第 2 章　光滑圆柱体结合的公差与配合

本章的学习目的是掌握公差与配合的一般规律，为合理选择尺寸公差与配合、学习其他典型零件的公差与配合打下基础。学习的主要内容为：理解尺寸公差有关的基本术语及定义，明确尺寸公差带的特点；掌握选用尺寸公差等级及其数值的原则和方法；学会尺寸公差在图样上的表达方法。

2.1　概　　述

由于各种因素的影响，如机床精度的限制、刀具刃磨角度的误差、工艺系统刚性较差等，在加工过程中，零件的尺寸、形状、微观几何形状(表面粗糙度)以及相互位置等几何量总会存在一定的误差。为了满足互换性要求，使相同规格的零部件的几何参数接近一致，必须控制加工误差。

如何控制加工误差，大致体现在两个方面：①在设计时，规定一定的公差(即允许零件几何参数的变动量)来控制加工误差；②在加工时和加工后控制加工误差是根据设计时规定的公差，选择合理的加工方法和按设计要求进行合理的测量。

为了能保证零部件的互换性要求，设计者应当使产品达到一定的要求和标准规定，选用国家标准规定的公差数值，不能任意规定或只凭计算确定公差数值。

圆柱体结合的公差与配合是机械工程方面重要的基础标准，它不仅适用于圆柱体，也适用于其他结合中由单一尺寸确定的部分。目前我国使用的“极限与配合”的标准包括：《极限与配合　第 1 部分：公差、偏差和配合的基础》(GB/T 1800.1—2009)、《极限与配合　第 2 部分：标准公差等级和孔、轴的极限偏差表》(GB/T 1800.2—2009)、《极限与配合　公差带和配合的选择》(GB/T 1801—2009)、《一般公差　未注公差的线性和角度尺寸的公差》(GB/T 1804—2000)。

2.2　公差与配合的基本术语及定义

2.2.1　有关“尺寸”的术语及定义

1. 孔、轴

孔：主要指圆柱体内表面，也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分。

轴：主要指圆柱形外表面，也包括其他外表面中由单一尺寸确定的部分。

根据定义可以看出图 2.1 中，A、d_2、d_3、d_4 应当视为“轴”，而 B、d_1 应视为“孔”。从加工过程看，越加工越大的尺寸是孔尺寸，越加工越小的尺寸是轴尺寸。从装配关系看，凡有包容与被包容关系的两者，前者为孔，后者为轴。

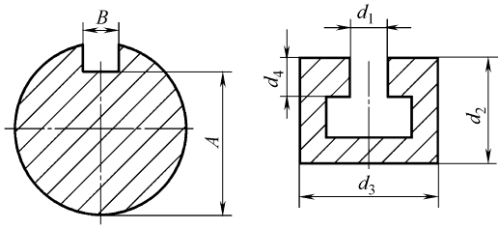


图 2.1　孔与轴的示意图

2. 尺寸

尺寸是指用特定单位表示线性尺寸和角度尺寸的数值。线性尺寸是指长度值，包括直径、半径、宽度、深度、高度和中心距等。在机械制图中图样上的线性尺寸的特定单位为 mm。角度尺寸表示角度值，单位为度(°)，分(′)，秒(″)。

本章所说的尺寸一般情况下表示长度量。

3. 公称尺寸

公称尺寸是指设计给定的尺寸。它是设计时根据使用要求，通过计算或根据经验确定的尺寸。通常应按标准选取，以减少定值刀具、量具、夹具等的规格。

公称尺寸是计算极限尺寸和极限偏差的起始尺寸，公称尺寸应标注在图样中。孔的公称尺寸用 D 表示，轴的公称尺寸用 d 表示。

4. 极限尺寸

极限尺寸是指允许尺寸变化的两个界限值。其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 2.2 所示。

5. 提取组成要素的局部尺寸

提取组成要素是按规定方法，由实际要素提取有限数目的点所形成的实际要素的近似替代。而提取组成要素上两对应点之间的距离统称为提取组成要素的局部尺寸，为方便可简称为提取要素的局部尺寸。

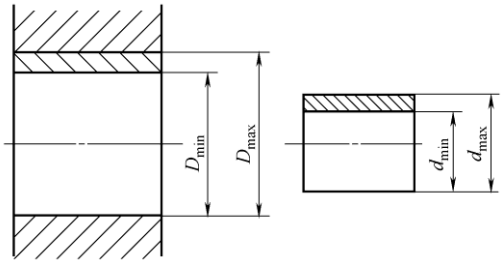


图 2.2　极限尺寸

由于存在测量误差，局部尺寸非尺寸的真值；又由于存在形状误差，零件的同一表面上的不同部位，其局部尺寸往往并不相等。孔、轴的提取要素局部尺寸分别用 D_a、d_a 表示。

6. 最大实体状态和最大实体尺寸

当提取要素的局部尺寸处处位于极限尺寸之内且使其具有实体最大时的状态称为最大实体状态(MMC)。确定要素最大实体状态的尺寸为最大实体尺寸(MMS)。孔、轴的最大实体尺寸分别用 D_M、d_M 表示。根据定义可知，最大实体尺寸是孔的下极限尺寸或轴的上极限尺寸。

7. 最小实体状态和最小实体尺寸

当提取要素的局部尺寸处处位于极限尺寸之内且使其具有实体最小时的状态称为最小实体状态(LMC)。确定要素最小实体状态的尺寸为最小实体尺寸(LMS)。孔、轴的最小实体尺寸分别用 D_L、d_L 表示。根据定义可知，最小实体尺寸是孔的上极限尺寸或轴的下极限尺寸。

2.2.2　有关“偏差”“公差”的术语及定义

1. 尺寸偏差

尺寸偏差(简称偏差)是某一尺寸减去其公称尺寸所得的代数差，可为正值、负值或零。在计算和标注时，除零外的值必须带有正、负号。

- 上极限偏差：上极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为上极限偏差。孔的上极限偏差用 ES 表示，轴的上极限偏差用 es 表示。
- 下极限偏差：下极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为下极限偏差。孔的下极限偏差用 EI 表示，轴的下极限偏差用 ei 表示。
- 上极限偏差总大于下极限偏差，上、下极限偏差统称为极限偏差。在图样上采用

公称尺寸带上、下极限偏差的标注形式。根据定义，孔、轴极限偏差可以表示如下。

孔：
$$\mathrm{ES}=D_{\max}-D \tag{2-1}$$
$$\mathrm{EI}=D_{\min}-D \tag{2-2}$$

轴：
$$\mathrm{es}=d_{\max}-d \tag{2-3}$$
$$\mathrm{ei}=d_{\min}-d \tag{2-4}$$

- 实际偏差：实际要素减去其公称尺寸所得的代数差。孔的实际偏差用 E_a 表示，轴的实际偏差用 e_a 表示。

【例 2-1】 已知轴的公称尺寸为ϕ80 mm，轴的上极限尺寸为ϕ79.970 mm，下极限尺寸为ϕ79.951 mm。求轴的极限偏差。

解：代入式(2-3)、(2-4)计算得

$\mathrm{es}=d_{\max}-d=79.970-80=-0.030(\mathrm{mm})$

$\mathrm{ei}=d_{\min}-d=79.951-80=-0.049(\mathrm{mm})$

轴用公称尺寸与极限偏差在图样上标注为：$\phi 80^{-0.030}_{-0.049}\mathrm{mm}$

2. 尺寸公差

允许尺寸的变动量称为尺寸公差(简称公差)。尺寸公差等于上极限尺寸与下极限尺寸之代数差的绝对值，也等于上极限偏差与下极限偏差之差的绝对值。孔用 T_h 表示，轴用 T_s 表示。其计算式为

孔：
$$T_h=\left|D_{\max}-D_{\min}\right|=\left|\mathrm{ES}-\mathrm{EI}\right| \tag{2-5}$$

轴：
$$T_s=\left|d_{\max}-d_{\min}\right|=\left|\mathrm{es}-\mathrm{ei}\right| \tag{2-6}$$

注意：公差与偏差是两个根本不同的概念，公差是绝对值，不能为零，它代表制造精度的要求，反映加工的难易程度；而偏差是代数差，表示与公称尺寸偏离的程度，与加工难易程度无关。

【例 2-2】已知孔、轴的公称尺寸为ϕ60 mm，孔的上极限尺寸为ϕ60.030 mm，下极限尺寸为ϕ60 mm；轴的上极限尺寸为ϕ59.990 mm，下极限尺寸为ϕ59.970 mm。求孔、轴的极限偏差和公差。

解：代入相应公式计算得

孔的上极限偏差 $\mathrm{ES}=D_{\max}-D=60.030-60=+0.030$

孔的下极限偏差 $\mathrm{EI}=D_{\min}-D=60.000-60=0.000$

轴的上极限偏差 $\mathrm{es}=d_{\max}-d=59.990-60=-0.010$

轴的下极限偏差 $\mathrm{ei}=d_{\min}-d=59.970-60=-0.030$

孔的公差　　$T_h = \left| D_{max} - D_{min} \right| = \left| 60.030 - 60 \right| = 0.030\,(\text{mm})$

轴的公差　　$T_s = \left| d_{max} - d_{min} \right| = \left| 59.990 - 59.970 \right| = 0.020\,(\text{mm})$

孔或轴用公称尺寸与极限偏差在图样上的标注分别如下。

孔：$\phi 60^{+0.030}_{0}$ mm　　轴：$\phi 60^{-0.010}_{-0.030}$ mm

2.2.3　公差带图

由于公差与偏差的数值与公称尺寸数值相比差别很大，不便用同一比例尺表示。为了便于讨论，这里只画出放大的孔、轴公差带，即公差与配合图解(简称公差带图)，如图 2.3 所示。

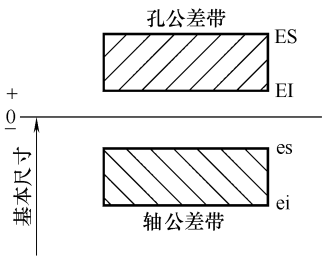


图 2.3　公差带图

1. 零线

在公差带图中，确定偏差的一条基准直线为零偏差线，简称零线。通常零线表示公称尺寸。在公差带图中，正偏差位于零线的上方，负偏差位于零线的下方。

2. 尺寸公差带

在公差带图中，由代表上、下极限偏差的两条直线所限定的一个区域，称为尺寸公差带(简称公差带)。在国家标准中，公差带包括“公差带大小”和“公差带位置”两个参数。前者由标准公差确定，后者由基本偏差确定。

3. 标准公差

国家标准规定的用以确定公差带大小的任一公差称为标准公差。

4. 基本偏差

国家标准规定的用以确定公差带相对于零线位置的上极限偏差或下极限偏差，一般以靠近零线的那个极限偏差作为基本偏差。

2.2.4 有关“配合”的术语及定义

1. 配合

配合是指一批公称尺寸相同的、相互结合的孔与轴反映在公差带图上的相互位置关系。孔轴配合时，孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差为正时是间隙，为负时是过盈。

2. 基准制

配合制是以两个相配合的零件中的一个零件为标准件，并对其选定标准公差带，将其公差带位置固定，而改变另一个零件的公差带位置，从而形成各种配合的一种制度。国家标准《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 1800.1—2009)对配合规定了两种基准制：基孔制和基轴制，如图 2.4 所示。

基孔制：基本偏差固定不变的孔公差带，与不同基本偏差的轴公差带形成各种配合的一种制度。基孔制中，孔的下极限偏差 EI 为零，称为基准孔，代号为“H”。

基轴制：基本偏差固定不变的轴公差带，与不同基本偏差的孔公差带形成的各种配合的一种公差制度。基轴制中，轴的上极限偏差 es 为零，称为基准轴，代号为“h”。

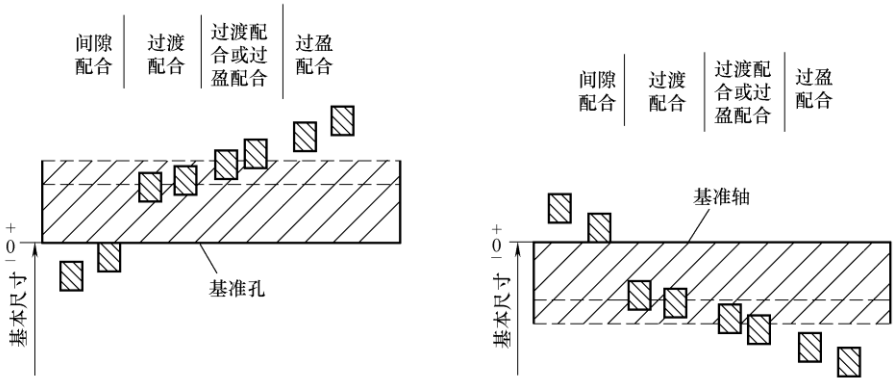


图 2.4 基孔制与基轴制配合

3. 间隙配合

具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合称为间隙配合。在公差带图上，孔的公差带位于轴的公差带之上，如图 2.5 所示。在间隙配合时，当孔为上极限尺寸、轴为下极限尺寸时，装配后便产生最大间隙(X_{max})；当孔为下极限尺寸、轴为上极限尺寸时，装配后便产生最小间隙(X_{min})。最大间隙和最小间隙统称为极限间隙，其计算式为

$$X_{max} = D_{max} - d_{min} = ES - ei \tag{2-7}$$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = \mathrm{EI} - \mathrm{es} \tag{2-8}$$

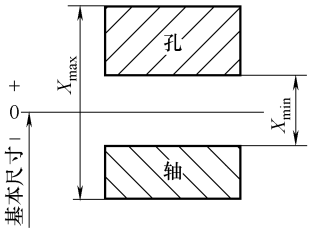


图 2.5　间隙配合

最大间隙和最小间隙的平均值称为平均间隙，其计算公式为

$$X_{\mathrm{av}} = (X_{\max} + X_{\min})/2 \quad (>0) \tag{2-9}$$

【例 2-3】公称尺寸为 ϕ60 mm 的孔、轴配合，已知 $D_{\max}$ = ϕ60.03 mm，$D_{\min}$ = ϕ60 mm，$d_{\max}$ = ϕ59.99 mm，$d_{\min}$=ϕ59.97 mm。求极限间隙量。

解：代入式(2-7)、(2-8)可得

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 60.03 - 59.97 = +0.06 \ (\mathrm{mm})$$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 60.00 - 59.99 = +0.01 \ (\mathrm{mm})$$

4. 过盈配合

具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合称为过盈配合。过盈配合反映在公差带图上，孔的公差带在轴的公差带之下，如图 2.6 所示。当孔为上极限尺寸、轴为下极限尺寸时，装配后便产生最小过盈($Y_{\min}$)；当孔为下极限尺寸、轴为上极限尺寸时，装配后便产生最大过盈($Y_{\max}$)。最小过盈与最大过盈统称为极限过盈，其计算式为

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = \mathrm{ES} - \mathrm{ei} \tag{2-10}$$

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = \mathrm{EI} - \mathrm{es} \tag{2-11}$$

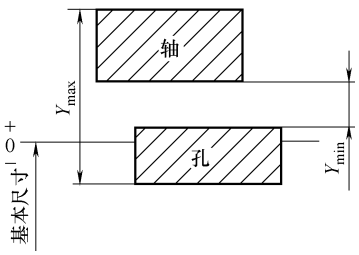


图 2.6　过盈配合

最大过盈和最小过盈的平均值称为平均过盈，其计算公式为

$$Y_{\mathrm{av}} = (Y_{\max} + Y_{\min})/2 \tag{2-12}$$

【例 2-4】已知某孔、轴的公称尺寸为ϕ60 mm，$D_{\max}$ = ϕ60.03 mm，$D_{\min}$ = ϕ60 mm，

$d_{max}=\phi 60.06$ mm，$d_{min}=\phi 60.04$ mm，求极限过盈量。

解：将已知条件代入式(2-10)和式(2-11)得

$$Y_{min}=D_{max}-d_{min}=60.03-60.04=-0.01\text{mm}$$

$$Y_{max}=D_{min}-d_{max}=60-60.06=-0.06\text{mm}$$

5. 过渡配合

可能有间隙或过盈的配合称为过渡配合。过渡配合反映在公差带图上，孔与轴的公差带相互交叠，如图 2.7 所示。当孔为上极限尺寸、轴为下极限尺寸时，装配后得到最大间隙(X_{max})；当孔为下极限尺寸，轴为上极限尺寸时，装配后产生最大过盈(Y_{max})。其计算公式为：

$$X_{max}=D_{max}-d_{min}=\text{ES}-\text{ei} \tag{2-13}$$

$$Y_{max}=D_{min}-d_{max}=\text{EI}-\text{es} \tag{2-14}$$

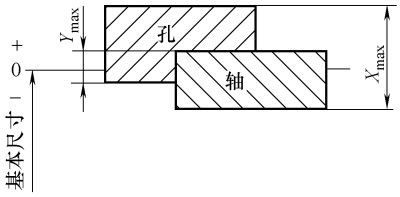


图 2.7　过渡配合

在过渡配合中，平均间隙或平均过盈为最大间隙和最大过盈的平均值，所得值为正，则为平均间隙；为负则为平均过盈。其计算公式为

$$X_{av}(Y_{av})=(X_{max}+Y_{max})/2 \tag{2-15}$$

【例 2-5】已知孔、轴的公称尺寸为$\phi 60$ mm，$D_{max}=\phi 60.03$ mm，$D_{min}=\phi 60$ mm，$d_{max}=\phi 60.01$ mm，$d_{min}=\phi 59.99$ mm。求极限间隙(过盈)。

解：将已知条件代入式(2-13)、(2-14)得

$$X_{max}=D_{max}-d_{min}=60.03-59.99=+0.04(\text{mm})$$

$$Y_{max}=D_{min}-d_{max}=60.00-60.01=-0.01(\text{mm})$$

6. 配合公差

配合公差(T_f)为相互配合的孔轴公差之和，也等于极限间隙或极限过盈之差的绝对值。配合公差表示配合精度，是评定配合质量的一个重要指标。其计算式为

$$T_f=T_h+T_s \tag{2-16}$$

用极限间隙(或过盈)量表示为

间隙配合：

$$T_f=\left|X_{max}-X_{min}\right| \tag{2-17}$$

过盈配合：　　$T_f = |Y_{min} - Y_{max}|$　　(2-18)

过渡配合：　　$T_f = |X_{max} - Y_{max}|$　　(2-19)

【例 2-6】已知公称尺寸为ϕ70 mm 的孔轴配合，T_f = 0.049 mm，X_{max} = +0.028 mm，Y_{max} = −0.021 mm，T_s = 0.019 mm，es=0，画出公差带图，说明孔轴配合性质。

解：由已知得

$$ei = es - T_s = 0 - 0.019 = -0.019 \text{ (mm)}$$

$$T_h = T_f - T_s = 0.049 - 0.019 = 0.030 \text{ (mm)}$$

$$X_{max} = ES - ei = +0.028 \text{ (mm)}$$

得　　$ES = +0.028 + (-0.019) = +0.009$ (mm)

$$Y_{max} = EI - es = -0.021\text{(mm)}\quad EI = -0.021 \text{ (mm)}$$

公差带如图 2.8 所示，该配合是过渡配合。

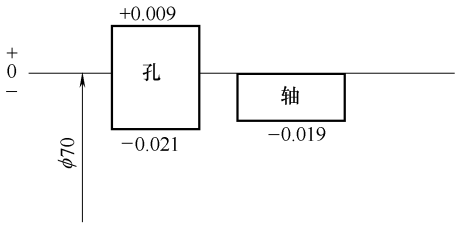


图 2.8　例 2-6 的公差带图

2.3　标准公差系列

标准公差是指大小已经标准化的公差值，即在公差与配合国家标准中所规定的用以确定公差带大小的任一公差值。公差与配合国家标准中规定的标准公差 T 是由公差等级系数 α与公差单位 i 的乘积所确定的，即：

$$T = \alpha \cdot i \qquad (2\text{-}20)$$

2.3.1　公差单位

经实践证明，机械零件的制造误差不仅与加工方法有关，而且与公称尺寸的大小有关，为了评定零件尺寸公差等级的高低，合理地规定公差数值，提出了公差单位的概念。

公差单位 i，又称公差因子，是计算标准公差的基本单位，是制定标准公差数值系列的基础。公称尺寸≤500 mm 时，公差单位 i 按下式确定：

$$i = 0.45\sqrt[3]{D_m} + 0.001D_m \quad (\mu m) \qquad (2\text{-}21)$$

式中：$D(d)$为公称尺寸分段的计算值(mm)。

在式(2-21)中，第一项主要反映加工误差，第二项用以补偿与直径成线性关系的误差(主要是测量时偏离标准温度引起的误差)。当直径很小时，第二项所占比例很小；当直径较大时，第二项所占比例加大，因此公差单位 i 的值也相应增大。

公称尺寸在 500～3150 mm 范围内时，公差单位 i 按下式确定：

$$i = 0.004D(d) + 2.1(\mu m) \tag{2-22}$$

由上可知，公差单位取决于公称尺寸的大小。当公称尺寸相同时，将公差单位 i 乘以不同的公差等级系数，可得到不同的公差数值。

2.3.2 公差等级

在公称尺寸一定的情况下，公差等级系数α是决定标准公差大小的唯一参数。根据公差等级系数的不同，国家标准将标准公差分为 20 级，即 IT01、IT0、IT1、IT2、…、IT18。IT 表示标准公差，即国际公差(ISO Tolerance)的缩写代号；阿拉伯数字表示公差等级代号。例如，IT8 表示标准公差 8 级。公差等级从 IT01 至 IT18 依次降低，其中 IT01 最高，IT18 最低。公称尺寸≤500mm 时，各级公差值的计算公式见表 2.1。

表 2.1 公称尺寸≤500mm 时各级标准公差的计算公式 μm

公差等级	公 式	公差等级	公 式	公差等级	公 式
IT01	0.3+0.008D	IT5	7i	IT12	160i
IT0	0.5+0.012D	IT6	10i	IT13	250i
IT1	0.8+0.020D	IT7	16i	IT14	400i
IT2	$(IT1)\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{1/4}$	IT8	25i	IT15	640i
IT3	$(IT1)\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{1/2}$	IT9	40i	IT16	1000i
		IT10	64i	IT17	1600i
IT4	$(IT1)\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{3/4}$	IT11	100i	IT18	2500i

从表中可以看出，从 IT6～IT18 级，α值按 R5 优先数系增加。高公差等级 IT01、IT0 和 IT1，其公差计算式采用线性关系式。IT2～IT4 的公差值则大致在 IT1～IT5 的公差值之间按几何级数分布。标准公差之间，在 R5 数系中插入 R10 等数系，可以使公差等级向高、低等级方向延伸。例如：IT6.5 = 12.5i。

公称尺寸在 500～3150 mm 的大范围内，国家标准也同样规定了 20 个公差等级。

2.3.3　公称尺寸分段及标准公差表

根据标准公差计算式看，每个公称尺寸都应有一个公差值。但在生产实际中公称尺寸很多，会形成一个庞大的公差数值表，给生产带来许多困难。实际上在一定尺寸范围内的不同公称尺寸所计算出的公差单位差别很小。因此为了减少标准公差数目，统一公差值、简化公差表格和便于生产实际应用，国家标准对公称尺寸进行了分段，如表 2.2 所示。

表 2.2　公称尺寸≤500 mm 时标准公差数值表(摘自 GB/T1800.1—2009)

公称尺寸	公差等级									
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
	μm									
≤3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14
3～6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18
6～10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22
10～18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27
18～30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33
30～50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39
50～80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46
80～120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54
120～180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63
180～250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72
250～315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81
315～400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89
400～500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97
公称尺寸	公差等级									
	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
	μm			mm						
≤3	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3～6	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6～10	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10～18	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18～30	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3

续表

公称尺寸	公差等级									
	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
	μm			mm						
30～50	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50～80	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80～120	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120～180	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180～250	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2
250～315	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315～400	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
400～500	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7

注：公称尺寸小于 1 mm 时，无 IT14 至 IT18。

分段后，对同一尺寸分段内的所有公称尺寸，采用统一的公差单位。计算时将相应尺寸分段内的首、尾两尺寸的几何平均值作为式(2-21)中的公称尺寸计算值。对同一尺寸分段内的所有公称尺寸，在公差等级相同的情况下，规定相同的标准公差。例如公称尺寸 D 在 80～120 mm 尺寸段内，公称尺寸用首、尾两数的几何平均值 $D=\sqrt{80\times120}=97.98$ mm 代入式(2-21)计算出公差数值，再经圆整后得出标准公差数值。

2.4 基本偏差系列

2.4.1 基本偏差的意义及其代号

如前所述，基本偏差是用以确定公差带相对于零线位置的上、下极限偏差中，靠近零线的那个极限偏差。基本偏差是国家标准中确保公差带位置标准化的唯一指标。

国家标准中对孔和轴分别规定了 28 种基本偏差，基本偏差代号用拉丁字母表示，大写字母表示孔，小写字母表示轴。图 2.9 所示为基本偏差系列，在 26 个字母中去掉容易与其他含义混淆的 I(i)、L(1)、O(o)、Q(q)和 W(w)，余下的 21 个字母再加上 7 个双写字母 CD(cd)、EF(ef)、FG(fg)、JS(js)、ZA(za)、ZB(zb)和 ZC(zc)共 28 个，作为基本偏差的代号。其中 JS(js)将逐步取代近似对称的 J(j)，因此在国家标准中孔仅保留 J6、J7 和 J8，轴仅保留 j5、j6、j7 和 j8。

从图 2.9 中可以看出基本偏差系列分为两部分，上半部是基轴制中孔的 28 种基本偏

差，下半部是基孔制中轴的 28 种基本偏差。图中基本偏差系列各公差带只画出一端，另一端未画出，因为它取决于公差带的大小。

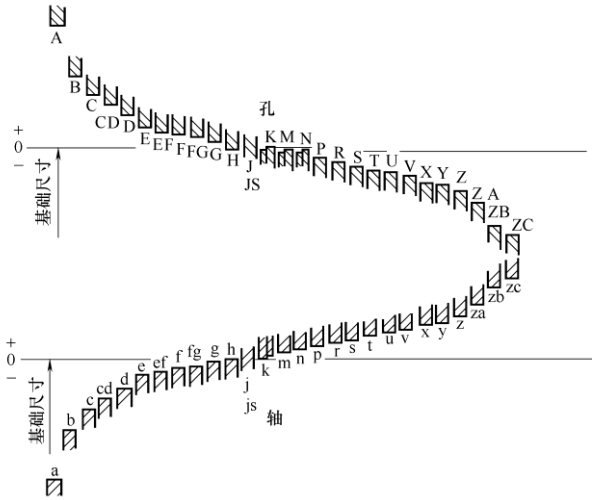


图 2.9　基本偏差系列

2.4.2　轴的基本偏差

1. 轴的基本偏差的确定

轴的基本偏差是以基孔制配合为基础而制定的。它的大小往往决定着孔、轴配合的性质，体现了设计、使用方面的要求。根据各种不同的配合要求，在生产实践和大量实验的基础上整理出一系列轴的基本偏差计算式，如表 2.3 所列。

表 2.3　公称尺寸≤500mm 的基本偏差公式(摘自 GB/T 1800.1—2009)

基本偏差代号	适用范围	基本偏差为上极限偏差 es/μm	基本偏差代号	适用范围	基本偏差为下极限偏差 ei /μm
a	D≤120mm	$-(265+1.3D)$	j	IT5～IT8	没有公式
	D＞120mm	$-3.5D$	k	≤IT3	0
b	D≤160mm	$-(140+0.85D)$		IT4～IT7	$+0.6\sqrt[3]{D}$
				≥IT8	0
	D＞160mm	$-1.8D$	m		+ (IT7～IT6)
c	D≤40mm	$-52D^{0.2}$	n		$+5D^{0.34}$
	D＞40mm	$-(95+0.8D)$	p		+IT7+(0～5)
cd		$-\sqrt{c\cdot d}$	r		$+\sqrt{p\cdot s}$
d		$-16D^{0.44}$	s	D≤50mm	+IT8+(1～4)

续表

基本偏差代号	适用范围	基本偏差为上极限偏差 es/μm	基本偏差代号	适用范围	基本偏差为下极限偏差 ei /μm
e		$-11D^{0.41}$		$D>50$mm	+IT7+0.4D
			t	$D>24$mm	+IT7+0.63D
ef		$-\sqrt{e\cdot f}$	u		+IT7+D
			v	$D>14$mm	+IT7+1.25D
f		$-5.5D^{0.41}$	x		+IT7+1.6D
			y	$D>18$mm	+IT7+2D
fg		$-\sqrt{f\cdot g}$	z		+IT7+2.5D
			za		+IT8+3.15D
g		$-2.5D^{0.34}$	zb		+IT9+4D
h		0	zc		+IT10+5D
			$js=\pm\frac{IT}{2}$		

注：①式中，D 为公称尺寸的分段计算值，单位为 mm。

②除 j 和 js 外，表中所列公式与公差等级无关。

2. 轴的基本偏差的特点

- a～h：基本偏差为上极限偏差，es≤0，分别与基准孔配合，得到间隙配合，其最小间隙量等于基本偏差的绝对值。其中 a、b、c 用于大间隙或热动配合，考虑发热膨胀的影响。
- d、e、f：主要用于旋转运动，保证良好的液体摩擦。g 间隙小，主要用于滑动和半液体摩擦，或用于定位配合。
- cd、ef、fg：适用于小尺寸的旋转运动。
- j：只有 IT5、IT6、IT7、IT8 四个公差等级。
- js：完全对称零线分布，上下极限偏差的绝对值相等，符号相反，基本偏差为 ±IT/2。
- k、m、n：基本偏差为下极限偏差，主要用于过渡配合，所得间隙和过盈均不很大。
- p～zc：基本偏差为下极限偏差，主要用于过盈配合，保证孔、轴结合时具有足够的连接强度，正常地传递扭矩。

在求取基本偏差的基础上，根据式(2-3)、(2-4)可求得轴的另一个极限偏差。

2.4.3　孔的基本偏差

在孔、轴为同一公差等级或孔比轴低一级配合的条件下，基轴制中的孔的基本偏差代号与基孔制中轴的基本偏差代号相同时，它们所形成的配合性质相同，即极限间隙(或过盈)量相等。因此，公称尺寸 $D \leqslant 500$ mm 时孔的基本偏差可以由轴的基本偏差换算得到。

1. 通用规则

用同一字母表示的孔、轴基本偏差的绝对值相等，而符号相反。

通用规则的适用范围如下。

对所有的 A～H 表示偏差的孔：

$$EI = -es \tag{2-23}$$

对标准公差值大于 IT8 的 K、M、N 和大于 IT7 的 P～ZC 表示偏差的孔：

$$ES = -ei \tag{2-24}$$

2. 特殊规则

当孔、轴的基本偏差代号相同时，孔的基本偏差 ES 和轴的基本偏差 ei 符号相反，而绝对值相差一个 Δ 值。这是因为国家标准规定在较高公差等级中，按孔比轴低一级来考虑配合，且要求两种基准制中同名的配合其配合性质相同。

$$ES = -ei + \Delta \tag{2-25}$$

$$\Delta = IT_n - IT_{n-1} = IT_h - IT_s$$

式中：IT_n 为某一级孔的标准公差；IT_{n-1} 为比某级孔高一级的轴的标准公差。

特殊规则的应用范围：标准公差值≤IT8 的 J、K、M、N 和≤IT7 的 P～ZC 表示偏差的孔。

【例 2-7】已知ϕ 50H7($^{+0.025}_{0}$)/g6($^{-0.009}_{-0.025}$)，求ϕ50G7/h6 的极限间隙或过盈量，并画出公差带图。

解：轴ϕ50g6 和孔ϕ50G7 同名，满足通用规则。

ϕ50G7：

$$EI = -es = -(-0.009) = +0.009 \text{ (mm)}$$

$$IT7 = 0.025 - 0 = 0.025 \text{ (mm)}$$

$$ES = EI + IT7 = +0.009 + 0.025 = +0.034 \text{ (mm)}$$

轴ϕ50h6：

$$es = 0$$

IT6 = −0.009 − (−0.025) = 0.016 (mm)

ei = −0.016 (mm)

X_{max} = ES − ei = +34 − (−16) = +50 (μm)

X_{min} = EI − es = 0 − (−9) = +9 (μm)

公差带如图 2.10 所示。

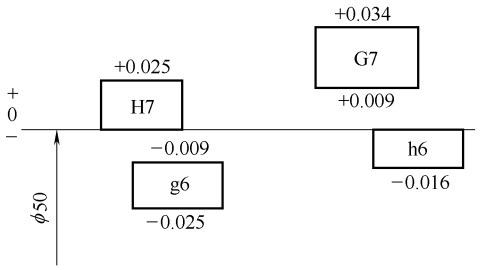


图 2.10　例 2-7 的公差带图

【例 2-8】已知ϕ 60H7($^{+0.030}_{0}$)/p6($^{+0.051}_{+0.032}$)，求ϕ60P7/h6 的公差带(查表验证)。

解：已知条件 IT7 = 0.030 mm　IT6 = 0.019 mm

ϕ60P7：

满足特殊规则，Δ = IT7 – IT6 = 0.030 – 0.019 = 0.011(mm)

代入式(2-25)得

ES = −ei + Δ = −32+11 = −21 (μm)

EI = ES − IT7 = −21−30 = −51 (μm)

ϕ60h6：

es = 0 μm　　ei = −19 μm

其公差带如图 2.11 所示。

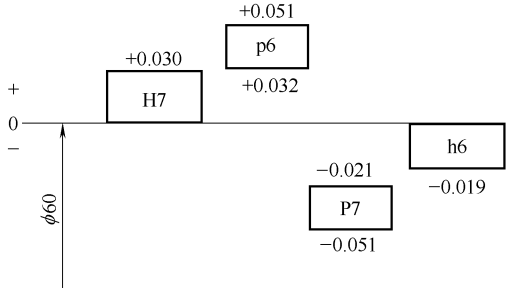


图 2.11　例 2-8 的公差带图

按上述轴的基本偏差计算公式和孔的基本偏差换算原则，国家标准列出了轴、孔的基本偏差数值表，表 2.4 和表 2.5 仅列出公称尺寸至 500mm 的公差值。

表 2.4　公称尺寸≤500mm 的轴的基本偏差(摘自 GB/T 1800.1—2009)

基本偏差		上极限偏差 es/μm											js	下极限偏差 ei/μm				
		a①	b①	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h		j			k	
公称尺寸/mm		公差等级																
大于	至	所有的级												5、6	7	8	4～7	≤3 >7
—	3	–270	–140	–60	–34	–20	–14	–10	–6	–4	–2	0	偏差等于 $\pm\frac{IT}{2}$	–2	–4	–6	0	0
3	6	–270	–140	–70	–46	–30	–20	–14	–10	–6	–4	0		–2	–4	—	+1	0
6	10	–280	–150	–80	–56	–40	–25	–18	–13	–8	–5	0		–2	–5	—	+1	0
10	14	–290	–150	–95	—	–50	–32	—	–16	—	–6	0		–3	–6	—	+1	0
14	18																	
18	24	–300	–160	–110	—	–65	–40	—	–20	—	–7	0		–4	–8	—	+2	0
24	30																	
30	40	–310	–170	–120	—	–80	–50	—	–25	—	–9	0		–5	–10	—	+2	0
40	50	–320	–180	–130														
50	65	–340	–190	–140	—	–100	–60	—	–30	—	–10	0		–7	–12	—	+2	0
65	80	–360	–200	–150														
80	100	–380	–220	–170	—	–120	–72	—	–36	—	–12	0		–9	–15	—	+3	0
100	120	–410	–240	–180														
120	140	–460	–260	–200	—	–145	–85	—	–43	—	–14	0		–11	–18	—	+3	0
140	160	–520	–280	–210														
160	180	–580	–310	–230														
180	200	–660	–340	–240	—	–170	–100	—	–50	—	–15	0		–13	–21	—	+4	0
200	225	–740	–380	–260														
225	250	–820	–420	–280														
250	280	–920	–480	–300	—	–190	–110	—	–56		–17	0		–16	–26	—	+4	0
280	315	–1050	–540	–330														
315	355	–1200	–600	–360	—	–210	–125	—	–62	—	–18	0		–18	–28	—	+4	0
355	400	–1350	–680	–400														
400	450	–1500	–760	–440	—	–230	–135	—	–68	—	–20	0		–20	–32	—	+5	0
450	500	–1650	–840	–480														

注：① 1mm 以下各级 a 和 b 均不采用。

续表

基本偏差		下极限偏差 ei/μm													
		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
公称尺寸/mm		公差等级													
大于	至	所有的级													
—	3	+2	+4	+6	+10	+14	—	+18	—	+20	—	+26	+32	+40	+60
3	6	+4	+8	+12	+15	+19	—	+23	—	+28	—	+35	+42	+50	+80
6	10	+6	+10	+15	+19	+23	—	+28	—	+34	—	+42	+52	+67	+97
10	14	+7	+12	+18	+23	+28	—	+33	—	+40	—	+50	+64	+90	+130
14	18								+39	+45	—	+60	+77	+108	+150
18	24	+8	+15	+22	+28	+35	—	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24	30						+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30	40	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50						+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50	65	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80				+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120				+54	+79	+104	+144	+172	+210	+256	+310	+400	+525	+690
120	140	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160				+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180				+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180	200	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200	225				+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225	250				+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250	280	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280	315				+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315	355	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355	400				+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450	500				+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

表 2.5　公称尺寸≤500 mm 的孔的基本偏差(摘自 GB/T 1800.1—2009)

基本偏差		下极限偏差 EI/μm										JS	上极限偏差 ES/μm								
		A①	B①	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	J			k		M		N	
公称尺寸/mm		公差等级																			
大于	至	所有的级											6	7	8	≤8	>8	≤8	>8	≤8	>8
–	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0		+2	+4	+6	0	0	–2	–2	–4	–4
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	–1+Δ	—	–4+Δ	–4	–8+Δ	0
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	–1+Δ	—	–6+Δ	–6	–10+Δ	0
10	14	+290	+150	+95	—	+50	+32	—	+16	—	+6	0		+6	+10	+15	–1+Δ	—	–7+Δ	–7	–12+Δ	0
14	18																					
18	24	+300	+160	+110	—	+65	+40	—	+20	—	+7	0		+8	+12	+20	–2+Δ	—	–8+Δ	–8	–15+Δ	0
24	30																					
30	40	+310	+170	+120	—	+80	+50	—	+25	—	+9	0		+10	+14	+24	–2+Δ	—	–9+Δ	–9	–17+Δ	0
40	50	+320	+180	−130																		
50	65	+340	+190	+140	—	+100	+60	—	+30	—	+10	0		+13	+18	+28	–2+Δ	—	–11+Δ	–11	–20+Δ	0
65	80	+360	+200	+150																		
80	100	+380	+220	+170	—	+120	+72	—	+36	—	+12	0		+16	+22	+34	–3+Δ	—	–13+Δ	–13	–23+Δ	0
100	120	+410	+240	+180																		
120	140	+460	+260	+200	—	+145	+85	—	+43	—	+14	0		+18	+26	+41	–3+Δ	—	–15+Δ	–15	–27+Δ	0
140	160	+520	+280	+210																		
160	180	+580	+310	+230																		
180	200	+660	+340	+240	—	+170	+100	—	+50	—	+15	0		+22	+30	+47	–4+Δ	—	–17+Δ	–17	–31+Δ	0
200	225	+740	+380	+260																		
225	250	+820	+420	+280																		
250	280	+920	+480	+300	—	+190	+110	—	+56	—	+17	0		+25	+36	+55	–4+Δ	—	–20+Δ	–20	–34+Δ	0
280	315	+1050	+540	+330																		
315	355	+1200	+600	+360	—	+210	+125	—	+62	—	+18	0		+29	+39	+60	–4+Δ	—	–21+Δ	–21	–37+Δ	0
355	400	+1350	+680	+400																		
400	450	+1500	+760	+440	—	+230	+135	—	+68	—	+20	0		+33	+43	+65	–5+Δ	—	–23+Δ	–23	–40+Δ	0
450	500	+1650	+840	+480																		

偏差等于 $\pm\frac{IT}{2}$

注：① 1 mm 以下各级 A 和 B 均不采用。

② 标准公差≤IT8 级的 K、M、N 及≤IT7 级的 P 到 ZC 时，从表的右侧选取Δ值。

例：在 18～30 mm 之间的 P7，Δ＝8，因此 ES＝–14。

续表

基本偏差		上极限偏差 ES/μm												Δ[2] μm					
		P～ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC					
公称尺寸/mm		公差等级																	
大于	至	≤7	>7												3	4	5	6	7	8
—	3	在大于7级的相应数值上增加一个Δ值	–6	–10	–14	—	–18	—	–20	—	–26	–32	–40	–60	0					
3	6		–12	–15	–19	—	–23	—	–28	—	–35	–42	–50	–80	1	1.5	1	3	4	6
6	10		–15	–19	–23	—	–28	—	–34	—	–42	–52	–67	–97	1	1.5	2	3	6	7
10	14		–18	–23	–28	—	–33	—	–40	—	–50	–64	–90	–130	1	2	3	3	7	9
14	18							–39	–45	—	–60	–77	–108	–150						
18	24		–22	–28	–35	—	–41	–47	–54	–63	–73	–98	–136	–188	1.5	2	3	4	8	12
24	30					–41	–48	–55	–64	–75	–88	–118	–160	–218						
30	40		–26	–34	–43	–48	–60	–68	–80	–94	–112	–148	–200	–274	1.5	3	4	5	9	14
40	50					–54	–70	–81	–97	–114	–136	–180	–242	–325						
50	65		–32	–41	–53	–66	–87	–102	–122	–144	–172	–226	–300	–405	2	3	5	6	11	16
65	80			–43	–59	–75	–102	–120	–146	–174	–210	–274	–360	–480						
80	100		–37	–51	–71	–91	–124	–146	–178	–214	–258	–335	–445	–585	2	4	5	7	13	19
100	120			–54	–79	–104	–144	–172	–210	–254	–310	–400	–525	–690						
120	140		–43	–63	–92	–122	–170	–202	–248	–300	–365	–470	–620	–800	3	4	6	7	15	23
140	160			–65	–100	–134	–190	–228	–280	–340	–415	–535	–700	–900						
160	180			–68	–108	–146	–210	–252	–310	–380	–465	–600	–780	–1000						
180	200		–50	–77	–122	–166	–236	–284	–350	–425	–520	–670	–880	–1150	3	4	6	9	17	26
200	225			–80	–130	–180	–258	–310	–385	–470	–575	–740	–960	–1250						
225	250			–84	–140	–196	–284	–340	–425	–520	–640	–820	–1050	–1350						
250	280		–56	–94	–158	–218	–315	–385	–475	–580	–710	–920	–1200	–1550	4	4	7	9	20	29
280	315			–98	–170	–240	–350	–425	–525	–650	–790	–1000	–1300	–1700						
315	355		–62	–108	–190	–268	–390	–475	–590	–730	–900	–1150	–1500	–1900	4	5	7	11	21	32
355	400			–114	–208	–294	–435	–530	–660	–820	–1000	–1300	–1650	–2100						
400	450		–68	–126	–232	–330	–490	–595	–740	–920	–1100	–1450	–1850	–2400	5	5	7	13	23	34
450	500			–132	–252	–360	–540	–660	–820	–1000	–1250	–1600	–2100	–2600						

2.4.4　孔、轴公差带和配合的表示

孔、轴公差带用基本偏差的字母和公差等级数字表示，如 H7 为孔公差带，h7 为轴公差带。

标注公差的尺寸用公称尺寸后跟所需要的公差带或(和)对应的偏差值表示。如 ϕ30H7、$\phi100(^{-0.012}_{-0.034})$、$\phi$100g6$(^{-0.012}_{-0.034})$。

配合用相同的公称尺寸后面跟孔、轴公差带表示。孔、轴公差带写成分数形式，分子是孔公差带，分母是轴公差带。如 $\phi50\frac{H7}{g6}$ 或 ϕ50H7/g6。

2.5　国标规定的常用公差与配合

国家标准中规定了 20 个公差等级的标准公差与 28 种基本偏差代号，可以组成孔公差带 20×27+3(J6、J7、J8)=543 种，轴公差带 20×27+4(j6、j7、j8、j9)=544 种。由不同的孔与轴公差带又可组成很多种配合。

为了减少定值刀具、量具的规格，结合我国生产实际并参考其他国家标准，国家标准对公称尺寸在 500mm 内的公差带和配合选用加以限制。

2.5.1　常用尺寸段的孔、轴公差带

根据生产实际情况，国家标准对常用尺寸段推荐了孔、轴的一般、常用和优先公差带。图 2.12 和图 2.13 所示为国家标准《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 1800.1—2009)推荐的孔、轴公差带代号。

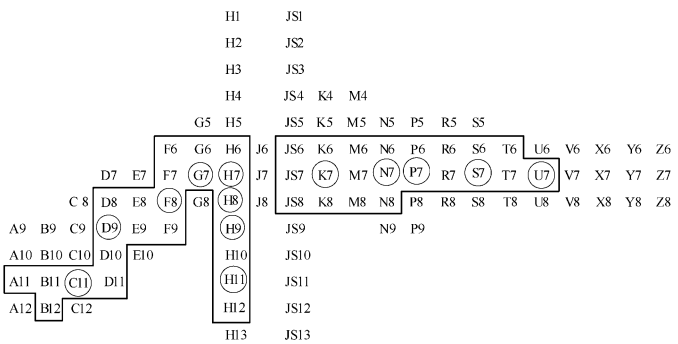


图 2.12　孔的一般、常用、优先公差带(尺寸≤500mm)

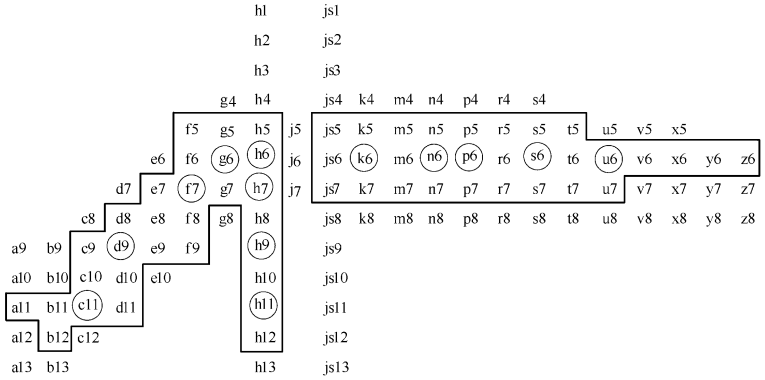


图 2.13　轴的一般、常用、优先公差带(尺寸≤500 mm)

图 2.12 和图 2.13 所示的公差带中，方框内为常用公差带，画圈者为优先选用公差带。由这两图可知：一般公差带孔、轴分别有 105、116 种，常用公差带孔、轴分别有 44、59 种，优先公差带孔、轴各有 13 种。

2.5.2　常用尺寸段的公差与配合

国家标准在规定孔、轴公差带选用的基础上，还规定了孔、轴公差带的组合。基孔制配合中常用的配合有 59 种，如表 2.6 所示。其中注有◤符号的 13 种为优先配合。基轴制配合中常用的配合有 47 种，如表 2.7 所示。其中注有◤符号的 13 种为优先配合。表 2.6 中，当轴的公差小于或等于 IT7 时，是与低一级的基准孔相配合；大于或等于 IT8 时，与同级基准孔相配合。

表 2.6　基孔制优先、常用配合

基准孔	轴																					
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合				过盈配合								
H6						H6/f5	H6/g5	H6/h5	H6/js5	H6/k5	H6/m5	H6/n5	H6/p5	H6/r5	H6/s5	H6/t5					
H7						H7/f6	H7/g6	H7/h6	H7/js6	H7/k6	H7/m6	H7/n6	H7/p6	H7/r6	H7/s6	H7/t6	H7/u6	H7/v6	H7/x6	H7/y6	H7/z6
H8					H8/e7	H8/f7	H8/g7	H8/h7	H8/js7	H8/k7	H8/m7	H8/n7	H8/p7	H8/r7	H8/s7	H8/t7	H8/u7				
				H8/d8	H8/e8	H8/f8		H8/h8													
H9			H9/c9	H9/d9	H9/e9	H9/f9		H9/h9													
H10			H10/c10	H10/d10				H10/h10													
H11	H11/a11	H11/b11	H11/c11	H11/d11				H11/h11													
H12		H12/b12						H12/h12													

表 2.7　基轴制优先、常用配合

基准轴	孔																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
	间隙配合								过渡配合				过盈配合								
h5						F6/h5	G6/h5	H6/h5	JS6/h5	K6/h5	M6/h5	N6/h5	P6/h5	R6/h5	S6/h5	T6/h5					
h6						F7/h6	G7/h6	H7/h6	JS7/h6	K7/h6	M7/h6	N7/h6	P7/h6	R7/h6	S7/h6	T7/h6	U7/h6				
h7					E8/h7	F8/h7		H8/h7	JS8/h7	K8/h7	M8/h7	N8/h7									
h8				D8/h8	E8/h8	F8/h8		H8/h8													
h9				D9/h9	E9/h9	F9/h9		H9/h9													
h10				D10/h10				H10/h10													
h11	A11/h11	B11/h11	C11/h11	D11/h11				H11/h11													
h12		B12/h12						H12/h12													

表 2.7 中，当孔的公差小于或等于 IT8 时，是与高一级的基准轴相配合；其余是与同级基准轴相配合。

2.6　常用尺寸段公差与配合的选用

公差与配合的选择是机械设计与制造中至关重要的一环，它关系到机械的使用性能和制造成本。在设计工作中，公差与配合的选择包括基准制、公差等级、配合种类及代号的选择。

2.6.1　基准制的选择

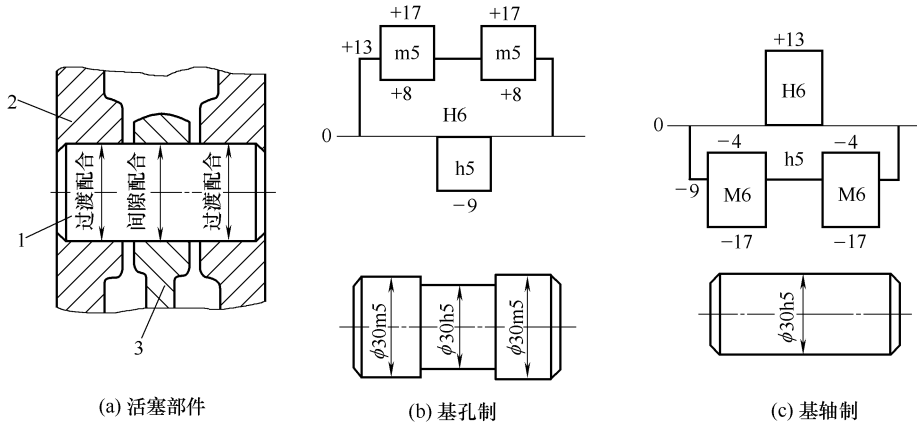
基准制的选择与使用要求无关，主要应当从结构、工艺、装配及经济效益等方面加以考虑，一般情况下优先选用基孔制配合。因为孔通常用定值刀具(如钻头、绞刀、拉刀等)加工，用极限量规检测，选用基孔制可以减少孔用刀具的品种和规格，有利于实现刀、量具的标准化、系列化，获得更好的经济效益。

但是在下面情况下采用基轴制配合可能比较合理。

(1)　同一公称尺寸的轴上需要装配几个不同配合的零件时，应当选用基轴制，既有利于加工，又便于装配。

如图 2.14 所示的活塞部件装配就属于这种情况。当选择基孔制时，由于使用要求活塞

销 l 与活塞 2 之间为过渡配合，而活塞 2 与连杆小头 3 之间有相对运动，要求间隙配合，使公差带如图 2.14(b)所示。此时只有将轴加工成台阶状才能符合各段配合要求，但这样既不便于加工，又不利于装配。当选用基轴制时，将这三段配合改为ϕ30M6/h5、ϕ30H6/h5和ϕ30M6/h5，其公差带如图 2.14(c)所示。活塞销采用光轴后，既方便加工又利于装配。



(a) 活塞部件　　(b) 基孔制　　(c) 基轴制

图 2.14　活塞部件装配

(2)　与标准件相配合的零件应根据标准件确定基准制。例如，与滚动轴承内圈配合的轴应选择基孔制，而与滚动轴承外圈结合的孔应选择基轴制。

(3)　在农业机械、建筑机械等制造中，直接采用一定公差等级的冷拔钢材做销轴，不需切削加工，此时应采用基轴制。

此外，为了满足某些配合的特殊要求，国家标准允许采用任意孔、轴公差带组成的配合，即没有基准件的非基准制配合。

2.6.2　公差等级的选择

1. 选择公差等级的基本原则

选择公差等级的依据就是较好地协调机器零、部件的使用要求与制造工艺及成本之间的矛盾。为了合理地选择公差等级，做到更好地协调机器零、部件使用要求与制造工艺及成本之间的矛盾，一般按以下原则确定公差等级。

(1)　在满足使用要求的前提下尽量选用较低的公差等级。

在公称尺寸相同时，公差等级越高，生产成本越高，对生产技术条件和机床精度等要求也随之提高。因此在选择公差等级时，既要满足设计要求，又要充分考虑工艺的可能性和经济性。在满足使用要求的前提下，尽量扩大公差值。

(2) 遵守国家标准中对孔、轴配合的有关规定。

对于公称尺寸≤500 mm 常用尺寸段中较高精度等级的配合，由于孔比同级的轴难以加工，当孔、轴的标准公差＜IT8 时，国家标准推荐孔比轴低一级相配合。

当标准公差＞IT8 级，或公称尺寸＞500 mm 时，由于此时孔的测量精度比轴的测量精度容易保证，推荐孔与轴采用同级配合。

在某些特殊情况下，例如仪表行业中的小尺寸(≤3 mm)的公差等级，甚至有孔比轴高一级或高两级组成配合的情况。

对于采用非基准制配合，由基准件以外的任意孔、轴组成的配合，孔和轴的公差等级不受此规定的约束。

2. 确定公差等级的方法

确定公差等级的方法主要有以下两种。

1) 计算-查表法

若已知配合的极限间隙(或极限过盈)，先计算出配合公差，再根据配合公差是孔轴公差之和，用查表的方法确定孔、轴的公差等级。

【例 2-9】已知公称尺寸为ϕ80 mm 的孔轴配合，要求配合间隙在+35～+84 μm 之间，试确定孔、轴的公差等级。

解：先计算配合公差

$$T_{\mathrm{f}} = \left| X_{\max} - X_{\min} \right| = \left| +84 - (+35) \right| = 49\ (\mu\mathrm{m})$$

又因为配合公差是孔、轴公差之和，所以 $T_{\mathrm{f}} = T_{\mathrm{h}} + T_{\mathrm{s}}$ =49 (μm

根据 $T_{\mathrm{h}} = T_{\mathrm{s}} = \dfrac{1}{2} T_{\mathrm{f}}$ 的原则，得出预选公差值 $T_{\mathrm{h}} = T_{\mathrm{s}} = 24.5\ \mu\mathrm{m}$

查表 2.2，选定

$$T_{\mathrm{h}} = \mathrm{IT7} = 30\ \mu\mathrm{m} \qquad T_{\mathrm{s}} = \mathrm{IT6} = 19\ \mu\mathrm{m}$$

验算 $$T_{\mathrm{f}} = \mathrm{IT7} + \mathrm{IT6} = 49\ \mu\mathrm{m}$$

因此所选公差等级符合使用要求，亦符合工艺等价的原则(国标的规定孔比轴精度低一级)。

2) 类比法

所谓类比法，就是参照生产实践中总结出的经验资料，与使用要求对比来选择公差等级的方法。应用类比法确定公差等级时，应考虑以下几个方面。

(1) 明确零件的使用要求和工作条件，以此确定配合表面的主次。通常，主要配合表面的孔为 IT6～IT8，轴为 IT5～IT7；次要配合表面的孔为 IT9～IT12，轴为同级；非配合表面的孔、轴一般在 IT12 以下。

(2) 掌握各种加工方法所能达到的公差等级。表 2.8 所示为各种加工方法能达到的公差等级。

表 2.8 各种加工方法所能达到的公差等级

加工方法	公差等级																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
研磨	○	○	○	○	○	○	○													
珩磨						○	○	○	○											
圆磨							○	○	○	○										
平磨							○	○	○	○										
金刚石车							○	○	○											
金刚石镗							○	○	○											
拉削							○	○	○	○										
绞孔								○	○	○	○	○								
车									○	○	○	○	○							
镗									○	○	○	○	○							
铣										○	○	○	○							
刨、插												○	○							
钻												○	○	○	○					
滚压、挤压												○	○							
冲压												○	○	○	○	○				
压铸													○	○	○	○				
粉末冶金成型								○	○	○										
粉末冶金烧结									○	○	○	○								
砂型铸造、气割																		○	○	○
锻造																	○	○		

(3) 掌握各个公差等级的应用范围。国家标准推荐的各公差等级的应用范围如下。

① IT01、IT0、IT1 级一般用于高精度量块和其他精密尺寸标准块的公差。它们大致

相当于量块 l、2、3 级精度的公差。

②　IT2～IT5 级用于特精密零件的配合。

③　IT5(孔 IT6)级用于高精度和重要的配合。例如：内燃机中活塞销与活塞销孔的配合；精密机床中主轴的轴颈、主轴箱体孔与精密滚动轴承的配合，车床尾座孔和顶尖套筒的配合。

④　IT6(孔 IT7)级用于精密配合情况，应用较广。例如内燃机中曲柄与轴套的配合。

⑤　IT7～IT8 级用于一般精度的配合。例如一般机械中速度不高的轴与轴承的配合，在重型机械中用于精度要求稍高的配合，在农业机械中用于较重要的配合。

⑥　IT9～IT10 级常用于一般要求的配合，或精度要求较高的槽宽配合。

⑦　IT11～IT12 级用于不重要的配合。

⑧　IT12～IT18 级用于未注尺寸公差的尺寸精度，包括冲压件、铸锻件及其他非配合尺寸的公差。

(4)　考虑配合性质。对间隙配合而言，间隙小的配合公差等级应较高，间隙大的配合公差等级可以低些。过渡、过盈配合的公差等级应大致为孔≤IT8，轴≤IT7。

(5)　考虑相配件的精度。例：与 G 级滚动轴承配合的外壳孔规定为 IT7，轴颈为 IT6；而与 C 级轴承配合的外壳孔为 IT5，轴颈为 IT4。

还应注意相配合的孔、轴工艺等价性。相配合的孔、轴工艺等价性见表 2.9。

表 2.9　相配合的孔轴工艺等价性

配合种类	孔的公差等级	轴的公差等级	孔、轴的公差等级	举　例
间隙配合或过渡配合	$T_h \leqslant$ IT8	$T_s < T_h$	差一级	H7/f6
	$T_h \geqslant$ IT9	$T_s = T_h$	同级	H9/a9
过盈配合	$T_h \leqslant$ IT7	$T_s < T_h$	差一级	H7/p6
	$T_h \geqslant$ IT8	$T_s = T_h$	同级	H8/s8

2.6.3　配合的选择

选用配合时应根据使用要求，尽可能选用优先或常用公差带。根据使用要求，按前述原则确定基准制及孔、轴公差等级后，然后确定与基准件相配的孔、轴基本偏差代号。

1. 配合的选择方法

一般配合的选择方法有以下三种。

1)　计算法

计算法是指根据理论和公式，计算出所需的间隙或过盈。根据计算的结果选用合理的

配合。由于影响配合间隙量和过盈量的因素很多，理论的计算是近似的，所以在实际应用时还需经过实验确定。

2) 试验法

试验法是通过实验确定配合的一种方法。对产品性能影响较大的一些配合往往采用试验法。这种方法需进行大量试验，成本高，多用于特别重要的配合部位。

3) 类比法

类比法是按同类机器或机构中，经生产实践证明的已用配合来确定某使用条件所需配合的一种方法。

由于计算法和试验法都比较复杂，目前应用广泛的是类比法。

2. 类比法确定配合的步骤

1) 分析零件的工作条件及使用要求

考虑的主要问题有：工作时结合件的相对位置状态(如运动速度、运动方向、运动精度、停歇时间)、承受载荷情况、润滑条件、温度变化、配合重要性、装卸条件以及材料的物理机械性能等。根据具体条件的不同，结合件配合的间隙量或过盈量必须相应地改变，表 2.10 可供选择时参考。

表 2.10 具体情况对间隙或过盈量的修正

具体情况	过盈应增大或减小	间隙应增大或减小	具体情况	过盈应增大或减小	间隙应增大或减小
材料许用应力小	减小	—	装配时可能歪斜	减小	增大
经常拆卸	减小	—	旋转速度高	增大	增大
工作时孔温高于轴温	增大	减小	有轴向运动	—	增大
工作时轴温高于孔温	减小	增大	润滑油黏度增大	—	增大
有冲击载荷	增大	减小	装配精度高	减小	减小
配合长度较大	减小	增大	表面粗糙度高度参数值大	增大	减小
配合面几何误差大	减小	增大			

2) 确定配合类别及基本偏差

配合类别有间隙配合、过渡配合、过盈配合。在确定配合类别时可参考表 2.11。配合类别确定后，参照表 2.12 选取合适的基本偏差。若无特殊理由，应选标准中规定的优先配合或常用配合。

表 2.11　确定配合类别的大致方向

结合件的工作状况				配合类别
有相对运动	转动或转动与移动的复合运动			间隙大或较大的间隙配合
	只有移动			间隙较小的间隙配合
无相对运动	传递扭矩	要精确同轴	永久结合	过盈配合
			可拆结合	过渡配合或基本偏差为 H(h)的间隙配合加紧固件①
		不需要精确同轴		键等间隙配合加紧固件①
	不传递扭矩			过渡配合或过盈小的过盈配合

注：①紧固件指键、销钉、螺钉等。

表 2.12　各种基本偏差的应用实例

配合	基本偏差	特点及应用实例
间隙配合	A(a) B(b)	可以得到特别大的间隙，应用较少，主要用于工作时温度高，热变形大的零件的配合。如发动机中活塞与缸套的配合为 H9/a9
	C(c)	可得到很大的间隙，一般适用于缓慢、松弛的动配合。用于工作条件较差(如农业机械)，工作时受力变形，或为了便于装配而必须保证有较大的间隙时。推荐配合为 H11/c11。其较高等级的 H8/c7 配合适用轴在高温工作的紧密动配合，如内燃机排气阀杆与导管的配合
	D(d)	与 IT7～IT11 对应，适用于较松的转动配合(如滑轮、空转皮带轮与轴的配合)，以及大尺寸滑动轴承与轴的配合(如涡轮机、球磨机等的滑动轴承)。活塞环与活塞槽的配合可用 H9/d9
	E(e)	与 IT7～IT9 对应，通常用于要求有明显的间隙，易于转动的轴承配合。如大跨距及多支点的转轴与轴承的配合。高等级的 e 适用于高速、重载的大尺寸轴与轴承的配合，如大型电机、内燃机的主要轴承处的配合为 H8/e7
	F(f)	多用于 IT6～IT8 的一般转动的配合。当温度影响不大时，被广泛用于普通润滑油的轴与滑动轴承的配合，如齿轮箱、小电机、泵等的转轴与滑动轴承的配合为 H7/f6
间隙配合	G(g)	多与 IT5、IT6、IT7 对应，形成配合的间隙较小，最适合不回转的精密滑动配合。除轻载、精密装置外，不推荐用于转动配合。也用于插销的定位配合，滑阀、连杆销等处的配合，钻套孔多用 G(g)
	H(h)	多与 IT4～IT11 对应，广泛用于无相对转动的配合，作为一般的定位配合。若没有温度、变形影响，也用于精密滑动配合
过渡配合	JS(js)	多用于 IT4～IT7 具有平均间隙的过渡配合和略有过盈的定位配合，如联轴节，齿圈与轮毂的配合，滚动轴承外圈与外壳孔的配合多用 JS7，一般用手或木槌装配
	K(k)	多用于 IT4～IT7 平均过盈接近零的配合。推荐用于定位配合，如滚动轴承的内、外圈分别与轴颈、外壳孔的配合。用木槌装配
	M(m)	多用于 IT4～IT7 平均过盈较小的配合，用于精密定位的配合。如蜗轮的青铜轮缘与轮毂的配合为 H7/m6
	N(n)	多用于 IT4～IT7 平均过盈较大的配合，很少形成间隙。用槌子或压入机装配。通常用于紧密的组件配合，如冲床上齿轮与轴的配合

续表

配合	基本偏差	特点及应用实例
过盈配合	P(p)	用于小过盈配合。与 H6 或 H7 的孔形成过盈配合，而与 H8 的孔形成过渡配合。碳钢和铸铁零件形成的配合为标准压入配合，如卷扬机的绳轮与齿圈的配合为 H7/p6。合金钢制零件的配合需要小过盈时可以用 p(P)
	R(r)	对铁类零件为中等打入配合；对非铁类零件为轻打入配合，当需要时可拆卸。如蜗轮与轴的配合为 H7/r6。配合 H8/r7 在公称尺寸≤100mm 时，为过渡配合，直径大于 100mm 时为过盈配合
	S(s)	用于钢和铸铁零件的永久性和半永久性结合，可产生相当大的结合力，如套环压在轴、阀座上用 H7/s6 配合
	T(t)	用于钢和铁制零件的永久性结合，不用键可传递扭矩，需用热套法或冷轴法装配，如联轴节与轴的配合为 H7/t6
	U(u)	用于大过盈配合，最大过盈需验算。用热套法进行装配。如火车轮毂和轴的配合为 H6/u5
	V(v),X(x) Y(y),Z(z)	用于特大过盈配合，目前使用的经验和资料很少，须经试验后才能应用。一般不推荐使用

3. 计算-查表法确定配合

若已知极限间隙(过盈)时，首先根据要求选取基准制，然后按计算-查表法确定公差等级，最后按相应公式计算基本偏差值后，查表确定基本偏差代号。

在选择配合中，所选取的极限间隙(或过盈)应尽可能在原要求的范围内。当选取的配合和原要求有差别时，其差别应小于原配合公差的 10%(仅供参考)。

【例 2-10】已知公称尺寸ϕ80 mm 的滑动轴承，要求间隙在+58 μm～+138 μm 之间，试确定轴承孔、轴的配合代号并画出公差带图。

解：

(1) 无特殊规定，采用基孔制。

(2) 确定公差等级。

先计算配合公差：$T_{\mathrm{f}}=\left|X_{\max}-X_{\min}\right|=\left|138-58\right|=80\ (\mu\mathrm{m})$

又因为配合公差是孔、轴公差之和，所以：$T_{\mathrm{f}}=T_{\mathrm{h}}+T_{\mathrm{s}}=80\ \mu\mathrm{m}$

根据$T_{\mathrm{h}}=T_{\mathrm{s}}=\dfrac{1}{2}T_{\mathrm{f}}$的原则，得出预选公差值：

$$T_{\mathrm{h}}=T_{\mathrm{s}}=40\ \mu\mathrm{m}$$

查表 2.2，选定$T_{\mathrm{h}}=\mathrm{IT8}=46\ \mu\mathrm{m}$、$T_{\mathrm{s}}=\mathrm{IT7}=30\ \mu\mathrm{m}$

验算：$T_{\mathrm{f}}=\mathrm{IT8}+\mathrm{IT7}=76\ \mu\mathrm{m}<80\ \mu\mathrm{m}$

因此，选孔 8 轴 7，孔为ϕ80H8($^{+0.046}_{0}$)mm。公差带图如图 2.15 所示。

(3) 确定轴的基本偏差代号：间隙配合选取的轴的基本偏差为上极限偏差 es。

据式(2-8)得

$$X_{\min} = \mathrm{EI} - \mathrm{es} \Rightarrow \mathrm{es} = -58\ \mu\mathrm{m}$$

查表 2.4，选 $\mathrm{es} = -60\ \mu\mathrm{m}$　选择轴的基本偏差代号为 e

$$\mathrm{ei} = \mathrm{es} - \mathrm{IT7} = -60 - 30 = -90\ (\mu\mathrm{m})$$

$$X_{\max}' = \mathrm{ES} - \mathrm{ei} = +46 - (-90) = +136\ (\mu\mathrm{m})$$

$$X_{\min}' = \mathrm{EI} - \mathrm{es} = 0 - (-60) = +60\ (\mu\mathrm{m})$$

极限间隙在原要求范围内，所以选择配合代号 $\phi 80\mathrm{H8/e7}$ 合适。其公差带如图 2.15 所示。

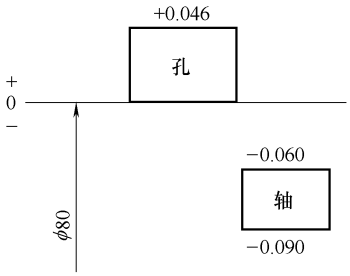


图 2.15　例 2-10 的公差带图

2.7　线性尺寸的一般公差

一般公差精度基本不会影响该零件的工作性能和质量，通常在图样上不标注出它们的公差值。但不是对这类尺寸没有任何限制和要求，只是比一般配合尺寸的要求较低，并在相应的技术文件中说明其要求。

国家标准《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》(GB/T 1804—2000)采用了国际标准的有关部分，替代了 GB/T 1804—1992。

2.7.1　线性尺寸一般公差的概念

线性尺寸一般公差是在车间普通工艺条件下，机床设备一般加工能力可保证的公差。在正常维护和操作情况下，它代表经济加工精度。

采用一般公差的尺寸在正常车间精度保证的条件下，一般可不检验。

图样应用一般公差的原因主要是：

(1) 非配合尺寸的公差要求不高，采用一般公差可突出其他尺寸，引起加工和检验重视。

(2) 零件上某些尺寸的公差可由工艺保证，节省图样设计时间。

(3) 为简化制图，使图面清晰。

2.7.2 有关国标规定

国家标准《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》(GB/T 1804—2000)对线性尺寸的一般公差规定了 4 个公差等级，精度从高到低依次为：精密级(f)、中等级(m)、粗糙级(c)、最粗级(v)。公差等级越低，公差值越大。对适用的尺寸也进行了较大的分段。线性尺寸的具体数值见表 2.13，倒圆半径和倒角高度尺寸的极限偏差数值见表 2.14。由表可见，不论轴、孔或长度尺寸，其极限偏差的取值都采用对称分布的公差带。

表 2.13 线性尺寸的极限偏差 (摘自 GB/T 1804—2000) mm

公差等级	尺寸分段							
	0.5～3	3～6	6～30	30～120	120～400	400～1000	1000～2000	2000～4000
精密级(f)	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	—
中等级(m)	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
粗糙级(c)	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
最粗级(v)	–	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

表 2.14 倒圆半径和倒角高度尺寸的极限偏差数值(摘自 GB/T 1804—2000) mm

公差等级	尺寸分段			
	0.5～3	3～6	6～30	>30
精密级(f)	±0.2	±0.5	±1	±2
中等级(m)				
粗糙级(c)	±0.4	±1	±2	±4
最粗级(v)				

2.7.3 线性尺寸的一般表示方法

采用国家标准规定的一般公差，在图样中的尺寸后不注出公差，而是在图样上、技术文件或标准中用本标准号和公差等级符号表示。例如选用中等级，标注为：

GB/T 1804—2000—m

一般公差的线性尺寸是在车间加工精度保证的情况下加工出来的，一般可以不用检验其公差。

2.8　习　　题

1. 判断下列叙述的内容是否正确(正确的打 √，错误的打×)。

(1) 基孔制就是先加工孔，再用轴来配孔；基轴制就是先加工轴，再由孔配轴。

(　　)

(2) 公称尺寸相同，公差等级一样的孔和轴的标准公差数值相等。(　　)

(3) 最大实体尺寸是孔、轴上极限尺寸的统称。(　　)

(4) 零件加工后的实际要素等于公称尺寸，但不一定合格。(　　)

(5) 因为实际要素与公称尺寸之差是尺寸偏差，故尺寸偏差越小，尺寸精度越高。

(　　)

(6) 公差一般情况下为正值，有时也可出现负值和零值。(　　)

(7) 孔的最大实体尺寸即为孔的上极限尺寸。(　　)

(8) 公差带在零件上方，则基本偏差为上极限偏差。(　　)

(9) 配合公差大于或等于孔公差与轴公差之和。(　　)

(10) 配合性质取决于孔轴公差带的大小和位置。(　　)

(11) 图样上未注公差的尺寸为自由尺寸，其公差不作任何要求。(　　)

(12) 某一孔的尺寸正好加工到公称尺寸，则该孔必然合格。(　　)

(13) 公称尺寸一定时，尺寸公差越大，则尺寸精度越低。(　　)

(14) 实际要素就是被测尺寸的真值。(　　)

2. 计算表 2.15 中各尺寸并填入表中。

表 2.15　习题 2 的标注情况　　mm

序号	基本尺寸	孔			轴			X_{max} (Y_{min})	X_{min} (Y_{max})	T_f	基准制	配合性质
		ES	EI	T_h	es	ei	T_s					
1	ϕ40		0				0.025	+0.089				
2	ϕ24		0				0.011		–0.012			
3	ϕ100			0.009	0				–0.021			

3. 计算出表 2.16 空格处的数值，并填在空格处。

表 2.16　习题 3 的标注情况　　mm

序　号	公称尺寸	上极限尺寸	下极限尺寸	上极限偏差	下极限偏差	公　差
1	孔ϕ60	60.074	60.000			
2	轴ϕ60			–0.060		0.046
3	孔ϕ80		79.979			0.030
4	轴ϕ50			–0.050	–0.112	

4. 已知下列三对孔、轴相配合。分别计算三对配合的极限间隙或过盈量及配合公差，绘出公差带图，并说明它们的配合类别。

(1) 孔　$\phi 20^{+0.033}_{0}$　　轴　$\phi 20^{+0.065}_{-0.098}$

(2) 孔　$\phi 80^{+0.009}_{-0.021}$　　轴　$\phi 80^{0}_{-0.019}$

(3) 孔　$\phi 40^{+0.039}_{0}$　　轴　$\phi 40^{+0.027}_{+0.002}$

5.　查表求出下列配合中孔、轴的极限偏差，画出公差带图及配合公差带图。

(1) ϕ50H7/g6　　(2) ϕ30K7/h6　　(3) ϕ18M6/h5

(4) ϕ30R6/h5　　(5) ϕ55F6/h6　　(6) ϕ55H7/js6

6. 已知$\phi 100\mathrm{H7}(^{+0.035}_{0})/\mathrm{n6}(^{+0.045}_{+0.023})$，通过计算求出$\phi$100 mm 的 H6、h7，Js6 和 N7 的极限偏差。

7. 有下列三组孔与轴相配合，根据给定的数值，试分别确定它们的公差等级，并选择合适的配合代号。

(1) 配合公称尺寸为ϕ35mm，$X_{\max}=+0.125\mathrm{mm}$，$X_{\min}=+0.050\mathrm{mm}$

(2) 配合公称尺寸为ϕ40mm，$Y_{\max}=-0.075\mathrm{mm}$，$Y_{\min}=-0.035\mathrm{mm}$

(3) 配合公称尺寸为ϕ60mm，$Y_{\max}=-0.032\mathrm{mm}$，$X_{\max}=+0.046\mathrm{mm}$

8. 公称尺寸为ϕ100 mm 的孔轴配合，基本过盈在–34～–94μm 之间，要求采用基轴制，确定配合代号并画出公差带图。

9. 要求某孔与轴配合在镀铬后满足ϕ50H8/f7，铬层厚度应在 0.008～0.012 mm 之间，试确定在镀铬前的孔、轴加工的公差等级和配合代号。