



现代精密测量实践安全须知

1.1 工程训练中心安全注意事项

工程训练是学校培养具有工程意识、创新意识和工程实践综合能力的高素质人才的重要实践教学环节。作为主动实践、开阔视野的重要环节,学生必须亲自动手操作各种设备和仪器来提高动手能力。为了保障学生实践操作中自身和设备安全,防范事故发生,切实有效降低和控制事故危害,要求学生进入工程训练中心后,必须遵守以下安全规则:

- (1) 禁止携带危险品进入实验室,实验室内禁止吸烟、乱扔杂物;
- (2) 初次进入工程训练场所的人员,应首先学习实验室的安全规章制度,对于不遵守实验室安全规则,明知故犯,造成人身、设备事故者,要严肃处理;
- (3) 进入工程训练场所,不能大声喧哗和打闹,不能戴耳机、听音乐及做其他与实践教学无关的事情;
- (4) 不得将食物带入工程训练场所;
- (5) 工程训练时,不得穿拖鞋、凉鞋、高跟鞋、短裤、背心、裙子等,不得戴保暖厚手套;
- (6) 出现触电或漏电情况时,应先切断电源或拔下电源插头,若来不及切断电源,可用绝缘物体挑开电线。若触电者出现休克现象,应立即进行人工呼吸,同时,拨打“120”急救电话;
- (7) 一旦发生火灾,首先切断火源或电源,尽快使用有效的灭火设施灭火;迅速从安全通道撤离,同时,拨打“119”火灾报警电话;
- (8) 电器插座板切勿接太多插头,以免超负荷引起火灾。

1.2 操作仪器设备安全须知

现代精密测量设备是学生进行工程训练必须操作的对象,操作不当会造成设备损坏甚至导致人身事故。因此,要求参加工程训练的学生务必牢记以下规定:

- (1) 在教师讲解设备操作方法时,或在设备处于待运行状态以及运行过程中,不得随意触摸设备上的任何按键,不得使用或关闭控制设备的计算机;



- (2) 设备运行时,严禁搬动、移动或振动,不得断开电源;
- (3) 操作设备时,不能用湿手接触电器;
- (4) 设备运行过程中,发现设备有异常声音或出现异味等故障时,应及时报告教师或立即停机并切断电源,严禁带故障操作和擅自处理;
- (5) 工作结束时,关掉成形系统电源,关闭计算机,最后关闭设备总电源。



现代精密测量技术概述

2.1 测量技术的发展历程

制造和测量是现代工业不可缺少的部分,尤其在这个越来越追求质量的时代,不能仅会加工产品,更要保证质量,那么如何检测产品质量就成为一项必不可少的技能。近年来,精密测量技术越来越引起企业的密切关注。在高精度加工和质量管理过程中,随着光机电一体化、系统化、集成化技术的快速发展,以及计算机、数字控制、光学影像等技术的应用,精密测量技术得到了迅速发展,相应的各种现代精密测量仪器大量涌现。

1. 古代测量技术

在古代,人类为了测量田地等就已经开始进行长度测量,最初是以手、足等作为长度的单位,但人的手、足大小不一,由于测量单位的随机性造成了测量的不准确,于是便出现了以物体作为测量单位,如公元前 2400 年出现的古埃及腕尺、中国商朝出现的象牙尺和公元 9 年制造的新莽铜卡尺等,如图 2.1 所示。

2. 长度基准

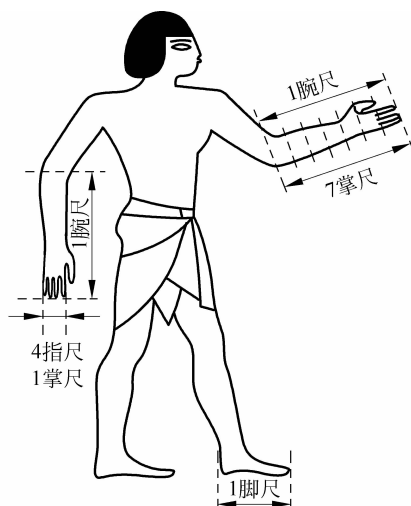
长度单位经历了多次演变后,英国在 1496 年和 1760 年分别开始采用端面和线纹的码基准尺作为长度基准;1789 年法国提出建立米制,1799 年制成阿希夫米尺,如图 2.2 所示。

3. 机械原理的测量技术

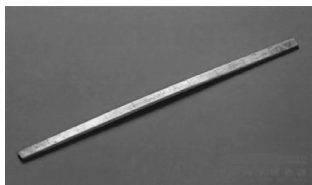
在机械制造业中最早应用的是机械原理测量技术。1631 年开始应用游标细分原理;18 世纪中叶,开始应用螺纹放大原理,常见的机械原理测量工具如图 2.3 所示。机械测长技术迄今仍是工业测量中的基本测量技术之一,且能达到很高的精确度。

4. 光学原理的测量技术

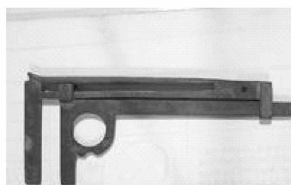
应用光学原理的测量技术也出现得较早,19 世纪末就出现了立式测长仪,20 世纪 20 年



(a) 腕尺



(b) 象牙尺



(c) 新莽铜卡尺

图 2.1 古代测量工具



图 2.2 阿希夫米尺

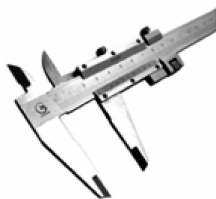


图 2.3 机械测量仪



代前后已应用自准直和光波干涉等原理进行测量,使工业测量进入了非接触测量领域,解决了一些小型复杂形状工件,例如螺纹的几何参数、样板轮廓尺寸和大型工件的直线度、同轴度等形状和位置误差的测量问题。图 2.4 所示为一种常用的自准直仪。

5. 气动原理的测量技术

气动原理的测量技术是在 20 世纪 20 年代后期发展起来的,其测量效率高,对环境条件要求不高,适宜在车间使用,但其示值范围小,阻碍了它的发展,常用的气动测量仪如图 2.5 所示。

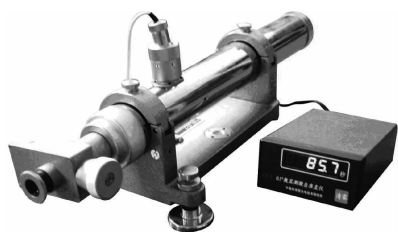


图 2.4 自准直仪



图 2.5 气动测量仪

6. 电学原理的测量技术

应用电学原理的测量技术是在 20 世纪 30 年代初期发展起来的,首先出现的是应用电感原理的测微仪,如图 2.6 所示;后来由于电子技术的发展,电学原理的测长技术发展很快,可以把微小误差放大到 100 万倍,也就是说 $0.01\mu\text{m}$ 的误差可以 10mm 的刻度间隔表示出来,并且电子线路还能实现各种演算和自动测量。



图 2.6 测微仪

7. 现代测量技术

20 世纪 60 年代中期以后,随着计算机技术的出现,现代测量逐渐引入了计算机技术。计算机具有自动修正误差、自动控制和高速数据处理的功能,为高精度、自动化和高效率测量开辟了新的途径。现代测量技术已经发展成为精密机械、光、电和计算机等技术相结合的综合性技术,典型的精密测量仪器如激光干涉仪、三坐标测量机、三维扫描仪等。

2.2 测量技术的发展趋势

随着非接触、高效率、高精度测量仪器设备的大量出现,专家们预计,21 世纪现代精密测量技术的主要发展方向如下:

- (1) 新技术和新的测量原理的应用,如图像处理技术、遥感技术等,在精密测量仪器中将得到推广和普及;
- (2) 测量精度由微米级向纳米级发展,进一步提高测量分辨能力,如芯片测量精度可达 $1\sim 10\text{nm}$;
- (3) 由点测量向面测量过渡,提高整体测量精度和测量速度,即由长度的精密测量扩展至形状的精密测量;
- (4) 测量方式多样化,即针对同一个被测对象,可以采用不同的测量仪器对其不同的测

量部位进行测量；

(5) 测量仪器设备正逐步向小型化、集成化、便捷化等方向发展；

(6) 随着标准化体系的确立和测量不确定度的数值化,将有效提高测量的可靠性。

总之,测量技术正在向高精度化、高速化和高效率化方向发展,因此,非接触测量和高效率测量也就必然成为 21 世纪现代精密测量技术的重要发展方向。

2.3 测量技术的基本知识

2.3.1 测量基本概念

1. 计量学相关术语

计量学是有关测量知识的一门学科,采用的术语主要包括:测量,测试,检验,检定,比对。

(1) 测量:用实验的方法,把被测量与同性质的标准量进行比较,确定被测量与标准量的比值,从而得到被测量的量值。

(2) 测试:具有试验性质的测量,也可理解为试验和测量的全过程。

(3) 检验:判断被测物理量是否合格,通常不要求测出具体值,检验的主要对象是工件。

(4) 检定:为评定计量器具是否符合法定要求所进行的全部工作,包括检查、加标记和出具检定证书,检定的主要对象是计量器具。

(5) 比对:在规定的条件下,对相同不确定度等级的同类基准、标准或工作用计量器具之间的量值进行比较的过程。

2. 测量过程

一个完整的测量过程应包含四个要素:测量对象、测量单位、测量方法(含测量器具)和测量精度。

1) 测量对象

测量对象是指测量过程需要检测的物理量。按照被测参数随时间的变化关系可分为:静态参数、动态参数。按照物理学分类可分为:长度、力学、热学、电磁、无线电、时间频率、化学、声学、放射性和光学参数。本书主要介绍机械制造中涉及参数的精密测量,如,长度、角度、表面粗糙度、形位误差以及螺纹、齿轮的各个几何参数等,如图 2.7 所示。

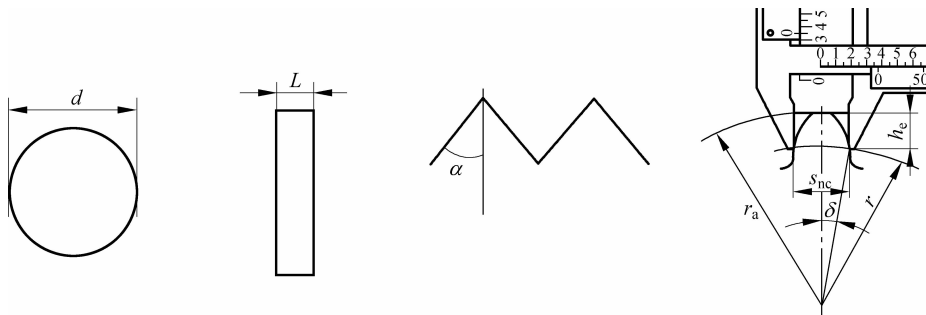


图 2.7 被测对象

2) 测量单位

全球普遍采用的测量单位制是国际单位制,即公制(也称为米制),其基本的长度单位为: m(米),在机械制造中常用的单位为 mm(毫米),角度单位为 rad(弧度)。

3) 测量方法

测量方法是根据一定的测量原理,在实施测量过程中对测量原理的运用及其实际操作,广义的测量方法可以理解为测量原理、测量器具和测量条件的总和。

在实施测量过程中,应该根据被测对象的特点(如材料硬度、外形尺寸、生产批量、制造精度、测量目的等)和被测参数的定义来拟定测量方案,选择合适的测量器具,规定测量条件,合理地获得可靠的测量结果。

4) 测量精度(不确定度)

测量精度表示测量结果与真值的一致程度。不考虑测量精度而得到的测量结果是没有任何意义的。每一个测量值都应给出相应的测量误差范围,说明其可信度。

2.3.2 测量方法分类及选择原则

测量方法是四要素之一中的核心部分,下面介绍其分类及选择原则。

1. 测量方法的分类

1) 直接测量和间接测量

按照被测量是否为直接测的量,可将测量方法分为直接测量和间接测量。

直接测量是将被测对象与已知标准直接比较,从而得出所需的测量结果,是最常用的测量方法,又可以分为绝对测量和相对测量。例如,用游标卡尺、外径千分尺测量外圆直径,用比较仪测量长度尺寸等。

间接测量是指直接测量与被测对象相关的量,然后通过一定的函数关系,经过计算后获得被测量的值。例如测量大型工件外径时,可以采用测量周长,再经过计算求出直径的方法。间接测量常在直接测量不方便,或间接测量的结果较直接测量更为准确,或缺少直接测量的仪器时使用。

2) 主动测量和被动测量

按照测量技术在机械制造工艺过程中所起的作用,可将测量方法分为主动测量和被动测量。

主动测量是把加工过程中的测量结果直接用于控制加工过程以得到合格工件的测量,属于加工过程中的测量,也称为积极测量。

被动测量是指其测量结果不可直接用于控制加工精度的测量,属于加工完成后的测量,也称为线外测量或消极测量。

3) 接触测量和非接触测量

按照被测对象与测量器具之间是否有机作用力的测量力,可将测量方法分为接触测量与非接触测量。

接触测量是指被测对象与测量器具有直接接触,并有机作用力的测量力存在,接触形式有点接触、线接触及面接触。例如用游标卡尺测量零件轴径值等。

非接触测量是指被测对象与测量器具没有机械作用的测量力存在,利用光学、气动等瞄

准定位方法进行测量,测量器具的瞄准定位部分或测头等不与被测对象相接触。例如用光切显微镜测量表面粗糙度、用激光扫描法测量外径和用气动测头测量直径等。

4) 静态测量和动态测量

按照测量过程中被测对象与测量器具之间是否存在相对运动,可将测量方法分为静态测量和动态测量。

静态测量是指测量过程中被测对象与测量器具处于相对静止的状态,被测参数恒定不变。

动态测量是指测量过程中被测对象与测量器具处于相对运动的状态,被测参数随时间变化,例如用表面粗糙度仪测量平面粗糙度。

5) 单项测量和综合测量

按照被测对象需要同时测得的被测量的数量多少,可将测量方法分为单项测量和综合测量。

单项测量是分别测量被测对象的几何参数,例如分别测量螺纹的中径、半角、螺距、齿形、周节和齿向等;分别测量齿轮的齿厚、齿形、齿距等。

综合测量是将各有关参数折合成某一当量或综合测量各有关参数,例如用螺纹量规检验螺纹折合中径、用齿轮单面啮合检查仪测量齿轮切向综合误差等。

单项测量是分别确定每一被测量的误差;综合测量则是一种模拟实际使用情况的测量方法,测量结果能较真实地反映使用质量,测量效率高,适用于检验工件合格性。

2. 测量方法的选择原则

正确的测量结果依赖于测量方法和测量仪器的正确选择、正确操作和测量数据的正确处理,其中测量方法的选择原则主要考虑以下因素。

1) 被测对象本身的特性

被测对象的特性包括其大小、形状、重量、材料、批量及精度要求等。

例如:对于一般中小尺寸工件,可放在仪器上测量,特大尺寸应考虑将量仪放在工件上进行测量;过软材料应采用非接触式测量;大批量测量可考虑设计专用测量夹具。

2) 测量精度的要求

不考虑测量精度而得到的测量结果是没有任何意义的。由于测量会受到许多因素的影响,其过程总是不完善的,即任何测量都不可能没有误差,因此对于每一个测量值都应给出相应的测量误差范围,说明其可信度。根据测量精度的要求选择最适合的测量器具。

3) 测量环境的要求

测量环境是指测量时的外界条件,如温度、湿度、气压、振动、气流、灰尘、腐蚀气体等。根据被测对象的精度要求相应地配置测量环境:

- (1) 被测量与标准量线胀系数相差越大,误差越大,尽量实现二者等温处理;
- (2) 被测量与标准量温度相差越大,误差越大,尽量采用恒温测量;
- (3) 室内的相对湿度应控制在 50%~60%,配置湿度调节装置;
- (4) 应避免外界振动产生的影响,应有防振措施,例如防振沟的设置;
- (5) 应注意防尘和防腐蚀气体等,保持测量室的密封性。

4) 测量定位基准的确定

被测对象定位尽量做到测量基准与设计、工艺基面相统一,这是减小测量误差的有效手段。

2.3.3 测量技术的基本原则

测量技术领域归纳出来的一些基本原则及原理,对于测量方法的具体实施具有指导性的意义,下面就其中几项重要原则具体描述如下。

1. 最小变形原则

定义:最小变形原则是指被测对象与测量器具之间的相对变形最小,主要包括热变形(受测量温度影响)和弹性变形(受测量力影响)。

方法:可以通过对测量温度进行控制,并保证被测对象与测量器具等温等措施减小热变形;通过增加测量系统刚性、减小测量力、采用非接触式测量或者比较测量的方式减小弹性变形。

2. 基准统一原则

定义:基准统一原则是指设计、装配、工艺、测量等基准原则上应该一致。

方法:设计时应选装配基准为设计基准;加工时应以设计基准为工艺基准;测量时应按测量目的选择基准;验收测量时应以装配基准为测量基准。当基准改变时,测量精度需相应提高。

3. 阿贝测长原则

定义:阿贝测长原则是指在长度测量中,将被测量与标准量沿同一直线排列,即采用串联排列形式。

方法:遵守该原则可以减小测量时测量装置(工作台)移动方向不正确产生的误差,即可以显著减小由导轨直线度误差所引起的测量误差,典型的测量仪器有阿贝比长仪、阿贝立式测长仪、阿贝卧式测长仪等。

4. 圆周封闭原则

定义:圆周封闭原则是指同一圆周上所有分度夹角之和等于 360° ,或同一圆周上所有夹角误差之和等于零。

方法:根据封闭特性,对于圆周封闭类零件,在没有更高精度的分度基准器件的情况下,采用“自检”也能达到高精度测量的目的。

5. 测量公差原则

定义:测量公差原则是用以判别被测参数是否符合所规定的公差要求时,测量方法及其测量精度应适合公差的规定。

方法:测量或检验方法应符合公差规定,比如最大实体尺寸和最小实体尺寸;测量精度要与公差要求相适应,即极限测量误差所占公差比例随着工件公差等级高低及工件尺寸

大小确定,一般为 $1/10 \sim 1/20$ 。

2.3.4 常用计量器具

计量器具是测量仪器和测量工具的统称,通常按其结构特点、测量原理及用途可以分为四类:基准量具、极限量规、计量仪器和计量装置。

1. 基准量具

测量中体现标准量的量具,称为基准量具。其中体现固定值的标准量具为定值基准量具,没有可动的结构,不具有放大功能,如米尺、钢板尺、量块、直角尺、多面棱体等;体现一定范围内各种量值的标准量为变值基准量具,如钢皮尺、刻线尺、量角器,以及常用的千分尺、游标卡尺等,如图 2.8 所示。

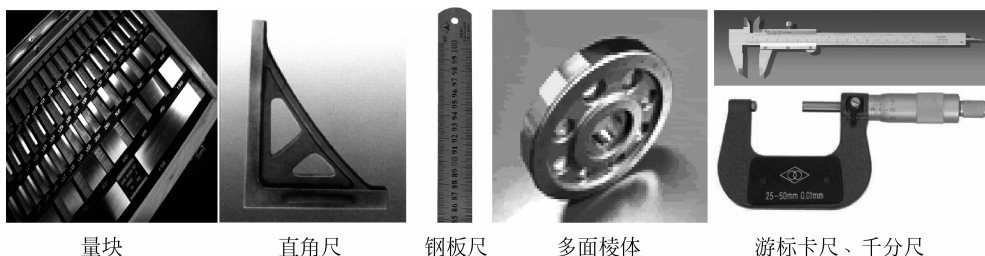


图 2.8 基准量具

2. 极限量规

极限量规指没有刻度的专用计量器具,用以检验零件尺寸、形状或者相互位置,其特点是只能判定被检验工件是否合格,不能得到工件的具体数值,如图 2.9 所示。



图 2.9 极限量规

3. 计量仪器

计量仪器是指能将被测几何量的量值转换成可直接观测的示值或者等效信息的测量器具,按原始信号转换的原理可分为以下几种。

1) 机械式量仪

机械式量仪是用机械方法实现原始信号转换的量仪,即被测量的变化使得测头产生相