

绪 论

一、互换性概述

在机械制造中,互换性是指同一规格的零件或部件不需要做任何选择、调整或辅助加工就能进行装配,并能达到使用要求的一种特性。

互换性按互换程度的不同分为完全互换性(又称绝对互换性)和不完全互换性(又称相对互换性)。零件在装配或更换时,不需要选择、调整与修配,就能达到预定的使用要求,则其互换性规定为完全互换性。完全互换性的应用范围最为广泛。零件在装配前允许有附加的选择,装配时允许有附加的调整但不允许修配,装配后能达到预定的使用要求,则其互换性规定为不完全互换性。当装配精度要求很高,零件的加工难度较大时,可采用不完全互换性。

分组装配法即属典型的不完全互换性。当装配精度要求很高时,若采用完全互换性,会由于零件公差太小,导致加工难度和制造成本增高。这时应采用不完全互换性,将零件的制造公差适当放大,使之便于加工。加工后,零件按照提取要素的局部尺寸大小分成若干组,然后按组相配,即大孔和大轴相配,小孔和小轴相配。此时,同组内的各零件可实现完全互换,组间则不能互换。这样,既解决了零件的加工难度,又保证了装配精度。例如,柴油机喷油器柱塞的装配,滚动轴承内、外圈与滚动体的装配,采用的就是分组装配法。

互换性按互换对象的不同又分为内互换性和外互换性。标准部件内部各零件间的互换性称为内互换性。标准部件与其相配件间的互换性称为外互换性。例如,滚动轴承外圈的外径与机座孔的内径、内圈的内径与轴颈的配合为外互换性;轴承外圈的内滚道、内圈的外滚道与滚动体之间的配合为内互换性。

互换性按互换目的不同又分为装配互换性和功能互换性。规定几何参数公差达到装配要求的互换性称为装配互换性。既规定几何参数公差,又规定机械物理性能参数公差达到使用要求的互换性称为功能互换性。

上述的完全互换性和不完全互换性、外互换性和内互换性皆属装配互换性。装配互换性的目的在于保证产品精度,功能互换性的目的在于保证产品质量。

一般情况下,零部件生产需要厂际协作时应采用完全互换性;部件或构件在同一厂

内制造和装配时,可采用不完全互换性。

在单件小批量生产,特别是重型和精密机械零件的制造中,为了减少成本,往往需要降低零件的制造精度,同时在装配时采取对某些零件进行辅助加工或其他方法来达到装配精度,以保证使用要求。此时,该零件已不具有互换性。

二、互换性原则的技术经济意义

互换性是工业化生产中的一个重要的技术经济原则。随着专业化、协作化生产模式的不断扩大和深入,互换性原则将更加广泛地应用于产品设计、加工和装配、维护与修理等各个方面。

从设计角度看,能最大限度地选用标准零部件和通用件。这样可缩短设计周期,对发展系列产品、改进产品性能将起到重要作用。

从制造角度看,便于组织专业化、协作化生产。这样可提高产品质量和生产率,降低生产成本,促进生产发展。

从装配角度看,便于实现装配自动化和提高装配效率。这样可缩短装配周期,提高装配质量。

从维修角度看,便于采用标准零部件和通用件及时对报损零部件进行更换。这样不仅可以缩短维修时间,而且可以保证维修质量。

互换性生产是随着产品大批量生产的需要而逐步发展和完善起来的。随着数控技术和计算机技术的发展,机械制造业由传统的生产方式向现代化的生产方式转化,在多种、小批量的生产中,互换性的应用也越来越广泛,对互换性的要求将越来越高。因此,互换性原则是组织现代化生产极为重要的技术经济原则。

三、几何量误差和公差

1. 几何量误差

零件在加工的过程中,由于机床精度、计量器具精度、操作者技术水平及生产环境等诸多因素的影响,其加工后得到的几何参数会不可避免地偏离设计时的理想要求而产生误差,这种误差就是零件的几何量误差。几何量误差主要包括尺寸误差、形状误差、位置误差和表面微观形状误差等。

2. 加工误差与加工精度

加工误差指零件实际几何参数相对理想几何参数的偏离程度,是零件的几何量误差。

加工精度指零件加工后的实际几何参数(尺寸、形状和位置)与理想几何参数的符合程度。加工精度包括尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度。

3. 公差

为了控制几何量误差,提出了公差的概念。所谓几何参数的公差是指零件几何参数在加工中允许的变动量。规定公差的目的是限制加工误差,控制加工难度,保证一定的加工精度。零件几何参数的公差包括尺寸公差、形状公差、位置公差和表面粗糙度等。只有

将零件的几何量误差控制在相应的公差范围内,才能保证互换性的实现。

四、标准化

既然要用公差来控制几何量误差,就必须确定公差的大小和零件几何参数的相关要求,这就需要制定公差标准。公差标准是一项技术标准,是为产品的规格、技术质量及其检验方法等方面所作的技术规定。要实现互换性,就要严格按照统一的技术标准进行设计、制造、装配和检验。

技术标准按照对象特征的不同分为基础标准、产品标准、方法标准、安全和环境保护标准等,其中的基础标准是通用性最强的标准。本书所介绍的极限与配合标准、形位公差标准、表面粗糙度标准等就属于基础标准。

标准化是指制定标准、实施标准、修订标准和监督标准实施的社会活动的全过程。在现代化工业生产中,标准化是一项重要的技术措施。一种产品的制造,涉及许多部门和企业,为了适应各个部门和企业之间在技术上相互协调的要求,必须有一个共同的技术标准,使独立、分散的部门和企业之间保持必要的技术统一,使相互联系的生产过程形成一个有机的整体,以保证互换性生产的实现。所以,标准是保证互换性的基础,标准化是实现互换性生产的基础。

我国标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准,代号为 GB,是在全国范围内的统一技术要求;行业标准,是在全行业范围内的统一技术要求,如机械标准(JB);地方标准,代号为 D,是在地方范围内的统一技术要求;企业标准,代号为 Q,是在一个企业内的统一技术要求。

五、几何量的测量

制定和贯彻公差标准是实现互换性的基础,要保证互换性在生产实践中的实现还必须有相应的技术测量基础,必须按照标准和技术要求对零部件进行测量与检验,只有经检验合格的零部件才具有互换性。因此,测量技术是实现互换性生产的技术保证。

测量与检验的目的不仅在于判断加工的零部件是否合格,还要根据检测的结果,分析产生废品的原因,以便改进工艺措施,提高加工精度,保证加工质量,提高生产效率。

现代化工业生产必须遵循互换性原则,要保证互换性的实现,就必须保证零件的加工精度。由于加工中各种因素的影响,零件的几何量误差就不可避免地存在,但只要将几何量的误差控制在一定范围内,就能实现互换性。要确定这“一定范围”的大小,就必须制定相应的公差标准;要知道零件几何量误差是否控制在公差范围内,即零件是否合格,就必须具有相应的技术测量措施和检测的规定。

六、本课程的性质和学习要求

“公差配合与检测”是机械类、机电类、仪器仪表类专业的一门技术基础课。本课程以几何参数的互换性基础知识和测量基础知识为主要内容,其特点是:术语和定义多,符号和代号多,标准和规定多,记忆的内容多。



本课程的学习要求是：了解互换性的基础知识，掌握各种公差标准的基本内容；了解检测的基本知识，掌握常用量具、量仪的结构、分度原理和使用方法；学会根据产品的功能要求，合理选择公差等级、配合种类、形位公差和表面粗糙度的参数等，能够正确地标注和解释。

思考与练习

- 1-1 何谓互换性？互换性的种类有哪些？
- 1-2 简述互换性的技术经济意义。
- 1-3 何谓几何量误差？何谓公差？
- 1-4 何谓加工误差和加工精度？
- 1-5 何谓标准化？

孔、轴的公差与配合

第一节 基本术语及其定义

一、极限与配合的国家标准

1. 新国家标准

- GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范(GPS)极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础》
- GB/T 1800.2—2009《产品几何技术规范(GPS)极限与配合 第2部分：标准公差等级和孔、轴极限偏差表》
- GB/T 1801—2009《产品几何技术规范(GPS)极限与配合 公差带和配合的选择》
- GB/T 1803—2003《极限与配合 尺寸至18mm孔、轴公差带》
- GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》

2. 新国家标准主要修改内容

- ① 标准名称增加引导要素：产品几何技术规范(GPS)。
- ② 基本术语的改变：“基本尺寸”改为“公称尺寸”；上偏差、下偏差、最大极限尺寸和最小极限尺寸分别修改为上极限偏差、下极限偏差、上极限尺寸和下极限尺寸；用“实际(组成)要素”代替“实际尺寸”，用“提取组成要素的局部尺寸”代替“局部实际尺寸”。
- ③ 基本术语的增加：增加了“尺寸要素”、“公称组成要素”、“实际(组成)要素”、“提取组成要素”、“拟合组成要素”、“提取圆柱面的局部尺寸”和“两平行提取表面的局部尺寸”的术语和定义的引用。

二、几何要素的术语及其定义

1. 几何要素(简称要素)

构成零件几何特征的点、线、面统称为几何要素。图 2-1 所示的零件就是由点(如

球心、锥顶)、线(如圆柱体的素线、圆锥体的素线、轴线)、面(如球面、圆柱面、圆锥面、端平面、平行平面)等几何要素构成的。

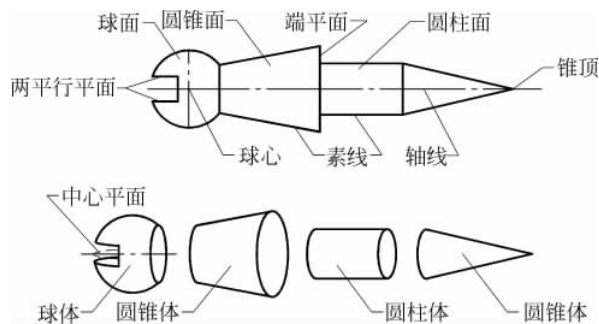


图 2-1 零件几何要素

2. 尺寸要素

由一定大小的线性尺寸或角度尺寸所确定的几何形状称为尺寸要素。尺寸要素可以是圆柱形、圆锥形、球形、楔形和两平行对应面。

3. 组成要素(轮廓要素)

面或面上的线称为组成要素。组成要素分为公称组成要素、实际(组成)要素、提取组成要素、拟合组成要素等。

4. 导出要素(中心要素)

由一个或几个组成要素得到的中心点、中心线或中心面称为导出要素。

例如,球心是由球面得到的导出要素,该球面为组成要素;圆柱的中心线是由圆柱面得到的导出要素,该圆柱面为组成要素。

5. 公称组成要素

由技术制图或其他方法确定的理论正确组成要素称为公称组成要素,如图 2-2(a)所示。公称组成要素是具有几何意义的要素,也称为理想要素。

6. 公称导出要素

由一个或几个公称组成要素导出的中心点、中心线或中心平面称为公称导出要素,如图 2-2(a)所示。

7. 实际(组成)要素

由接近实际(组成)要素所限定的工件实际表面的组成要素部分称为实际(组成)要素,如图 2-2(b)所示。

8. 提取组成要素

按规定方法,由实际(组成)要素提取有限数目的点所形成的实际(组成)要素的近似替代称为提取组成要素,如图 2-2(c)所示。

9. 提取导出要素

由一个或几个提取组成要素得到的中心点、中心线或中心面称为提取导出要素,如

图 2-2(c)所示。

提取圆柱面的组成中心线称为提取中心线。两相对提取平面的导出中心面称为提取中心面。

10. 拟合组成要素

按规定的方法由提取组成要素形成的、具有理想几何形状的组成要素称为拟合组成要素,如图 2-2(d)所示。

11. 拟合导出要素

由一个或几个拟合组成要素导出的中心点、轴线或中心平面称为拟合导出要素,如图 2-2(d)所示。

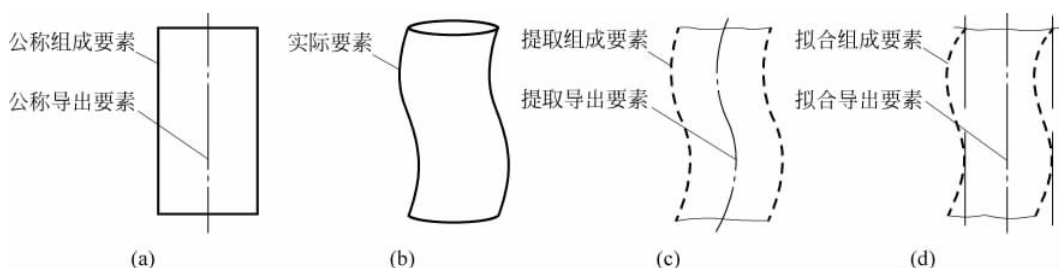


图 2-2 各几何要素定义间的关系

三、孔、轴的术语及其定义

1. 孔

孔通常是指工件的圆柱形内尺寸要素,也包括非圆柱形的内尺寸要素(由两平行平面或切面形成的包容面),如图 2-3 所示。

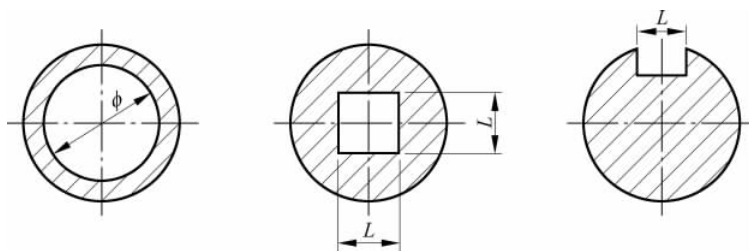


图 2-3 孔

2. 轴

轴通常是指工件的圆柱形外尺寸要素,也包括非圆柱形的外尺寸要素(由两平行平面或切面形成的被包容面),如图 2-4 所示。

由定义可知,这里的孔和轴是广义的,既可以是圆柱形的,也可以是非圆柱形的。从装配关系上看,零件装配后形成包容与被包容的关系,包容面统称为孔,被包容面统称为

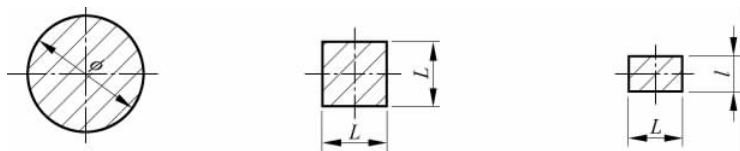


图 2-4 轴

轴。从加工过程看,在切削过程中,尺寸由小变大的为孔,而尺寸由大变小的为轴。

四、尺寸的术语及其定义

1. 尺寸

用特定单位表示线性尺寸和角度尺寸的数值称为尺寸。

2. 线性尺寸

线性尺寸是表示两点之间距离的长度值,它包括直径、半径、长度、宽度、高度和中心距等。标准规定,图样上的尺寸以毫米(mm)为单位时,可省略单位的标注,仅标注数值。

3. 公称尺寸

由设计确定的尺寸称为公称尺寸。

孔的公称尺寸用“ D ”表示,轴的公称尺寸用“ d ”表示。标准规定:大写字母表示孔的有关代号,小写字母表示轴的有关代号。

4. 局部尺寸

(1) 提取组成要素的局部尺寸(简称提取要素的局部尺寸)

提取组成要素的局部尺寸为一切提取组成要素上的两对应点之间距离的统称。

(2) 提取圆柱面的局部尺寸

要素上两对应点之间的距离称为提取圆柱面的局部尺寸。其中,两对应点之间的连线通过拟合圆圆心,横截面垂直于由提取表面得到的拟合圆柱面的轴线,如图 2-5 所示。

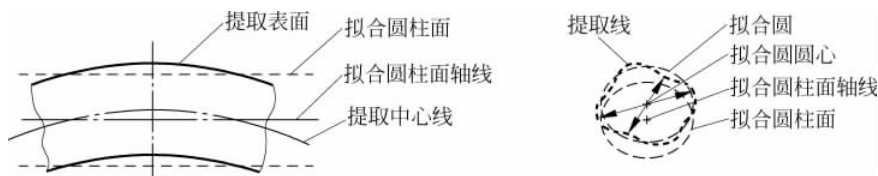


图 2-5 局部尺寸各要素

(3) 两平行提取表面的局部尺寸

两平行对应提取表面上两对应点之间的距离称为两平行提取表面的局部尺寸。其中,所有对应点的连线均垂直于拟合中心平面。

由于测量误差的存在,局部尺寸并非尺寸的真值,而是一近似于真实尺寸的尺寸。孔、轴的局部尺寸分别用“ D_a ”、“ d_a ”表示。

5. 极限尺寸

一个孔或轴允许尺寸的两个极端,即允许尺寸变化的两个极限值称为极限尺寸。

两个极限值中较大的一个称为上极限尺寸,孔、轴的上极限尺寸分别用“ D_{\max} ”、“ d_{\max} ”表示;较小的一个称为下极限尺寸,孔、轴的下极限尺寸分别用“ D_{\min} ”、“ d_{\min} ”表示,如图 2-6 所示。

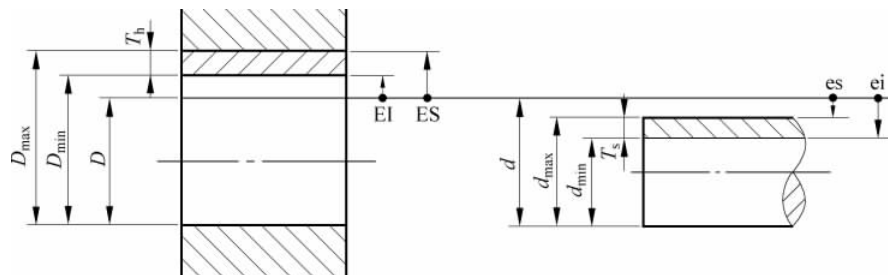


图 2-6 公称尺寸、上极限尺寸、下极限尺寸、上极限偏差、下极限偏差、尺寸公差

公称尺寸和极限尺寸是设计给定的,实际尺寸应限制在极限尺寸范围内,也可达到极限尺寸。孔、轴实际尺寸的合格条件如下:

对于孔 $D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max}$

对于轴 $d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}$

五、偏差的术语及其定义

1. 尺寸偏差

某一尺寸减其公称尺寸所得到的代数差称为尺寸偏差,简称偏差。

2. 极限偏差

极限尺寸减其公称尺寸所得到的代数差称为极限偏差。

由于极限尺寸有上极限尺寸和下极限尺寸之分,因此极限偏差分为上极限偏差和下极限偏差。合格零件的实际偏差应在上、下极限偏差之间。

(1) 上极限偏差

上极限尺寸减其公称尺寸所得到的代数差称为上极限偏差。孔、轴的上极限偏差分别用“ES”、“es”表示,如图 2-6 所示。其计算公式如下:

$$ES = D_{\max} - D \quad (2-1)$$

$$es = d_{\max} - d \quad (2-2)$$

(2) 下极限偏差

下极限尺寸减其公称尺寸所得到的代数差称为下极限偏差。孔、轴的下极限偏差分别用“EI”、“ei”表示,如图 2-6 所示。其计算公式如下:

$$EI = D_{\min} - D \quad (2-3)$$

$$ei = d_{\min} - d \quad (2-4)$$

3. 实际偏差

实际尺寸减其公称尺寸所得到的代数差称为实际偏差。孔的实际偏差用“ E_a ”表示,轴的实际偏差用“ e_a ”表示,即 $E_a = D_a - D$, $e_a = d_a - d$ 。

由于某一尺寸可以大于、等于或小于公称尺寸,所以偏差值可以为正值、负值或零值,使用时除零值外,必须标上相应的“+”或“-”号。孔、轴实际偏差的合格条件如下:

对于孔 $EI \leq E_a \leq ES$

对于轴 $ei \leq e_a \leq es$

国标规定:在图样和技术文件上标注极限偏差数值时,上极限偏差标在公称尺寸的右上角,下极限偏差标在公称尺寸的右下角。当上、下极限偏差为零值时,必须在相应位置上标注“0”,不能省略,如 $\phi 50 \begin{smallmatrix} +0.119 \\ -0.080 \end{smallmatrix} \text{mm}$, $\phi 50 \begin{smallmatrix} +0.039 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$, $\phi 50 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.039 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 。当上、下极限偏差数值相等而符号相反时,可简化标注,如 $\phi 50 \pm 0.019 \text{mm}$ 。

六、公差的术语及其定义

1. 尺寸公差

上极限尺寸与下极限尺寸之差,或上极限偏差与下极限偏差之差称为尺寸公差,简称公差,如图 2-6 所示。

由于尺寸公差是允许尺寸的变动量,而变动量只涉及公差值的大小,因此用绝对值定义。孔、轴的尺寸公差分别用“ T_h ”、“ T_s ”表示,如图 2-6 所示。其计算公式如下:

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (2-5)$$

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (2-6)$$

由于加工误差不可避免,即零件的实际(组成)要素总是变动的,所以尺寸公差不能取零值。从加工的角度看,公称尺寸相同的零件,公差值越大,加工就越容易;反之,加工就越困难。公差是用以限制误差的,工件的误差在公差范围内即为合格;反之,则为不合格。

2. 零线、公差带与公差带图解

(1) 极限与配合示意图

由于公差和偏差的数值比公称尺寸的数值小得多,不能用同一比例表示,因此需要将公差值按规定放大(放大比例一般选 500:1,偏差值较小时可选 1000:1)画出,这种说明公称尺寸、极限偏差和公差之间的关系图称为极限与配合示意图,如图 2-7 所示。从图中可以直观地看出公称尺寸、极限尺寸、极限偏差和公差之间的关系。

(2) 极限与配合图解

为了简化起见,在实际应用中常不画出孔和轴的全形,只要按规定将有关公差部分放大画出即可,这种图称为极限与配合图解,又称公差带图解,如图 2-8 所示。

(3) 零线

在极限与配合图解中,表示公称尺寸的一条直线称为零线。零线是偏差的起始线即零偏差线,以零线为基准,确定偏差和公差。