程。



1—长量程百分表与磁性表架;2—万能工具显微镜导轨;3—圆盘凸轮;4—尾座;5—光学分度头

图 7-10 凸轮升程测量装置



测量训练

一、测量内容、步骤和要求

- ① 采用鸡心夹头将被测凸轮轴装夹在已经调整好的光学分度头顶尖和尾座顶尖之间,指示表引向凸轮,并使表头与凸轮的表面相接触。
- ② 将分度头主轴上的外活动度盘转到零度,再将指示表调零。
- ③ 根据精度要求确定分度角值,在一周内,分度头每转过一个角度,记录从指示表上读取的相应点的数值。
- ④ 进行数据处理并做合格性判断,填写测量报告单(表 7-3)。

表 7-3 测量报告单

被测件名称								计量器具			
测量项目		凸轮转角									
测量尺寸											
仪器 读数	1										
	2										
凸轮转角与升程的关系曲线											
测量合格性											
测量日期		201 年 月 日						结论			

二、测量训练评价

学生应能够按照训练步骤和表 7-4 中的评估要求,独立完成计划和实训。评估不合格者可提交申请,允许重新评估。

表 7-4 测量技能训练评估表

学生姓名	班级	学号					
专业	课程	测量项目					
评价方面	测量评价内容		分值	自我评价	小组评价	教师评价	得分
基础知识	凸轮的测量原理		10				
	正确使用光学分度头的方法		5				
	凸轮升程测量装置		5				
实训技能	第一阶段: 调节仪器	① 选用与被测凸轮相应的测量仪器、仪表	5				
		② 检验指示表的零位是否对准	5				
	第二阶段: 测量并 记录数据	① 根据精度要求确定分度角值并进行准确测量	15				
		② 正确读取读数并准确记录	10				
	第三阶段: 测量数据 分析、处理	① 绘制凸轮转角与升程的关系曲线	10				
		② 评定此零件尺寸的合格性,完成实验报告,要求字迹清晰	15				
学习态度	① 出勤		5				
	② 纪律		5				
	③ 团队协作精神		5				
	④ 爱护实训设施		5				
规章制度	遵守操作规范,正确使用工具,保持实训场地清洁卫生,安全操作,无事故		不符合要求,每次扣5分				
测量技能训练评估记录:							
指导教师签字:				日期:			

任务三 非整圆弧零件的测量

学习目标

知识目标

- 了解光隙法和涂色法;
- 掌握用弓高弦长测量法测量非整圆弧的原理。

技能目标

- 学会根据被测零件合理选择测量方案;
- 学会正确、规范地使用量具进行非整圆弧尺寸的测量,并判定被测零件是否合格。



器材准备

被测零件如图 7-11 所示。

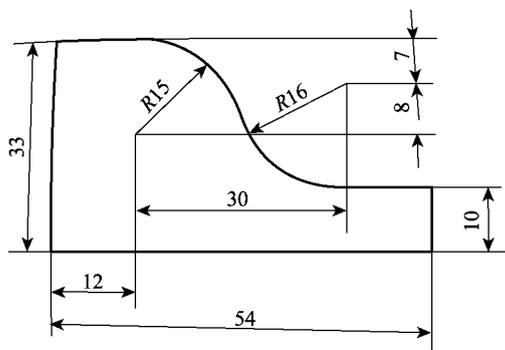


图 7-11 被测非整圆弧零件

测量器具为游标卡尺(图 7-12)和鞍形检具(图 7-13)。



图 7-12 游标卡尺

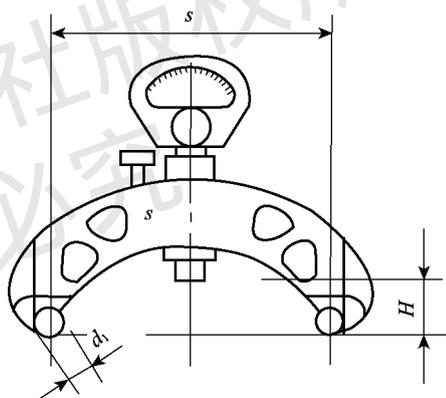


图 7-13 鞍形检具



知识链接

一、非整圆弧的测量方法

1. 光隙法

弧面较短的非整圆弧半径,通常利用标准圆弧样板或标准圆柱进行比较测量。当采用标准圆弧样板测量时,将样板与被检测圆弧拼合,根据光隙的大小和位置来判断被检测圆弧半径是否合格。

2. 涂色法

当利用标准圆柱测量较短圆弧半径时,一般采用涂色法。测量时,在标准圆柱表面涂上

一层极薄(厚度不大于 $2\mu\text{m}$)的红丹粉,然后将标准圆柱与工件内圆弧密合,稍微转动圆柱(转角不大于 30°),根据圆弧面上的接触颜色评定被检测圆弧是否合格。若颜色位于内圆弧的两边,则可判定圆弧的半径小于标准圆柱的半径;反之,则大于标准圆柱的半径。较短外圆弧用样板测量为好。

3. 弓高弦长测量法

弧面较长的非整圆弧半径可用万能工具显微镜或普通计量器具和检验工具通过弓高弦长测量法进行间接测量。测量中分别测出非整圆弧的弓形高度 H 和弓高所在的弦长 L ,然后求出圆弧的半径 R 。

二、常见尺寸的测量原理

1. 用弓高弦长法测量非整圆弧

使用弓高弦长法测量非整圆弧的直径时,可采用两种形式:一种是固定弓高,测量弦长;另一种是固定弦长,测量弓高。这种方法较适用于大直径的圆弧。

(1) 使用游标卡尺测量

① 如图 7-14 所示,使用游标卡尺测量被测圆弧的弦长 s 。

② 根据给定的游标卡尺型号可得知弓高 H ,即量爪棱边至卡尺主尺尺身基面的距离。

③ 获得数据 s 和 H 后,按下式求得圆弧半径 R :

$$2R = \frac{s^2}{4H} + H \quad (7-1)$$

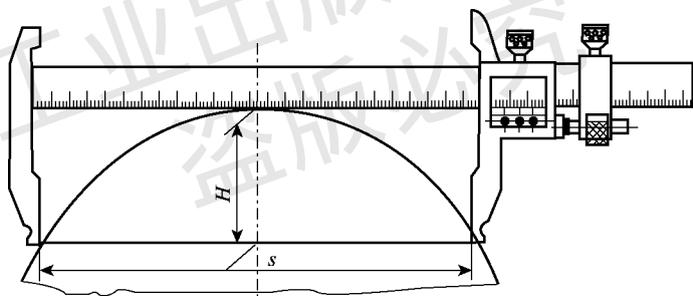


图 7-14 游标卡尺测量原理

(2) 使用鞍形检具测量

① 如图 7-13 所示,使用鞍形检具测量时采用固定弦长、测量弓高的测量形式。测量前,应先在一标准圆柱上将测微表对准零位。

② 测量时,将鞍形检具放在被测圆弧上,测出弓高 H 。获得数据后,按下式求得被测圆弧半径 R :

$$2R = \frac{s^2}{4H} + H - d_1 \quad (7-2)$$

式中, d_1 ——定位圆柱直径。

注意:

弓高弦长测量法只适用于圆弧形状误差较小的圆弧,如车、磨、成型模具研磨等加工的