

《机械制造基础》学习指导

第一部分 公差配合

知识内容

涵盖公差配合与技术测量、形状和位置公差及检测和表面粗糙度及检测

重点：极限与配合的基本术语和定义、极限与配合国家标准的组成与特点、极限与配合的选用

形位公差的术语、定义及标注、形位公差的应用及选择

表面粗糙度的主要术语及评定参数、表面粗糙度的选择和标注

理解：极限与配合国家标准的组成与特点。

形位公差项目的符号与标注。

形位公差的选用原则与检测方法。

表面粗糙度的标注。

掌握：极限与配合的选用原则与方法。

表面粗糙度的选用原则与方法。

了解：极限与配合的基本术语和定义。

形状和位置公差的基本概念。

表面粗糙度的概念、术语。

表面粗糙度的评定基础与评定参数。

形位公差项目的含义及其评定。

复习知识要点

基本术语和定义

1. 尺寸：以特定单位表示线性尺寸的数值。
2. 基本尺寸（ D , d ）：通过它应用上、下偏差可算出极限尺寸的尺寸。通常由设计者给定，用 D 和 d 表示（大写字母表示孔、小写字母表示轴）。它是根据产品的使用要求，根据零件的强度、刚度等要求，计算出的或通过试验和类比方法确定并经过圆整后得到的尺寸，一般要符合标准尺寸系列。
3. 实际尺寸（ Da , da ）：通过测量获得的孔（轴）的尺寸。
4. 极限尺寸：指一个孔或轴允许的尺寸的两个极端值，也就是允许的尺寸变化范围的两个界限值。
5. 尺寸偏差(偏差)：指某一尺寸（极限尺寸、实际尺寸等等）减去基本尺寸所得

的代数差，其值可为正、负或零。

- 实际偏差 (E_a , e_a)：实际尺寸减去其基本尺寸所得的代数差。
- 极限偏差：极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

其中，最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差(ES , es)；
最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差(EI , ei)。

6. 尺寸公差（公差 Th , Ts ）：最大极限尺寸减最小极限尺寸之差，或上偏差减下偏差之差。它是允许尺寸的变动量。

7. 公差带图解：前述是利用图进行的有关尺寸、极限偏差及公差分析。

- 零线：基本尺寸所指的线，是偏差的起始线。零线上方表示正偏差，零线下方表示负偏差。

- 公差带：代表上、下偏差的两条直线所限定的区域。它是由公差大小和其相对零线的位置如基本偏差来确定。

8. 标准公差(IT)：指国家标准 GB/T 1800.3—1998 极限与配合制所规定任一公差，它确定了公差带的大小。

9. 基本偏差：指在极限与配合制中，确定公差带相对于零线位置的那个极限偏差。

10. 配合：配合是指基本尺寸相同的，相互结合的孔、轴公差带之间的关系。

11. 孔与轴：孔是指工件的圆柱形内表面，也包括非圆柱形内表面；轴是指工件的圆柱形外表面，也包括非圆柱形外表面。

12. 间隙与过盈：在孔与轴的配合中，孔的尺寸减去轴的尺寸所得的代数差，当差值为正时叫做间隙（用 X 表示），当差值为负时叫做过盈（用 Y 表示）。

13. 配合的种类：孔、轴公差带之间的关系，分为三大类，即间隙配合、过盈配合和过渡配合。

- 间隙配合：具有间隙（包括最小间隙为零）的配合。
- 过盈配合：具有过盈(包括最小过盈为零)的配合。
- 过渡配合：具有间隙或过盈的配合。

14. 配合公差 (T_f)：组成配合的孔、轴公差之和。

- 对于间隙配合 $T_f = |X_{\max} - X_{\min}|$
- 对于过盈配合 $T_f = |Y_{\max} - Y_{\min}|$
- 对于过渡配合 $T_f = |X_{\max} - Y_{\max}|$

15. 配合制（基准制）：同一极限制的孔和轴组成配合的一种制度。

- 基孔制配合：基本偏差为一定的孔的公差带与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。

基孔制配合中的孔称为基准孔，它是配合的基准件，而轴为非基准件。标准规定，基准孔以下偏差 EI 为基本偏差，其数值为零，上偏差为正值，其公差带偏置在零线上侧。

- 基轴制配合：基本偏差为一定的轴的公差带与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度。

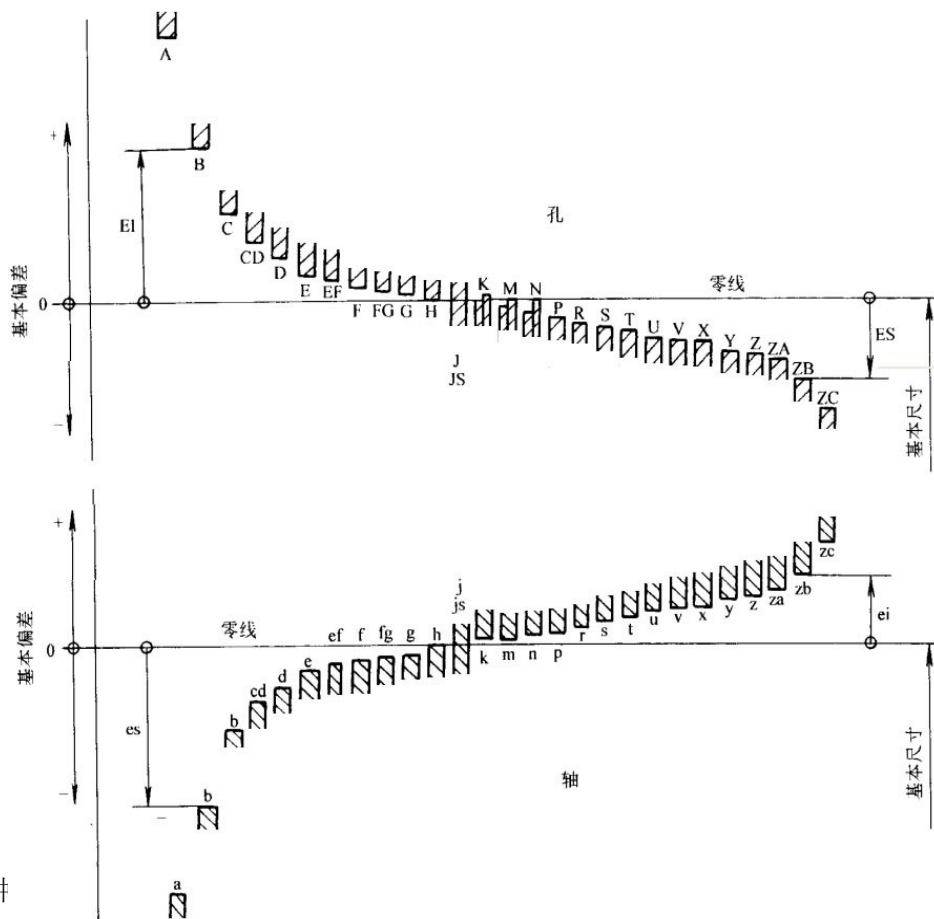
基轴制配合中的轴称为基准轴，它是配合的基准件，而孔为非基准件。标准规定，基准轴以上偏差 es 为基本偏差，其数值为零，下偏差为负值，其公差带偏置在零线下侧。

标准公差系列：国家标准制定出一系列标准公差数值，是确定尺寸精确程度的等级称为标准公差等级。标准公差等级分为 20 级，用标准公差符号 IT 和数字组成。分

别由 IT01, IT0, IT1, IT2, …IT18 来表示。等级依次降低, 标准公差值依次增大。

基本偏差及其代号: 用来确定公差带相对于零线的位置。

基本偏差是公差带位置标准化的唯一参数, 除去 JS 和 js 以及 J, j, K, k, M 和 N 以外, 原则上基本偏差和公差等级无关



种基本偏差代号, 由 26 个字母组成, 其中 18 个字母表示公差带, 其余 8 个字母表示公差带位置。这 28 种基本偏差代号反映了 28 种公差带的位置, 构成了基本偏差系列。

孔的基本偏差中, A~G 的基本偏差是下偏差 EI (正值); H 的基本偏差 EI=0, 是基准孔; J~ZC 的基本偏差是上偏差 ES (除 J 和 K 外, 其余皆为负值); JS 的基本偏差是 ES=+T_h/2 或 EI=-T_h/2。孔的基本偏差数值是由相同字母轴的基本偏差, 在相应的公差等级的基础上通过换算得到。

轴的基本偏差中, a~g 的基本偏差是上偏差 es (负值); h 的基本偏差 es=0, 是基准轴; j~zc 的基本偏差是下偏差 ei (除 i 外, 其余皆为正值); js 的基本偏差为 es=+T_s/2 或 ei=-T_s/2。

公差等级的选择

选择公差等级的基本原则是, 在满足使用要求的前提下, 尽量选取较低的公差等级。

用类比法选用公差等级应考虑以下几方面:

1. 在常用尺寸段内, 由于孔比轴难加工, 选定孔比轴低一级精度, 使孔、轴的加工难易程度相同。低精度的孔和轴选择相同公差等级。

2. 根据各种加工方法能够达到的公差等级选择。
3. 相配零件或部件精度要匹配。
4. 一般孔的过盈、过渡配合的公差等级 $\leq IT8$ ，轴 $\leq IT7$ 。

极限与配合的标注

零件图上一般有三种标注方法，如：

- ① 孔： $\Phi 55H7$ ； 轴： $\Phi 55h6$ 。
- ② 孔： $\Phi 55H7 \left(\begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ ； 轴： $\Phi 55h6 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.019 \end{smallmatrix} \right)$ 。
- ③ 孔： $\Phi 55 \begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix}$ ； 轴： $\Phi 55 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.019 \end{smallmatrix}$

装配图上也有三种标注方法，如：

- ① $\Phi 55 \frac{H7}{h6}$ 或 $\Phi 55H7/h6$
- ② $\Phi 55 \frac{H7 \left(\begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)}{h6 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.019 \end{smallmatrix} \right)}$ 或 $\Phi 55H7 \left(\begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix} \right) / h6 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.019 \end{smallmatrix} \right)$
- ③ $\Phi 55 \frac{\left(\begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)}{\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.019 \end{smallmatrix} \right)}$ 或 $\Phi 55 \left(\begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix} \right) / \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.019 \end{smallmatrix} \right)$

基准制的选择

选择基准制时，应从结构、工艺性及经济性几方面综合分析考虑。

1. 一般情况下应优先选用基孔制
2. 下列情况应选用基轴制
 - 直接使用有一定公差等级（IT8~IT11）而不再进行机械加工的冷拔钢材（这种钢材是按基准轴的公差带制造）做轴；
 - 加工尺寸小于 1 mm 的精密轴比同级孔要困难；
 - 根据结构上的需要，在同一基本尺寸的轴上装配有不同配合要求的几个孔件时应采用基轴制。
3. 与标准件配合
4. 为满足配合的特殊要求，允许选用非基准制的配合

国家标准中规定的公差带

一般、常用和优先的公差带（参考图 2-2）：按照国家标准中提供的标准公差及基本偏差系列，可将任一基本偏差与任一标准公差组合，从而得到大小与位置不同的公差带。

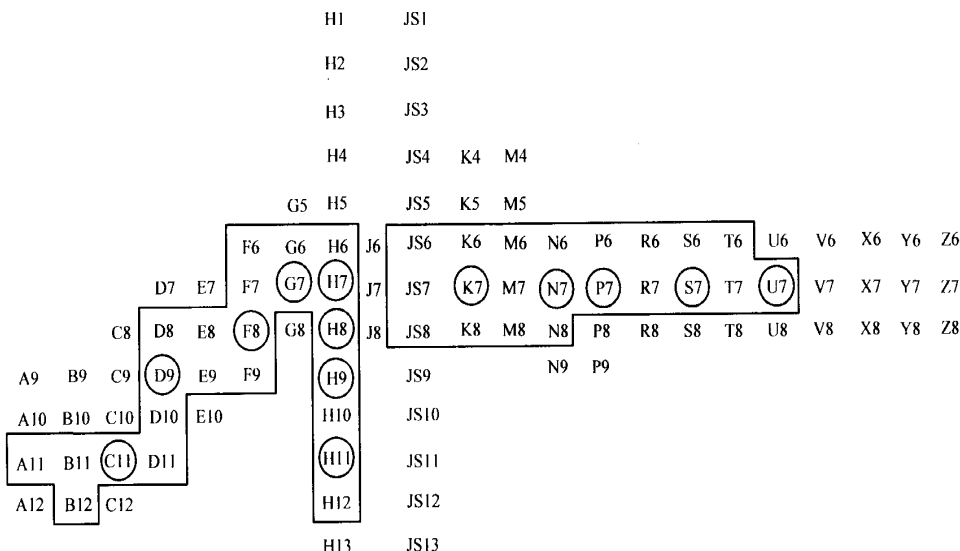


图 2-2 一般、常用和优先孔的公差带

国家标准中规定的配合

常用和优先配合：在推荐的轴、孔公差带的基础上，国家标准还推荐了孔、轴公差带的组合。对基孔制，规定有 59 种常用配合；对基轴制，规定有 47 种常用配合。在此基础上，又从中各选取了 13 种优先配合。

极限与配合的选用

尺寸公差与配合的选择是机械设计与制造中的一个重要环节，它是在基本尺寸已经确定的情况下进行的尺寸精度设计。公差与配合的选择是否恰当，对产品的性能、质量、互换性及经济性有着重要的影响。其内容包括选择基准制、公差等级和配合种类三个方面。选择的原则是在满足使用要求的前提下能够获得最佳的技术经济效益。选择的方法有计算法、试验法和类比法。

配合的选择

1. 根据使用要求确定配合的类别
根据具体的使用要求确定间隙、过渡或过盈配合。
2. 选择方法有三种：计算法、试验法和类比法。
3. 用类比法选择配合时应考虑的因素：首先要掌握各种配合的特征和应用场合，尤其是对国家标准所规定的常用与优先配合要更为熟悉。

测量技术基础

在形状、位置、表面粗糙度等的测量中，其误差大都是以长度值来表示的。

由于存在着各种测量误差，测量所得到的实际尺寸并非真值。

验收极限是指检验工件尺寸时判断合格与否的尺寸界限。

安全裕度由工件公差来确定，为了保证验收时合格，在生产时工件不能按原有的极限尺寸加工，应按由验收极限所确定的范围生产，这个范围称为“生产公差”。

形位公差（符号和含义）

几何要素及其分类：（简称要素）是指构成零件几何特征的点、线和面。

几何要素可按不同角度来分类：

- 1、按结构特征分
 - 轮廓要素是指构成零件外形的点、线、面各要素。
 - 中心要素是指轮廓要素对称中心所表示的点、线、面各要素。
- 2、按存在状态分
 - 实际要素是指零件实际存在的要素。通常用测量得到的要素代替。
 - 理想要素是指具有几何意义的要素，它们不存在任何误差。机械零件图样表示的要素均为理想要素。
- 3、按所处地位分
 - 被测要素是指图样上给出形状或（和）位置公差要求的要素，是检测的对象。
 - 基准要素指用来确定被测要素方向或（和）位置的要素。
- 4、按功能关系分
 - 单一要素指仅对要素自身提出功能要求而给出形状公差的要素。

- 关联要素指相对基准要素有功能要求而给出位置公差的要素。

形位公差的特征、符号和标注

1. 公差特征及符号

形位公差国家标准将形位公差特征分为 14 种，其名称及符号如表 2-1 所示。

表 2-1 公差特征的符号

公差	特 征	符 号	有或无 基准要求	公差	特 征	符 号	有或无 基准要求
形 状	直线度	—	无	位 置	平行度	//	有
	平面度		无		垂直度		有
	圆 度	○	无		倾斜度		有
	圆柱度		无		位置度		有或无
	线轮廓度		有或无		同轴（同心）度		有
形 状 或 位 置	面轮廓度		有或无		对称度		有
					圆跳动		有
					全跳动		有

图 2-3 公差框格

位置公差框格

相对

字母应与公差框格内的字母相对应，并均应小写字母，如图 2-4 所示。

主要形位公差的应用及选择

1. 形状公差：形状公差是指单一实际要素的形状所允许的变动全量。形状公差带是限制实际被测要素变动的一个区域。

2. 轮廓度公差：轮廓度公差特征有线轮廓度和面轮廓度。轮廓度无基准要求时为形状公差，有基准要求时为位置公差。

3 定向公差是关联实际要素对基准在方向上允许的变动全量。定向公差有平行度、垂直度和倾斜度三项。



图 2-4 基准符号

- 同轴度公差用于控制轴类零件的被测轴线对基准轴线的同轴度误差。
- 对称度公差用于控制被测要素中心平面（或轴线）对基准中心平面（或轴线）的共面（或共线）性误差。

4 位置度公差用于控制被测要素（点、线、面）对基准的位置误差。位置度公差可分为给定一个方向、给定两个方向和任意方向三种，后者使用较多。

- 定位公差特征中，同轴度只涉及轴线；对称度涉及的要素有中心直线。轴线和中心平面；位置度涉及的要素包括点。

5. 跳动公差：关联实际要素绕基准轴线回转一周或连续回转时所允许的最大跳动量。跳动量可由指示器的最大与最小示值之差反映出来。

- 圆跳动是指被测要素在某个测量截面内相对于基准轴线的变动量。圆跳动有径向圆跳动、端面圆跳动和斜向圆跳动。
- 全跳动是指整个被测要素相对于基准轴线的变动量。全跳动有径向全跳动和端面全跳动。

测量中的基准：在检测中，通常用形状足够精确的表面模拟基准。

基准的种类通常分为三种：

- 单一基准，由一个要素建立的基准称为单一基准。
- 组合基准（公共基准），由两个或两个以上要素建立一个独立的基准称为组合基准或公共基准。
- 基准体系（三基面体系），由三个相互垂直的平面构成一个基准体系。

形位公差的选择

图样上零件的形位公差要求有两种表示方法：一种是用公差框格的形式在图样上标注；另一种是按未注公差规定，图样上不标注形位公差要求。

1. 形位公差特征的选择

形位公差特征的选择应根据零件的形体结构、功能要求、检测方便及经济性等方面因素，经综合分析后决定。

零件本身的形体结构，决定了它可能要求的公差特征。

可供选择的公差特征没有必要全部注出，需要分析各部位的功能要求确定适当的项目。

2. 形位公差等级的选择

形位精度的高低是用公差等级数字的大小来表示的。

形位公差（公差等级）常用类比法确定。主要考虑零件的使用性能、加工的可能性和经济性等因素，还应注意下列情况：

- 在同一要素上给出的形状公差值应小于位置公差值。如要求平行的两个表面，其平面度公差值应小于平行度公差值。
- 圆柱形零件的形状公差值（轴线直线度除外）一般小于其尺寸公差值。
- 平行度公差值应小于其相应的距离公差值。
- 对于下列情况，考虑到加工的难易程度和除主参数外其他参数的影响，在满足零件功能要求下，可适当降低1~2级选用：①孔相对于轴；②细长且比较大的轴和孔；③距离较大的轴或孔；④宽度较大（一般大于1/2长度）的零件表面；⑤线对线和线对面相对于面对面的平行度；线对线和线对面相对于面对面的垂直度。
- 凡有关标准已对形位公差作出规定的，都应按相应标准确定。

形位误差的检测原则：就其原理可归纳为五大类：

- 与理想要素比较的原则：指测量时将被测实际要素与相应的理想要素作比较，在比较过程中获得数据，按这些数据来评定形位误差。
- 测量坐标原则：用坐标测量装置测得被测要素上各测点的坐标值后，经数据处理就可以获得形位误差值。
- 测量特征参数的原则：测量被测要素上具有代表性的参数（即特征参数）来近似表示该要素的形位误差，这类方法就叫测量特征参数的原则。
- 测量跳动的原则。
- 控制实效边界原则：判断被测实体是否超越最大实体实效边界的有效方法是用功能量规检验，功能量规是模拟最大实体实效边界的全形量规检验。

表面粗糙度的概念：表示零件表面微观几何特性的特征量。表面粗糙度越小，表面越光滑。通常波距小 1mm 的属于表面粗糙度；波距 1~10 mm 的属于表面波纹度（波度），波距大于 10mm 的属于形状误差。

表面粗糙度对零件使用性能的影响：主要表现为：（1）影响零件的耐磨性；（2）影响配合性质的稳定性；（3）影响疲劳强度；（4）影响抗腐蚀性；（5）影响接触刚度。

表面粗糙度的选择：表面粗糙度参数值的选用原则是在满足功能要求的前提下，参数的允许值尽量大（除 $R_{mr}(C)$ 外）以减小加工困难，降低生产成本。

表 2-2 表面粗糙度的表面特征、经济加工方法

表面微观特征	$Ra/\mu m$	加工方法
极光表面	$\leq 0.01 - \leq 0.16$	镜面磨削、精抛光、精磨、研磨
光表面	$\leq 0.32 - \leq 1.25$	精磨、研磨、车、刨、铣、拉、刮、精铰、滚压
半光表面	$\leq 2.5 - \leq 10$	车、刨、铣、拉、刮、铰、滚压
粗糙表面	≤ 20	粗车、粗刨、粗铣、钻、镗、挫、锯

表面粗糙度符号、代号：表面粗糙度符号如图 2-5。（按照教材提供的标准复习）

表面粗糙度标注：图样上所标注的表面粗糙度，在符号中注写的位置如图 2-6 所示。

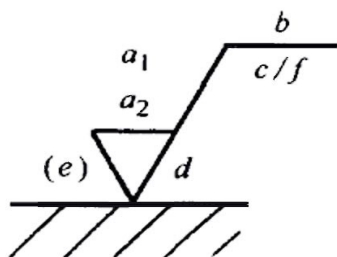


图 2-6 表面粗糙度代号、符号在图样上的标注

表面粗糙度的检测

主要有比较法、光切法、针触法

表面粗糙度参数代号标注法

a_1, a_2 —粗糙度高度参数代号及其数值 b —加工方法、镀覆、涂覆、表面处理或其他说明等 c —取样长度或波纹度 d —加工纹理方向符号 e —加工余量 f —粗糙度间距参数值（单位为 mm）或轮廓支撑长度率