

第二章 公差与配合

孔与轴的结合是机器中应用最广的基本结合形式。为了满足互换性的要求，必须制订出孔、轴的尺寸公差及配合松紧程度的配合标准。本章介绍尺寸公差与配合的基本概念，孔、轴公差带的大小和位置，公差与配合的应用。

第一节 基本术语及定义

一、尺寸

(一)基本尺寸

基本尺寸是设计给定的尺寸。孔的基本尺寸以 D 表示，轴的基本尺寸以 d 表示。

基本尺寸是在设计中，根据强度、刚度、结构、工艺等多种因素确定的，然后再标准化。

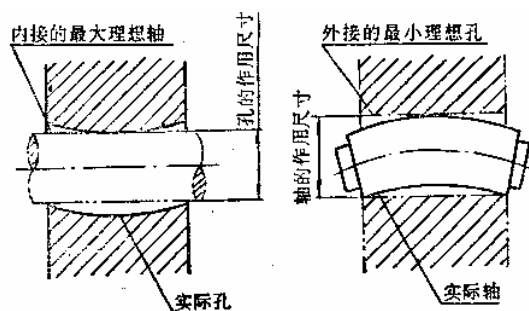
基本尺寸是计算偏差、极限尺寸的起始尺寸。它只表示尺寸的基本大小，并不是在实际加工中要求得到的尺寸。

(二)实际尺寸

实际尺寸是通过测量得到的尺寸。孔的实际尺寸以 D_a 表示，轴的实际尺寸以 d_a 表示。

实际尺寸不是孔或轴的真实尺寸，因为在测量时存在测量仪器本身的误差、测量方法产生的误差、温差产生的误差等。同时由于形状误差的影响，零件同一表面各个部位的实际尺寸也是不完全相同的，可通过多处测量确定实际尺寸。

(三)作用尺寸



在配合面的全长上，与实际孔内接的最大理想轴的尺寸，称为孔的作用尺寸，以 D_m 表示。在配合面的全长上，与实际轴外接的最小理想孔的尺寸，称为轴的作用尺寸以 d_m 表示，参看图 2—1。

作用尺寸是根据孔、轴的实际形状定义的理想参数。

图 2—1 孔或轴的作用尺

寸 同一批各个零件的孔、轴的作用尺寸是不同的，因为各个孔、轴的实际形状是不同的，但某一个实际孔、轴的实际形状是确定的，作用尺寸是唯一的。

由图 2—1 可知，当被测孔、轴存在形状误差时，孔的作用尺寸总是小于实际尺寸 ($D_m < D_a$)；轴的作用尺寸总是大于实际尺寸 ($d_m > d_a$)。只有在孔的作用尺寸大于轴的作用尺寸 ($D_m > d_m$) 时，两者才能自由装配。

(四)极限尺寸

极限尺寸是允许尺寸变化的界限制。一般规定两个界限制，其中较大的称为最大极限尺寸，较小的称为最小极限尺寸。极限尺寸是根据零件的使用要求确定的，它可能大于、等于或小于基本尺寸。

孔的最大极限尺寸以 D_{max} 表示，最小极限尺寸 D_{min} 以表示；轴的最大极限尺寸以 d_{max} 表示，最小极限尺寸以 d_{min} 表示。

对于孔，其作用尺寸应不小于最小极限尺寸，其实际尺寸应不大于最大极限尺寸，即 $D_m \geq D_{min}$ ； $D_a \leq D_{max}$ 。

对于轴，其作用尺寸应不大于最大极限尺寸，其实际尺寸应不小于最小极限尺寸，即

$d_m \leq d_{max}$; $d_a \geq d_{min}$ 。

由此可知，只有作用尺寸和实际尺寸都在极限尺寸范围之内，零件才是合格的，才能保证互换性要求。

二、偏差

偏差是某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。偏差为代数差，可以为正值、负值或零，在进行计算时，必须带有正、负号，如图 2—2 所示。

(一) 实际偏差

实际偏差是实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

孔的实际偏差以 E_a 表示，

$$E_a = D_a - D;$$

轴的实际偏差以 e_a 表示，

$$e_a = d_a - d。$$

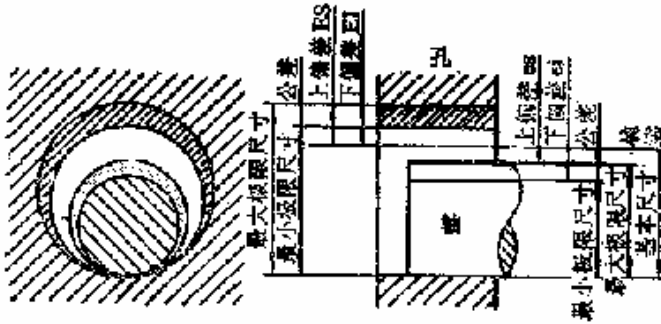


图 2—2 偏差计算

(二) 极限偏差

极限偏差分为上偏差和下偏差。

上偏差是最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

孔的上偏差以 ES 表示， $ES = D_{max} - D$;

轴的上偏差以 es 表示， $es = d_{max} - d$ 。

下偏差是最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

孔的下偏差以 EI 表示， $EI = D_{min} - D$;

轴的下偏差以 ei 表示， $ei = d_{min} - d$ 。

极限偏差是设计者根据实际需要确定的。

三、公差及公差带

(一) 公差

公差是允许尺寸的变动量。

公差表示一批零件尺寸允许变动的范围，这个范围大小的数量值就是公差，所以它是绝对值，不是代数值，零公差，负公差的说法都是错误的。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值，可用公式表示为：

$$\text{孔的公差以 } T_D \text{ 表示， } T_D = |D_{max} - D_{min}| = |ES - EI|;$$

$$\text{轴的公差以 } T_d \text{ 表示， } T_d = |d_{max} - d_{min}| = |es - ei|。$$

公差的大小表示对零件加工精度高低的要求，并不能根据公差的大小去判断零件尺寸是否合格。上、下偏差表示每个零件实际偏差大小变动的界限，是代数值，是判断零件尺寸是否合格的依据，与零件加工精度的要求无关，但是，上、下偏差之差的绝对值(公差)是与精度有关。公差是误差的允许值，是由设计确定的，不能通过实际测量得到。

(二) 公差带

公差带是由代表两极限偏差或两极限尺寸的两平行直线所限定的区域。取基本尺寸为

零线(零偏差线),用适当的比例画出以两极限偏差表示的公差带,称为公差带图,如图2—3所示。在公差带图中,零线水平放置,取零线以上为正偏差,零线以下为负偏差。偏差以微米(μm)为单位。公差带的大小取决于公差的大小,公差大的公差带宽,公差小的公差带窄;公差带相对于零线的位置取决于某一极限偏差。公差和极限偏差的大小都是根据使用性能由设计确定的。

四、配合

基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系,称为配合。在孔与轴的配合中,孔的尺寸减去轴的尺寸所得之代数差,此差值为正时是间隙,以 X 表示,为负时是过盈,以 Y 表示,见图2—4,图2—5,图2—6。

根据相互结合的孔、轴公差带的不同相对位置关系,可把配合分为间隙配合、过盈配合、过渡配合三种。

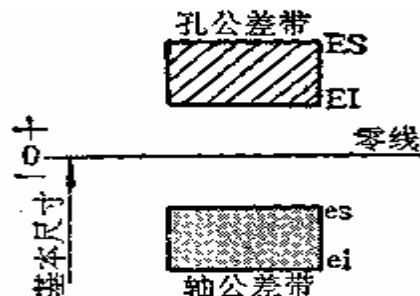


图 2—3 公差带图

(一) 间隙配合

间隙配合是具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合。孔的公差带必定在轴的公差带之上,见图2—4。

一批相配合的孔、轴的实际尺寸是不同的,装配后间隙也是不同的。当孔为最大极限尺寸、轴为最小极限尺寸时,装配后会有最大间隙,以 X_{max} 表示;当孔为最小极限尺寸、轴为最大极限尺寸时,装配后会有最小间隙,以 X_{min} 表示。二者可用下列公式表示:

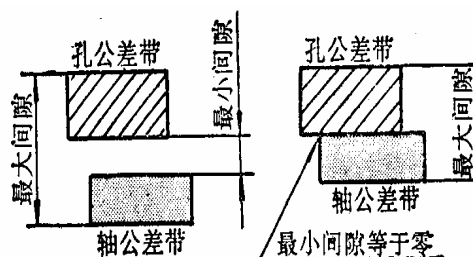


图 2—4 间隙配合

$$X_{\text{max}} = D_{\text{max}} - d_{\text{min}} = ES - ei$$

$$X_{\text{min}} = D_{\text{max}} - d_{\text{max}} = EI - es$$

(二) 过盈配合

过盈配合是具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合。孔的公差带必定在轴的公差带之下,见图2—5。同样,一批相互配合的孔、轴的实际尺寸是变化的,每一对装配后的过盈也是变化的。当孔为最

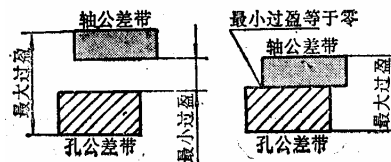


图 2—5 过盈配合

大极限尺寸、轴为最小极限尺寸时,装配后会有最

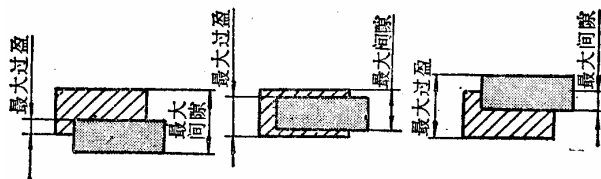
小过盈,用 Y_{min} 表示;当孔为最小极限尺寸、轴为最大极限尺寸时,装配后会有最大过盈,用 Y_{max} 表示。

综合以上两种配合可得:

$$D_{\text{max}} - d_{\text{min}} = ES - ei \quad \text{代数差为正时是 } X_{\text{max}}, \text{ 为负时是 } Y_{\text{min}};$$

$$D_{\text{min}} - d_{\text{max}} = EI - es \quad \text{代数差为正时是 } X_{\text{min}}, \text{ 为负时是 } Y_{\text{max}}.$$

(三) 过渡配合



过渡配合是可能具有间隙或过盈的配合。孔与轴的公差带相互交叠，如图 2—6 所示。过渡配合介于间隙配合与过盈配合之间。某对孔、轴装配后，不是有间隙，就是有过盈，绝不会又有间隙又有过盈。过渡配合的计算同过盈配合。

图 2—6

过渡配合

第二节 公差与配合的应用

公差与配合的应用，就是如何经济地满足使用要求，确定相配合孔、轴公差带的大小和位置，即选择基准制、公差等级、配合种类。

一、基准制的选择

基准制的选择与使用要求无关，不管选择基孔制还是基轴制，都可达到预期的目的，实现配合性质。但从工艺的经济性和结构的合理性考虑问题，对中、小尺寸应优先选用基孔制。因为基准孔的极限偏差是一定的，可用较少数量的刀具和量具(钻头、铰刀、拉刀、塞规等)；配合轴的极限偏差虽然很多，但可用一把车刀和砂轮加工，比较经济。反之若选用基轴制，就需要配备很大数量价值昂贵的钻头、铰刀、拉刀、塞规等刀具和量具，所以选用基孔制可取得明显的经济效果。基轴制只有在同标准件(滚动轴承等)配合或结构上的特殊要求等情况下选用。

二、公差等级的选择

确定公差等级应综合考虑各种因素，如果选择公差等级过高，当然可以满足使用要求，但加工难度大，成本高。选择公差等级过低，加工容易，成本低，未必能保证使用要求。所以，公差等级的选择应在满足使用要求的前提下，尽量选用较低的公差等级。保证产品质量，满足使用要求是选择时应首先考虑的因素，然后再考虑如何能更经济，选择比较合适的、尽量低的公差等级。一般情况采用类比法选择公差等级。

三、配合种类的选择

配合种类的选择，实质上是确定孔、轴配合应具有一定的间隙或过盈，满足使用要求，保证机器正常工作。当基准制、公差等级确定后，基准孔或基准轴的公差带就确定了，关键就是选择配合件公差带的位置，即选择配合件的基本偏差代号。

选择配合件的基本偏差代号一般采用类比法，根据使用要求，工作条件，首先确定配合的类别。对于工作时具有相对运动或虽无相对运动却要求装拆方便的孔、轴，应该选用间隙配合；对于主要靠过盈保持相对静止或传递载荷的孔、轴，应该选用过盈配合；对于既要求对中性高，又要求装拆方便的孔、轴，应该选用过渡配合。

在满足实际生产需要和考虑生产发展需要的前提下，为了尽可能减少加工零件的刀具，量具和工艺装备的品种及规格，在常用尺寸标准中规定了优先、常用和一般用途的轴公差带(图 2—7)，圆圈中的轴公差带为优先的，方框中的轴公差带为常用的。在常用尺寸标准中还规定了优先、常用和一般用途的孔公差带(图 2—8)，圆圈中的孔公差带为优先的，方框中的孔公差带为常用的。选择配合件基本偏差时应注意按优先、常用、一般的顺序选取。

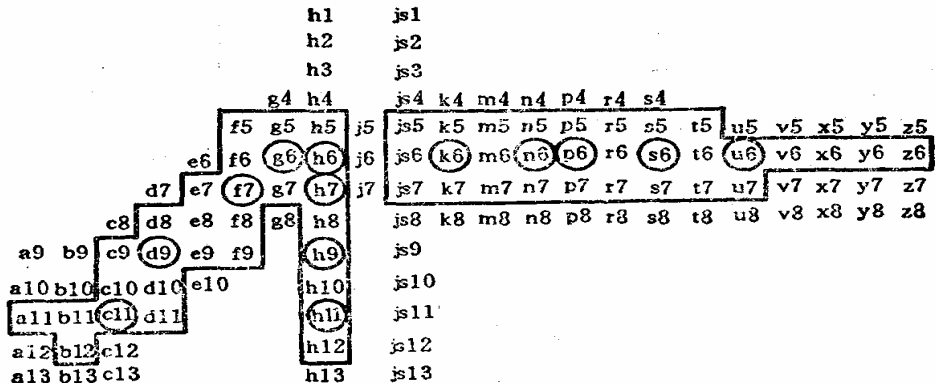


图 2—7 优先、常用和一般用途的轴公差带 (尺寸≤500mm)

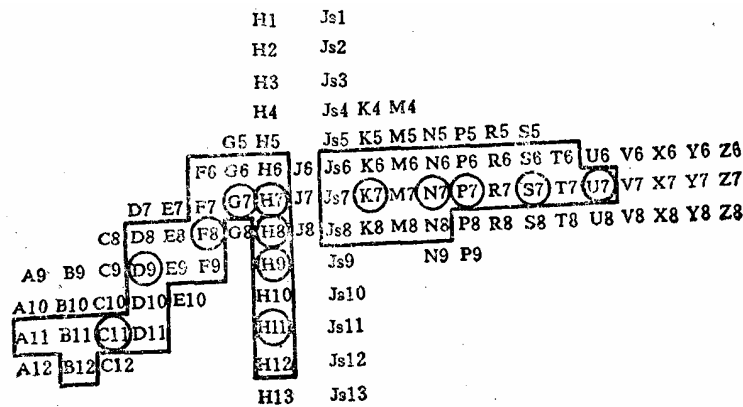


图 2—8 优先、常用和一般用途的孔公差带 (尺寸≤500mm)

第三节 长度测量基础

一、测量与检验的概念

要实现互换性,除了合理地规定公差外,还需要在加工过程中,进行正确的测量或检验,只有测量或检验合格的零件,才具有互换性。

“测量”是指确定被测对象量值为目的的全部操作。实质上是将被测几何量与作为计量单位的标准量进行比较,从而确定被测几何量是计量单位的倍数或分数的过程。一个完整的测量过程应包括被测对象、计量单位、测量方法(指测量时采用的方法、计量器具和测量条件的综合)和测量精度等四个方面。

“检验”是指为确定被测几何量是否在规定的极限范围之内,从而判断是否合格,不一定得出具体的量值。

测量技术包括“测量”和“检验”。对测量技术的基本要求是:合理地选用计量器具与测量方法,保证一定的测量精度,具有高的测量效率,低的测量成本,通过测量分析零件的加工工艺,积极采取预防措施,避免废品的产生。

二、计量器具和计量方法的分类

(一) 计量器具的分类

计量器具按结构特点可分为量具、量规、量仪和计量装置等四类。

1. 量具

量具是指以固定形式复现量值的计量器具，分单值量具和多值量具两种。单值量具是指复现几何量的单个量值的量具，如量块、直角尺等。多值量具是指复现一定范围内的一系列不同量值的量具。

2. 量规

量规是指没有刻度的专用计量器具，用以检验零件要素实际尺寸和形位误差的综合结果。检验结果只能判断被测几何量合格与否，而不能获得被测几何量的具体数值，如用光滑极限量规、位置量规和螺纹量规等检验工件。

3. 量仪

量仪是指能将被测几何量的量值转换成可直接观测的指示值(示值)或等效信息的计量器具。按原始信号转换原理，量仪分为机械式量仪、光学式量仪、电动式量仪和气动式量仪等几种。

(1)机械式量仪 机械式量仪是指用机械方法实现原始信号转换的量仪，如指示表、杠杆比较仪和扭簧比较仪等。这种量仪结构简单、性能稳定、使用方便。

(2)光学式量仪 光学式量仪是指用光学方法实现原始信号转换的量仪，如光学比较仪、测长仪、工具显微镜、光学分度头、干涉仪等。这种量仪精度高、性能稳定。

(3)电动式量仪 电动式量仪是指将原始信号转换为电量形式信息的量仪，如电感比较仪、电容比较仪、电动轮廓仪、圆度仪等。这种量仪精度高、易于实现数据自动处理和显示，还可实现计算机辅助测量和自动化。

(4)气动式量仪 气动式量仪是指以压缩空气为介质，通过气动系统流量或压力的变化来实现原始信号转换的量仪，如水柱式气动量仪、浮标式气动量仪等。这种量仪结构简单，可进行远距离测量，也可对难于用其它转换原理测量的部位(如深孔部位)进行测量，但示值范围小，对不同的被测参数需要不同的测头。

4. 计量装置

计量装置是指为确定被测几何量量值所必需的计量器具和辅助设备的总体。它能够测量较多的几何量和较复杂的零件，有助于实现检测自动化或半自动化，如连杆、滚动轴承的零件可用计量装置来测量。

(二) 测量方法的分类

测量方法可以从不同角度进行分类。

1. 按所测的几何量是否为欲测的几何量分类

(1)直接测量 不必测量与被测量有函数关系的其它量，而能直接得到被测量值的测量。

(2)间接测量 通过测量与被测量有函数关系的其它量，才能得到被测量值的测量方法。

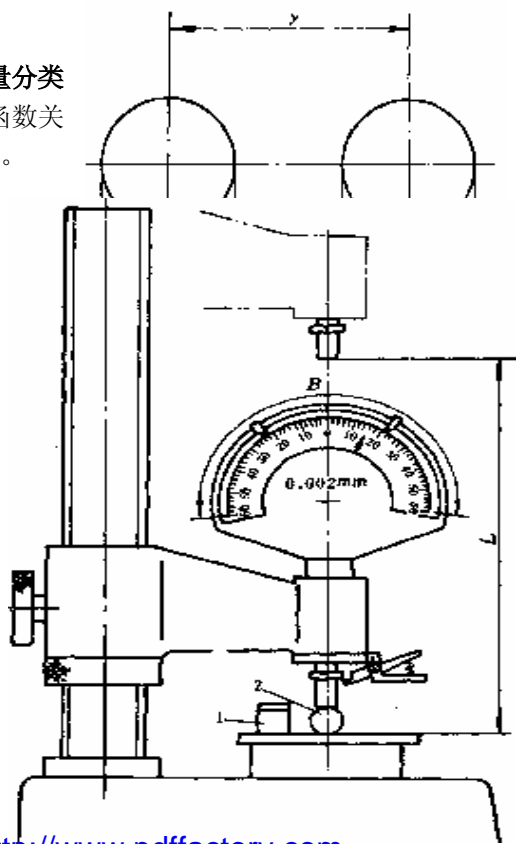
例如如图2—9所示，对孔心距 y 的测量，是用游标卡尺测出 x_1 值和 x_2 值，然后按下式求出 y 值：

$$y = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

图2—9 间接测量孔心距

为了减少测量误差，一般都采用直接测量，必要时可采用间接测量。

2. 按示值是否为被测几何量的整个量



值分

(1) 绝对测量 计量器具显示或指示的示值是被测几何量的整个量值。例如用游标卡尺、千分尺测量轴径或孔径。

(2) 微差测量(比较测量) 将被测量与同它只有微小差别的已知同种量相比较, 通过测量这两个量值间的差值以确定被测量值的测量方法。例如, 如图 2—10 所示的机械比较仪测量轴径, 测量时先用量块调整零位, 该比较仪指示出的示值为被测轴径相对于量块尺寸的微差。

3. 按测量时被测表面与计量器具的测头是否接触分类

(1) 接触测量 测量时计量器具的测与被测表面接触, 并有机械作用的测量力。

图 2—10 机械比较仪部分计量参数

例如, 用机械比较仪测量轴径。

1—量块 2—被测工件

(2) 非接触测量 测量时计量器具的测头不与被测表面接触。例如, 用光切显微镜测量表面粗糙度。

接触测量会引起被测表面和计量器具有关部分产生弹性变形, 因而影响测量精度。非接触测量则无此影响。

4. 按工件上同时测量被测几何量的多少分类

(1) 单项测量 对工件上每一几何量分别进行测量。例如, 用工具显微镜分别测量螺纹单一中径、螺距和牙型半角的实际值, 并分别判断它们各自是否合格。

(2) 综合测量(综合检验) 同时测量工件上几个有关几何量的综合结果, 以判断综合结果是否合格, 而不要求知道有关单项值。例如, 用螺纹通规检验螺纹单一中径、螺距和牙型半角实际值的综合结果(作用中径)是否合格。

就工件整体来说, 单项测量的效率比综合测量低。单项测量便于进行工艺分析。综合测量适用于只要求判断合格与否, 而不需要得到具体的误差值的场合。

5. 按测量在加工过程中所起的作用分类

(1) 主动测量 在工件加工的同时, 对被测几何量进行测量。其测量结果可直接用以控制加工过程, 及时防止废品的产生。

(2) 被动测量 在工件加工完毕后对被测几何量进行测量。其测量结果仅限于通过合格品和发现并剔除不合格品。

主动测量常应用在生产线上, 使检验与加工过程紧密结合, 充分发挥检测的作用。因此, 它是检测技术发展的方向。

6. 静态测量与动态测量

(1) 静态测量 是指在测量过程中, 计量器具的测头与被测零件处于静止状态, 被测量的量值是固定的。

(2) 动态测量 是指在测量过程中, 计量器具的测头与被测零件处于相对运动状态, 被测量的量值是变化的。例如用圆度仪测量圆度误差, 用电动轮廓仪测量表面粗糙度等。

三、测量误差

(一) 什么是误差

所谓误差就是实际测得值与被测量的真值之间的差。若对某量的测得值为 a , 该量的真值为 x , 则误差 δ 为

$$\delta = a - x$$

测量过程中, 误差的发生和存在是绝对的, 客观的, 没有误差则是相对的。绝对的准确是没有的, 不存在的。严格来说, 任何量的真值都是不可知的。因此, 真值 x 通常用高一级的计量标准器具所测得的量值或用一系列等精度测量结果的算术平均值 L 来代替, 从而

$$\delta = a - L。$$

(二) 测量误差的种类

测量误差按性质可分为三类。

1. 系统误差 在同一条件下, 多次测量同一量值时, 数值和符号保持不变或按一定规律变化的误差, 称为系统误差。系统误差影响测量结果的准确性, 它的存在歪曲了测量结果的真面目, 所以应对其进行修正或予以消除。

系统误差分定值系统误差和变值系统误差。定值系统误差是指绝对值和符号固定不变的系统误差。如外径千分尺校对棒的误差, 天平两臂不等的误差, 刻度尺在某范围内的误差均属此类。变值系统误差是指绝对值和符号按一定的规律变化着的误差, 如刻度盘偏心误差。

2. 随机误差(偶然误差) 在同一条件下, 多次测量同一量值时, 数值和符号以不可预定的方式变化着的误差, 称为随机误差。也就是说, 这类误差数值的大小和符号的正负, 具有偶然性, 不能事先知道, 所以也称偶然误差。随机误差就某一次来说是不可捉摸的, 可大可小, 可正可负, 但经过多次重复测量, 就可找到它的统计规律。随机误差服从正态分布。它影响测量结果的精密性。随机误差是不能从测量过程中把它消除的。百分表测杆与轴套配合的间隙所产生的误差为随机误差。

应该指出, 在进行误差合成时, 随机误差和系统误差是可以互相转化的。某些系统误差也可按随机误差处理。如线纹尺的刻线误差为随机误差, 但用以测量其他工件时, 线纹尺的刻线误差为被测件的系统误差。也可把不易掌握的具有复杂规律的系统误差看作随机误差。也把某些虽可掌握但过于复杂的系统误差按随机误差处理。

3. 粗大误差 超出在规定条件下预计的误差为粗大误差。它是由操作者疏忽大意或客观条件突然剧变所造成的。如读错、写错, 小数点点错, 或突然的振动等造成的测量误差。粗大误差也称疏忽误差, 它严重歪曲测量结果, 在测量中是不允许存在的。

误差按本身因次(单位)可分为:

1. 绝对误差 Δ 测量结果和被测量真值之间的差为绝对误差。绝对误差是指以被测量的因次(单位)表示的误差。如测量 100m 这个距离的绝对误差为 1m, 测量 200m 这个距离的绝对误差也是 1m, 这说明这两个测量的绝对误差相等。现在要问这两个测量那个精度高一些呢?显然从绝对误差的数值上看是难以回答这个问题的。为此引入相对误差的概念。

2. 相对误差 E 相对误差是测量的绝对误差 Δ 与被测量的真值 x 之比。即相对误差是一个比值, 它没有单位。

$$E = \frac{\Delta}{X} \times 100\%$$

由于真值 x 是不可知的, 故用一系列测量结果的算术平均值 L 来代替。

$$E = \frac{\Delta}{L} \times 100\%$$

显然, E 是远小于 1 的数值, 如上例

$$E_1 = \frac{1}{100} \times 100\% = 1\%$$

$$E_2 = \frac{1}{200} \times 100\% = 0.5\%$$

显见, 后者的测量精度高于前者。

第四节 形状和位置公差

一、形位公差的基本概念

（一）几何要素

构成零件几何特征的点、线、面称为要素。要素是形状和位置公差的研究对象，如图 2—11 所示，零件的要素有：球心、锥顶、圆柱和圆锥的素线、轴线、端面、球面、圆锥面、圆柱面等。可从不同角度对要素进行分类。

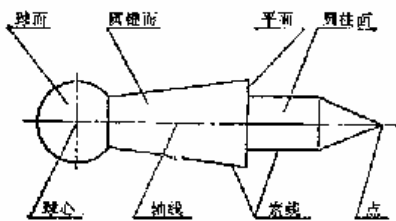


图 2—11 几何要素

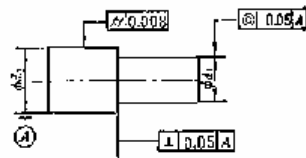


图 2—12 基准要素

按结构特征分类：

1. **轮廓要素** 构成零件外形的、能直接为人们所感觉到的点、线、面要素称为轮廓要素，如图 2—11 中的球面、圆锥面、圆柱面、端面、圆柱面素线、圆锥面素线、锥顶等。

2. **中心要素** 对称要素的中心点、线、面或回转表面的轴线称为中心要素。中心要素虽然也是客观存在的要素，但不能为人们直接所感觉，必须通过分析后才能说明它的存在，如圆心、轴线、球心等。

按在形状和位置公差中所处的地位分类：

1. **被测要素** 图样上给出了形状或（和）位置公差的要素称为被测要素，它是检测的对象。被测要素又可分为单一要素和关联要素。

（1）单一要素 它是仅对其本身给出形状公差要求的要素。

（2）关联要素 它是与其它要素有功能关系的要素，即给出位置公差的要素。

如图 2—12 所示， ϕd_2 的圆柱面是被测要素，给出了圆柱度公差要求，故为单一要素； ϕd_1 圆柱的轴线相对于 ϕd_2 圆柱的轴线有同轴的功能要求， ϕd_2 圆柱的台肩面相对于 ϕd_2 圆柱的轴线有垂直的功能要求，都给出位置公差，则 ϕd_1 圆柱的轴线和 ϕd_2 圆柱的台肩都是被测关联要素。

2. **基准要素** 它是用来确定被测要素的方向或（和）位置的要素。图 2—12 中， ϕd_1 的轴线应与 ϕd_2 的轴线同轴， ϕd_2 的台肩应与 ϕd_2 的轴线垂直， ϕd_2 的轴线为基准要素。

理想基准要素简称基准。按存在的状态分类：

（1）实际要素 它是零件上实际存在的要素，通常以测得的要素来代替。由于测量时有误差，所以，测得的要素并不是实际要素的真实情况。

（2）理想要素 它是具有几何学意义的要素，即图样设计给定的，不存在任何误差的要素。

（二）形位公差的项目

形位公差是被测实际要素对其理想要素允许的最大变动量。

形位公差带是限制被测实际要素变动的区域。就是被测的实际要素应在给定的公差带内，否则是不合格。形位公差带有一定的大小、形状、方向和位置。

1. 形位公差带的大小用形位公差值 t 确定，它表示了公差带的宽度或直径，如图 2—13 所示的 t 、 ϕt 。

2. 形位公差带的形状取决于被测要素的特征和设计要求。在给定平面内公差带的形状有两平行直线、两等距曲线、两同心圆、一个圆；在空间公差带的形状有一个球、两平行平面，两等距曲面、两同轴圆柱、一个四棱柱、一个圆柱，参看图 2—13。

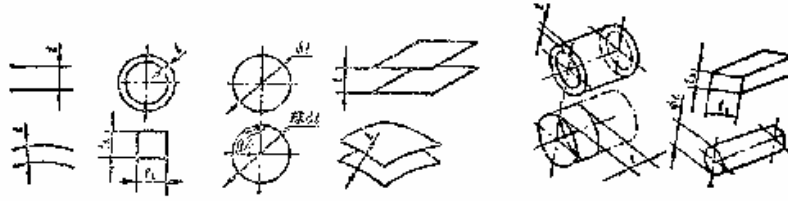


图 2—13 形位公差带

3. 公差带的方向即公差带放置的方向, 由被测要素与基准的几何关系(垂直、平行或倾斜任一个角度)确定。一般称只能确定公差带的方向, 不能确定公差带位置的为浮动公差带。

4. 公差带的位置有确定的和浮动的。

形位公差的项目和代号由表 2—1 列出。

表 2—1 形状和位置公差项目和符号

分类	项 目	符 号	分 类	项 目	符 号
形 状 公 差	直 线 度	—	位 置 公 差	平 行 度	//
	平 面 度	□		垂 直 度	⊥
	圆 度	○		倾 斜 度	∠
	圆 柱 度	⊘		同 轴 度	◎
	线 轮 廓 度	⌒		对 称 度	≡
	面 轮 廓 度	⌒		位 置 度	⊕
跳 动			圆 跳 动	/	
			全 跳 动	U	

(三) 有关基准的基本概念

基准是用来确定被测要素的理想方向或位置的, 直接关系到位置误差的大小, 所以, 基准在位置公差中是十分重要的。

1. 基准和基准实际要素

基准是理想的要素, 它是确定要素间几何关系的依据。根据几何特征有基准点, 基准直线、基准平面。

基准实际要素是指零件上起基准作用的实际存在的要素, 例如零件上的某一平表面、孔表面等。

图样上所标注的基准都是理想的要素, 是设计给定的, 该要素不应有任何形状误差。然而加工出来的基准实际要素都有形状误差, 不能直接做为基准使用, 可通过某一种方法根据基准实际要素来确定基准。

2. 基准的三种类型

(1)单一基准 是仅由一个要素构成的基准。如图 2—12 中只有一个基准轴线 A, 标注时只用一个字母注在框格第三格内。

(2)组合基准 是由两个或两个以上的要素构成而做为单一基准使用的一组要素。如图 2

—14 中, C、D 两要素构成的组合基准(公共基准轴线、公共基准平面)。可用两个字母间加“—”注在框格第三格内。

(3)三基面体系 是由三个相互垂直的基准平面组成的基准体系。如图 2—15 中, 三个相互垂直的基准平面 A、B、C 组成三基面体系。可选定对被测要素的使用要求影响最大的为第一基准面; 次之为第二基准面; 影响最小的为第三基准面。可按这样的顺序将基准字母注在框格内。三个基准平面是确定和测量零件上各要素几何关系的起点。在实际应用中, 三基面体系也可用一轴线与其垂直的一个平面所组成, 基准轴线可看成是两个互相垂直的基准平面的交线。

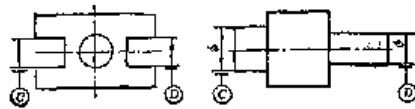


图 2—14 组合基准

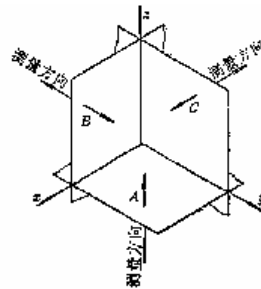


图 2—15 三基面体系

3. 基准代号

基准代号由基准符号、圆圈、连线和字母组成, 如图 2—12 所示。无论基准代号在图样上的方向如何, 圆圈内的字母都应水平书写。基准代号的字母应与公差框格第三格及以后各格内填写的字母相同, 基准代号的字母不得采用 E、I、J、M、O 和 P。

二、形状公差及公差带

形状公差是单一实际被测要素对其理想要素的允许变动量。形状公差包括直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度、面轮廓度六个项目, 除了有基准要求的线轮廓度、面轮廓度外, 其它均是对单一要素的要求。

形状公差带是限制单一实际被测要素变动的区域。

(一) 直线度

直线度是限制实际直线对理想直线变动量的一项指标。直线度可分为: 给定平面的直线度、给定方向上的直线度、任意方向上的直线度。

1. 给定平面的直线

图 2—16 表示圆柱表面上任一素线的直线度公差为 0.02mm, 其公差带是在通过轴线的任一平面内, 距离为公差值 $t=0.02\text{mm}$ 的两平行直线之间的区域, 实际圆柱表面上的任一素线必须位于此区域之内才是合格的。

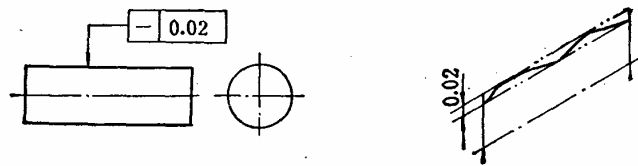


图 2—16 给定平面的直线度公差

2. 给定方向上的直线度

(1) 给定一个方向上的直线度

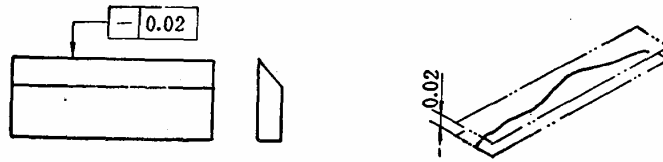


图 2—17 给定方向上的直线度公差

图 2—17 表示刀口尺的棱线在箭头所指方向上的直线度公差为 0.02mm，垂直箭头所示方向，距离为公差值 $t=0.02\text{mm}$ 的两平行平面之间的区域。

(2) 给定互相垂直的两个方向的直线度

图 2—18 表示三棱尺的棱线在给定水平和垂直两个方向上的直线度公差分别为 0.2mm 及 0.1 mm，其公差带是水平方向距离为公差值 0.2mm，垂直方向距离为公差值 0.1mm 的四棱柱。

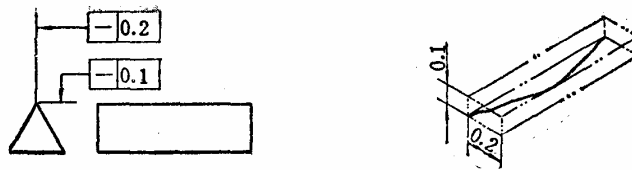


图 2—18 给定互相垂直的两个方向的直线度公差

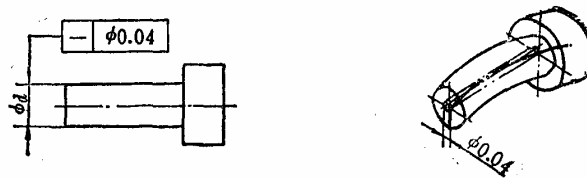


图 2—19 任意方向上的直线度公差

3. 任意方向上的直线度

图 2—19 表示 ϕd 圆柱面的轴线必须位于直径为公差值 0.04 的圆柱面内，其公差带是直径为公差值 $t=0.04\text{mm}$ 的圆柱面内的区域。

标注直线度时，指引线箭头应指向公差带宽度方向或直径。

(二) 平面度

平面度是限制实际表面对理想平面变动量的一项指标。它的公差带仅有一种形式，如图 2—20，该图表示被测平面的平面度公差值为 $t=0.1\text{mm}$ ，其公差带是距离为 0.1mm 的两平行平面的区域。

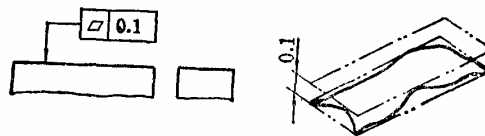


图 2—20 平面度

(三) 圆度

圆度是限制实际圆对理想圆变动量的一项指标。图 2—21 表示在垂直于轴线的任一正截面上，该圆必须位于半径差为公差值 0.02mm 的两同心圆之间，其公差带是在同一正截面上半径差为公差值 $t=0.02\text{mm}$ 的两同心圆之间的区域，两同心圆的圆心由截圆的实际轮廓确定。标注时，箭头应指向轴线、圆心和球心。

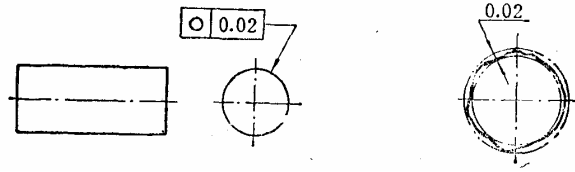


图 2—21 圆度

(四) 圆柱度

圆柱度是限制实际圆柱面对理想圆柱面变动量的一项指标。图 2—22 表示圆柱面必须位于半径差为公差值 0.05mm 的两同轴圆柱面之间，其公差带是半径差为公差值 $t=0.05\text{mm}$ 的两同轴圆柱面之间的区域。

圆柱度是一项综合指标，它控制了圆柱体横截面和轴截面内的各项指标，如圆度、素线的直线度等。对于高精度的零件如机床主轴轴颈、液压阀等可用此项目来控制形状。

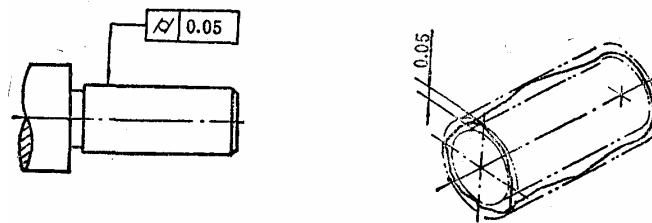


图 2—22 圆柱度

标注时，箭头应垂直轴线指向轮廓。

直线度、平面度、圆度和圆柱度的特点是不涉及基准，其公差带没有方向或位置的约束，可以浮动，且构成公差带几何图形的理想要素都不涉及尺寸。

(五) 线轮廓度

线轮廓度是对非圆曲线形状的要求，是限制实际曲线对理想曲线变动量的一项指标。图 2—23 表示在平行于正投影面的任一剖面上，实际轮廓线必须位于包络一系列直径为公差值 0.04mm，且圆心在理想轮廓线上的圆的两包络线之间，理想轮廓线由理论正确尺寸确定。其公差带是包络一系列直径为公差值 $t=0.04\text{mm}$ 的圆的两包络线之间的区域，诸圆圆心应位于理想轮廓上。

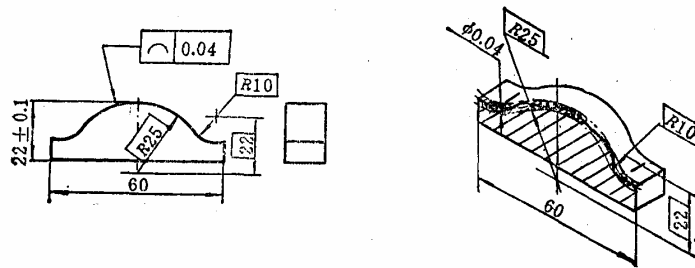


图 2—23 线轮廓度

理论正确尺寸是确定理想被测要素的形状、方向和位置的尺寸。在图样上，理论正确尺寸用不注公差的带框数字表示。理论正确尺寸包括长度尺寸(线值)和角度尺寸(角值)。

(六) 面轮廓度

面轮廓度是对曲面形状的要求，是限制实际曲面对理想曲面变动量的一项指标。图 2—24 表示实际轮廓面必须位于包络一系列球的两包络面之间；诸球的直径为公差值 0.02mm，且球心在理想轮廓面上。其公差带是包络一系列直径为公差值 $t=0.02\text{mm}$ 的球的两包络面之

间，诸球球心应位于理想轮廓面上。

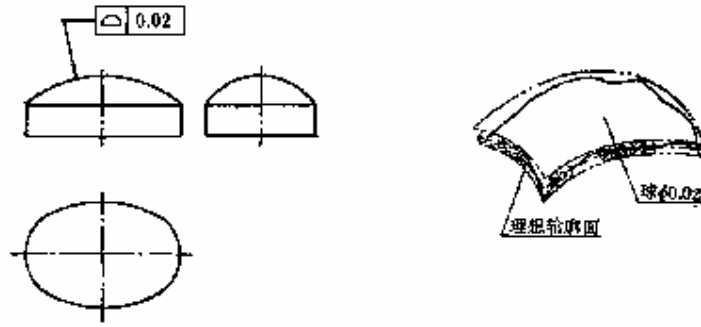


图 2—24 面轮廓度

三、位置公差及公差带

位置公差是关联实际被测要素对其具有确定方向或位置的理想要素的允许变动量。位置公差分为定向公差、定位公差和跳动公差。

(一) 定向公差

定向公差是关联实际被测要素对其具有确定方向的理想要素的允许变动量。理想要素的方向由基准及理论正确尺寸(角度)确定。定向公差包括平行度、垂直度和倾斜度。

定向公差的三个项目的被测要素和基准要素有直线和平面之分，因此有被测直线相对于基准直线(线对线)、被测直线相对于基准平面(线对面)、被测平面相对于基准直线(面对线)和被测平面相对于基准平面(面对面)等四种形式。其三个项目的典型公差带如图 2—25，图 2—26，图 2—27 所示。

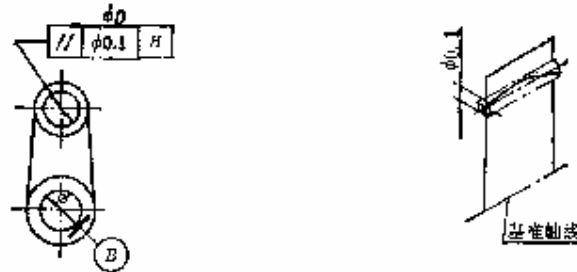


图 2—25 平行度

1. 平行度

平行度是限制被测实际要素对基准在平行方向上变动量的一项指标。图 2—25 所示为直线对直线任意方向上的平行度，表示了 ϕD 的轴线必须位于直径为公差值 0.1mm，且平行于基准轴线的圆柱面内。其公差带是平行于基准轴线、直径为公差值 $t=0.1\text{mm}$ 的圆柱面内的区域。

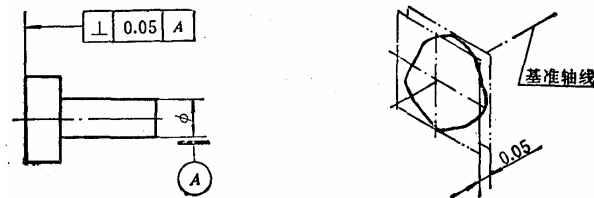


图 2—26 垂直度

2. 垂直度

垂直度是限制被测实际要素对基准在垂直方向上变动量的一项指标。图 2—26 所示为平面对直线的垂直度，表示了端面必须位于距离为公差值 0.05mm，且垂直于基准轴线的两平行平面之间。其公差带是在垂直于基准轴线，距离为公差值 $t=0.05\text{mm}$ 的两平行平面之间的区域。

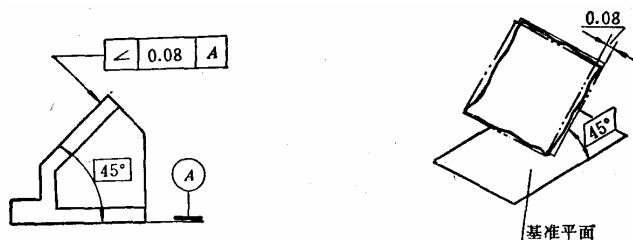


图 2—27 倾斜度

3. 倾斜度

倾斜度是限制被测实际要素对基准在倾斜方向上变动量的一项指标。图 2—27 所示为平面对平面的倾斜度，表示了被测斜平面必须位于距离为公差值 0.08mm，且与基准平面成 45° 角的两平行平面之间。其公差带是距离为公差值 $t=0.08\text{mm}$ ，且与基准平面保持给定角度值 45° 角的两平行平面之间的区域。

平行度、垂直度可以看成是倾斜度的特殊情况，只是前者理论正确角度为 0° ，后者为 90° 。

定向公差带有以下特点：1) 定向公差带相对于基准有确定的方向：平行度相对于基准保持平行；垂直度相对于基准保持垂直；倾斜度相对于基准倾斜—理论正确角度。并且在相对于基准保持定向的条件下，公差带的位置可以浮动。2) 定向公差可以控制与其有关的形状误差，如直线的平行度公差可以控制该直线的直线度误差；平面的倾斜度公差可以控制该平面的平面度和直线度误差。所以，规定了定向公差的被测要素，一般不再规定形状公差。

(二) 定位公差

定位公差是关联实际被测要素对其具有确定位置的理想要素的允许变动量，理想要素的位置由基准及理论正确尺寸确定。定位公差包括同轴度、对称度和位置度。

定位公差项目中的同轴度只涉及轴线；对称度涉及的有直线和平面；位置度涉及要素包括点、线、面。其三个项目的典型公差带如图 2—28、图 2—29、图 2—30 所示。

1. 同轴度

同轴度是限制被测轴线偏离基准轴线的一项指标。图 2—28 表示 ϕd 的轴线必须位于直径为公差值 0.1mm，且与公共基准轴线 A-B 同轴的圆柱面内。其公差带是直径为公差值 $t=0.1\text{mm}$ ，且与基准轴线同轴的圆柱面内的区域。

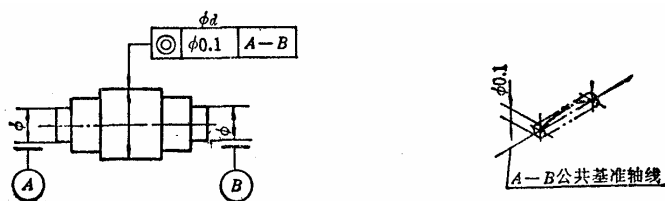


图 2—28 同轴度

2. 对称度

对称度是限制被测线、面偏离基准直线、平面的一项指标。对称度要求被测要素与基准要素共线或共面。图 2—29 表示键槽的中心平面必须位于距离为公差值 0.1mm 的两平行平面之间，该两平面对称配置在通过基准轴线的辅助平面两侧。其公差带是距离为公差值 $t=$

0.1mm，且相对于基准轴线对称配置的两平行平面之间的区域。

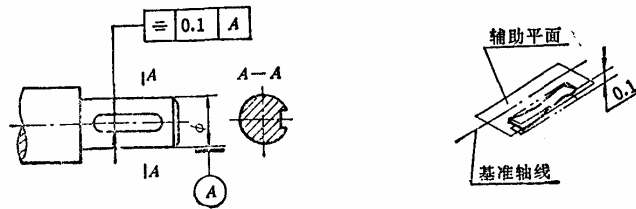


图 2—29 对称度

3. 位置度

位置度是限制被测要素实际位置对理想位置变动量的一项指标。位置度可分为点、线、面的位置度。图 2—30 表示 ϕD 的轴线必须位于直径为公差值 0.1mm，且以相对基准 A、B、C 所确定的理想位置为轴线的圆柱面内。其公差带是直径为公差值 $t=0.1\text{mm}$ ，且以线的理想位置为轴线的圆柱面内的区域。

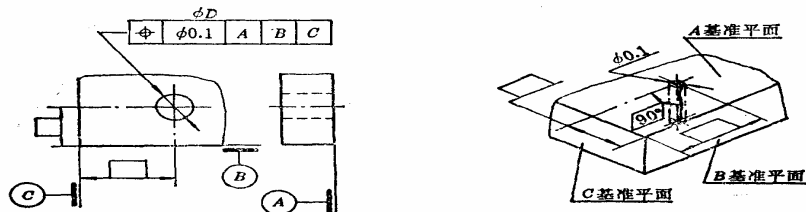


图 2—30 位置度

定位公差带具有以下特点：1)定位公差带具有确定的位置，相对于基准的尺寸为理论正确尺寸。同轴度、对称度公差带的特点为被测要素与基准要素重合，公差带相对于基准位置的理论正确尺寸为零。2)定位公差带具有综合控制被测要素位置、方向和形状的职能。如图 2—30 中所示线的位置度，控制了轴线的直线度、垂直度、平行度等。所以，在保证功能要求的前提下，对被测要素给定了定位公差，一般不必再给出定向和形状公差。

(三) 跳动公差

跳动公差是关联实际被测要素绕基准轴回转一周或连续回转时所允许的最大跳动量。跳动公差分为圆跳动和全跳动。

1. 圆跳动

圆跳动是限制一个圆要素的形状和位置变动量的综合指标。圆跳动分为径向圆跳动、端面圆跳动和斜向圆跳动三种。

(1)径向圆跳动 如图 2—31 表示 ϕd 圆柱面绕基准轴线作无轴向移动回转时，在任一测量平面内的径向跳动量不得大于公差值 0.05mm。公差带是在垂直于基准轴线的任一测量平面内，半径差为公差值 $t=0.05\text{mm}$ ，且圆心在基准轴线上的两个同心圆之间的区域。

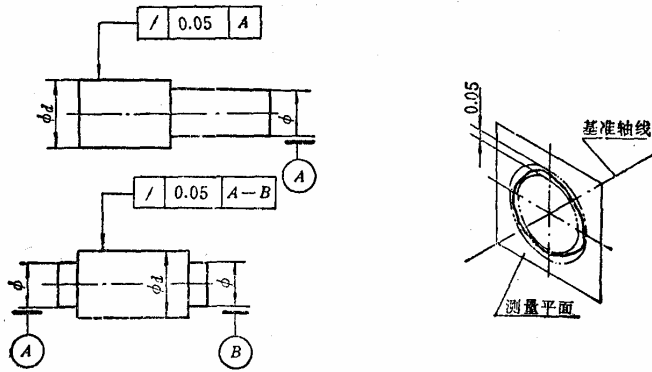


图 2—31 径向圆跳动

(2)端面圆跳动 如图 2—32 表示当零件绕基准轴线作无轴向移动回转时,在左端面上测量直径处的轴向跳动量均不得大于公差值 0.05mm。其公差带是在与基准轴线同轴的任一直径位置的测量圆柱面上沿母线方向宽度为 $t=0.05\text{mm}$ 的圆柱面区域。

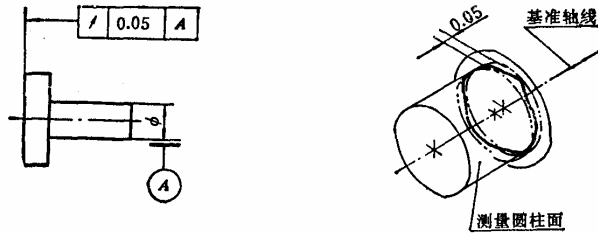


图 2—32 端面圆跳动

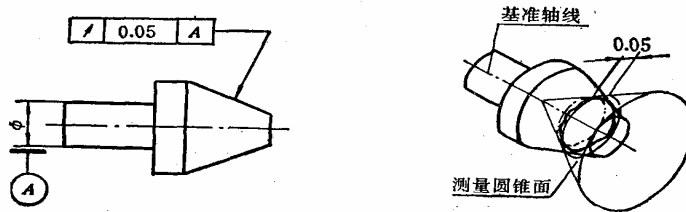


图 2—33 斜向圆跳动

(3)斜向圆跳动 如图 2—33 表示圆锥表面绕基准轴线作无轴向移动回转时,在任一测量圆锥面上的跳动量均不得大于公差值 0.05mm。其公差带是在与基准轴线同轴的任一测量圆锥面上,沿母线方向宽度为 $t=0.05\text{mm}$ 的圆锥面区域,除特殊规定外,其测量方向是被测面的法线方向。

三种圆跳动公差带的圆心或轴线必须在基准轴上,但其半径大小可随被测实际轮廓位置的不同而变动。

2. 全跳动

全跳动是限制一个圆柱要素的形状和位置变动量的一项综合指标,分为径向全跳动和端面全跳动。

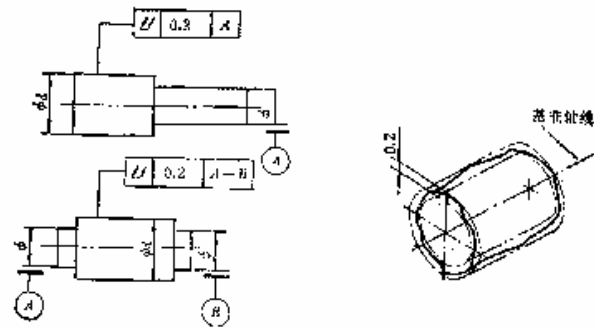


图 2—34 径向全跳动

(1)径向全跳动 如图 2—34 表示 ϕd 表面绕基准轴线作无轴向移动连续回转，同时，指示器作平行于基准轴线的直线移动。在 ϕd 整个表面上的跳动量不得大于公差值 0.2mm。其公差带是半径差为公差值 $t=0.2\text{mm}$ ，且与基准轴线同轴的两圆柱面之间的区域。

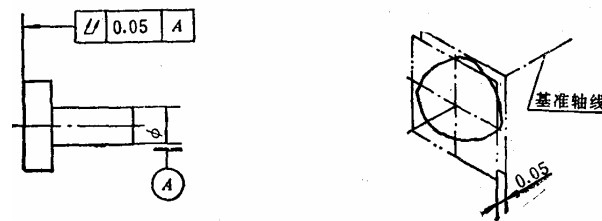


图 2—35 端面全跳动

(2)端面全跳动 如图 2—35 表示端面绕基准轴线作无轴向移动连续回转，同时，指示器作垂直于基准轴线的直线移动。此时，在整个端面上的跳动量不得大于 0.05mm。其公差带是距离为公差值 $t=0.05\text{mm}$ ，且与基准轴线垂直的两平行平面之间的区域。

全跳动公差是一项综合控制形位公差的指标。径向全跳动可控制素线的直线度、圆度、圆柱度、同轴度、径向圆跳动等；端面全跳动可控制平面度、垂直度、端面圆跳动等。而且检测直观、方便，所以，很有使用价值。

四、形位公差的选用

对形位公差有一般要求的不必在图样上注出形位公差值；凡是用一般机械加工方法能保证的形位公差要求，形位公差值也可不在图样上注明，称为未注公差，即形位公差标准中公差等级为 9~12 级者，虽可不在图样上注出，但还是有形位公差要求的，其形位公差可按 GB1184—80 未注形位公差的规定来确定。要求在图样上给定形位公差时，则应选择和确定形位公差的项目、基准、公差数值等。

(一) 公差项目的选择

对形位公差等级要求比较高的 1~8 级，应注明形位公差值。具体选择时，可从以下几个方面考虑：

1. 零件的几何特征 例如圆柱零件会产生圆柱度误差；加工后有平面的零件将存在平面度误差；凸轮类的零件会有轮廓度误差；阶梯孔、轴会有同轴度误差等。

2. 零件的功能要求 影响回转精度和工作精度的要控制圆柱度和同轴度；齿轮箱两轴孔的中心线不平行，将影响齿轮啮合，降低承载能力。

3. 形位公差的特点 圆柱度可控制圆度误差；定向公差可控制与其有关的形状误差；定位公差可控制与其有关的定向误差；跳动可控制与其有关的形状误差、定向误差、定位误

差等。有特殊要求时应分别满足。

(二) 基准的确定

在确定位置公差时，必须给出基准。基准可分为单一基准、组合基准或多基准。确定基准应根据零件在机器中的位置、作用、结构特点，以及对它们的加工、检测的要求统一考虑。

1. **单一基准** 一般用于定向或定位要求上比较单一的零件，可采用一个平面、一条轴线做为基准要素。如前边所述的平行度、垂直度、倾斜度、对称度公差等。

2. **组合基准** 一般用于以两孔或两轴颈作为支承的圆柱零件上，并要求给定同轴度、跳动公差的时候。

3. **多基准** 一般用于确定位置度公差时，以确定其理想位置。

基准的确定应在满足设计要求的前提下，力求使设计基准、加工基准、检测基准三者统一，以消除由于基准不重合而引起的误差。同时，为了简化工、夹、量具的设计和制造及测量的方便，在同一零件上的各项位置公差应尽量采用同一基准。

(三) 形位公差值的确定

形位公差分为 12 个公差等级。位置度只规定了数系，并将直线度、平面度、同轴度、对称度中的 9、10、11、12 级规定为未注公差值的 A、B、C、D 级。在图样上不注公差等级，只注形位公差数值。确定形位公差值的方法有类比法和计算法，一般采用类比法，就是将所设计零件与同样功能要求的类似零件进行比较，经分析后从相应表中查出形位公差数值。在确定形位公差值时，应考虑以下情况：

1. **形状公差($t_{形}$)、位置公差($t_{位}$)、尺寸公差(T)数值之间的量值关系一般应满足：**

$T > t_{位} > t_{形}$ 。例如，同一被测平面，其平面度公差值小于平行度公差值；同一被测圆柱面，其圆度公差值小于其径向圆跳动公差值；平行度公差值应小于其相应距离的尺寸公差值。

2. **零件的结构**

结构复杂、刚性较差或表面尺寸较大的一些零件，如细长轴，形位公差值可适当降低 1~2 级。

3. **主参数的确定**

当公差等级确定之后，为从表中查出形位公差值，需确定主参数。

(1) 一般是以被测要素的直径 $d(D)$ 或实体长度 L 作为主参数。

(2) 当锥体表面为被测要素时，则以锥体最大、最小直径的平均值做为主参数 $d(D)$ 。

(3) 圆柱体零件既有直径 d 又有长度 L 时，应以直径 d 做为主参数。

4. **形位公差标注方法示例**

见图 2—36 和图 2—37。

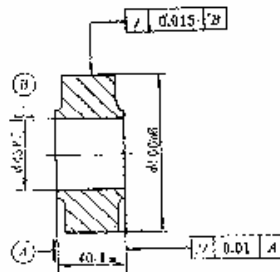


图 2—36

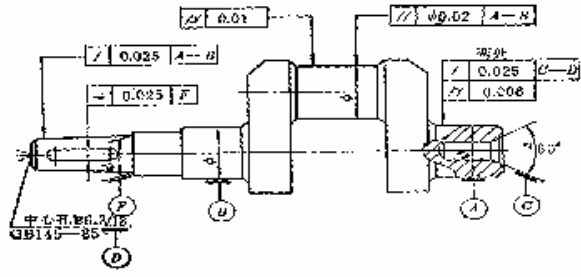


图 2—37