

项目4 公差配合与测量技术

由于任何零件都要经过加工的过程,无论设备的精度和操作工人的技术水平多么高,要使加工零件的尺寸、形状和位置做得绝对准确,不但不可能,也是没有必要的。只要将零件加工后各几何参数(尺寸、形状和位置)所产生的误差控制在一定的范围内,就可以保证零件的使用功能,同时还能实现互换性。

零件几何参数这种允许的变动量称为公差。它包括尺寸公差、形状公差、位置公差等。公差用来控制加工中的误差,以保证互换性的实现。因此,建立各种几何参数的公差标准是实现零件误差的控制和保证互换性的基础。

完工后的零件是否满足公差要求,要通过检测加以判断。检测不仅用来评定产品质量,而且用于分析产生不合格品的原因,及时调整生产,监督工艺过程,预防废品产生。

因此,合理确定公差与正确进行检测,是保证产品质量、实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。

任务1 认识公差与配合

知识目标:

1. 了解互换性和标准化;
2. 掌握公差配合的基本术语;
3. 了解公差配合的选用。

技能目标:

1. 学会对标准公差和基本偏差进行查表;
2. 会计算配合的极限间隙或过盈。



任务描述

求下列三对孔、轴配合的极限间隙、极限过盈和配合公差,指出各属何类配合,并画出尺寸公差带图。

- ① 孔 $\phi 30_0^{+0.021}$ mm 与轴 $\phi 30_{-0.033}^{-0.020}$ mm 相配合
- ② 孔 $\phi 30_0^{+0.021}$ mm 与轴 $\phi 30_{+0.008}^{+0.021}$ mm 相配合
- ③ 孔 $\phi 30_0^{+0.021}$ mm 与轴 $\phi 30_{+0.035}^{+0.048}$ mm 相配合



任务分析

要完成该任务,需要了解公差配合的基础知识,包括互换性的概念、公差配合的基本术语和定义、配合公差和尺寸公差带图。



相关知识

一、互换性和标准化

不论如何复杂的机械产品,都是由大量的通用与标准零部件和少数专用零部件所组成的,这些通用与标准零部件可以由不同的专业化厂家来制造,这样,产品生产厂只需生产少量的专用零部件,其他零部件则由专门的标准件厂等厂家制造及提供。产品生产厂家不仅可以大大减少生产费用还可以缩短生产周期,及时满足市场与用户的需要。既然现代化生产是按专业化、协作化组织生产的,这就提出了一个如何保证互换性的问题。

所谓互换性是指机械产品中同一规格的一批零件或部件,任取其中一件,不需作任何挑选、调整或辅助加工(如钳工修配),就能进行装配,并能保证满足机械产品的使用性能要求的一种特性。

为使零件具有互换性,必须保证零件的尺寸、几何形状和相互位置,以及表面特征技术要求的一致性。就尺寸而言,互换性要求尺寸的一致性,但并不是要求零件都准确地制成一个指定的尺寸,而只要求尺寸在某一合理的范围内;对于相互结合的零件,这个范围既要保证相互结合的尺寸之间形成一定的关系,以满足不同的使用要求,又要在制造上是经济合理的,这样就形成了“公差与配合”的概念。由此可见,“公差”用于协调机器零件使用要求与制造经济性之间的矛盾,“配合”则是反映零件组合时相互之间的关系。

标准化是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制定、发布和实施标准,达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。在机械制造中,标准化是实现互换性生产、组织专业化生产的前提条件;是提高产品质量、降低产品成本和提高产品竞争能力的重要保证。

二、公差与配合的基本术语及定义

1. 有关尺寸的术语定义

(1) 尺寸

尺寸是指以特定单位表示长度值的数值。长度值包括直径、半径、宽度、高度、厚度以及中心距等。它由数字和长度单位(通常以 mm 为单位)组成。

(2) 公称尺寸(D, d)

公称尺寸也称为基本尺寸,是由设计给定的,通过它应用上、下极限偏差可算出极限尺寸(如图 4-1a 所示)。它是设计者从零件的功能出发,通过强度、刚度等方面的计算或结构需要,并考虑工艺方面的其他要求后确定的。

(3) 实际尺寸(D_a, d_a)

通过测量获得的尺寸。由于存在测量误差,所以实际尺寸并非尺寸的真值。又由于存在形状误差,工件上各处的实际尺寸往往是不同的。

(4) 极限尺寸

允许尺寸变化的两个界限值称为极限尺寸。孔或轴允许的最大尺寸称为上极限尺寸,分别以 $D_{\max}$ 和 $d_{\max}$ 表示。孔或轴允许的最小尺寸称为下极限尺寸,分别以 $D_{\min}$ 和 $d_{\min}$ 表示。

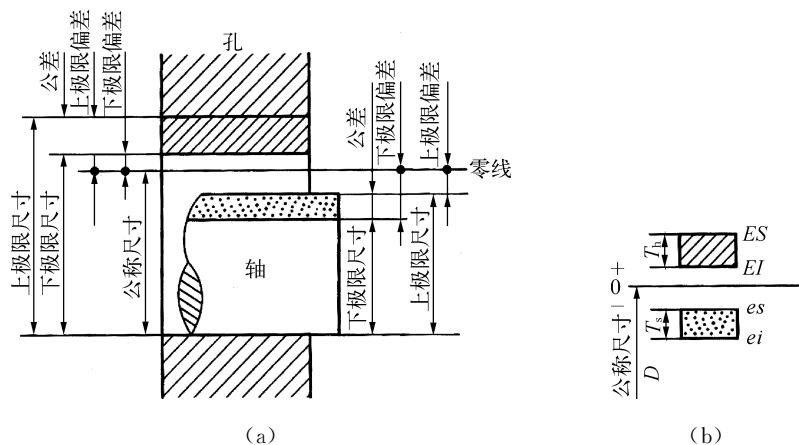


图 4-1 极限与配合示意图

2. 有关偏差与公差的术语定义

(1) 尺寸偏差(简称偏差)

某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差。

实际尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为实际偏差;上极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为上极限偏差;下极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为下极限偏差。上极限偏差与下极限偏差统称为极限偏差。偏差可以为正、负或零值。

孔:上极限偏差 $ES = D_{\max} - D$;下极限偏差 $EI = D_{\min} - D$;实际偏差 $E_a = D_a - D$

轴:上极限偏差 $es = d_{\max} - d$;下极限偏差 $ei = d_{\min} - d$;实际偏差 $e_a = d_a - d$

(2) 尺寸公差(简称公差)

允许尺寸的变动量。公差等于上极限尺寸与下极限尺寸代数差的绝对值,也等于上、下极限偏差之代数差的绝对值。公差取绝对值,不存在负值,也不允许为零。

孔公差: $T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI|$

轴公差: $T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei|$

(3) 公差带图

由代表上极限偏差和下极限偏差或上极限尺寸和下极限尺寸的两条直线所限定的一个区域,称为尺寸公差带。公差带图由零线和公差带组成。由于公差或偏差的数值比公称尺寸的数值小得多,在图中不使用同一比例表示,同时为了简化,以零线表示基本尺寸,如图 4-1(b)所示。

零线:在公差带图中,确定偏差位置的一条基准直线。通常零线位置表示公称尺寸,正偏差位于零线上方,负偏差位于零线的下方。

公差带:在公差带图中,由代表上、下极限偏差的两平行直线所限定的区域。

(4) 标准公差

极限与配合制标准中,所规定的(确定公差带大小的)任一公差。

(5) 基本偏差

公差配合标准中,所规定的确定公差带相对于零线位置的那个极限偏差。它可以是上极限偏差或下极限偏差,一般为靠近零线的那个极限偏差。

3. 有关配合的术语定义

(1) 孔和轴

在极限与配合标准中,孔和轴这两个基本术语,有其特定的含义,它涉及到极限与配合国家标准的应用范围。

孔:通常指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(由二平行平面或切面形成的包容面)。如图 4-2 所示零件的各内表面上, D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 各尺寸都称为孔。

轴:通常指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(由二平行平面或切面形成的被包容面)。如图 4-2 所示零件的各外表面上, d_1 、 d_2 、 d_3 各尺寸都称为轴。

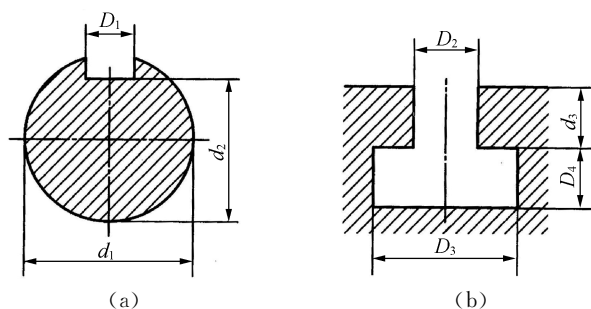


图 4-2 孔与轴

(2) 配合

公称尺寸相同的,相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

(3) 间隙或过盈

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差。此差值为正时称为间隙,用 X 表示;为负时称为过盈,用 Y 表示。标准规定:配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三大类。

(4) 间隙配合

具有间隙(包括最小间隙为零)的配合。此时,孔的公差带在轴的公差带之上。见图 4-3(a)所示。

由于孔、轴的实际尺寸允许在各自公差带内变动,所以孔、轴配合的间隙也是变动的。当孔为 $D_{\max}$ 而相配轴为 $d_{\min}$ 时,装配后形成最大间隙 $X_{\max}$;当孔为 $D_{\min}$ 而相配合轴为 $d_{\max}$ 时,装配后形成最小间隙 $X_{\min}$ 。用公式表示为:

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

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

$X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 统称为极限间隙。实际生产中,成批生产的零件其实际尺寸大部分为极限尺寸的平均值,所以形成的间隙大多数在平均尺寸形成的平均间隙附近,平均间隙以 X_{av} 表

示,其大小为:

$$X_{av} = (X_{\max} + X_{\min})/2$$

(5) 过盈配合

具有过盈(包括最小过盈为零)的配合。此时,孔的公差带在轴的公差带的下方。如图4-3(b)所示。

当孔为 $D_{\min}$ 而相配合轴为 $d_{\max}$ 时,装配后形成最大过盈 $Y_{\max}$;当孔为 $D_{\max}$ 而相配合轴为 $d_{\min}$ 时,装配后形成最小过盈 $Y_{\min}$ 。用公式表示为:

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

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

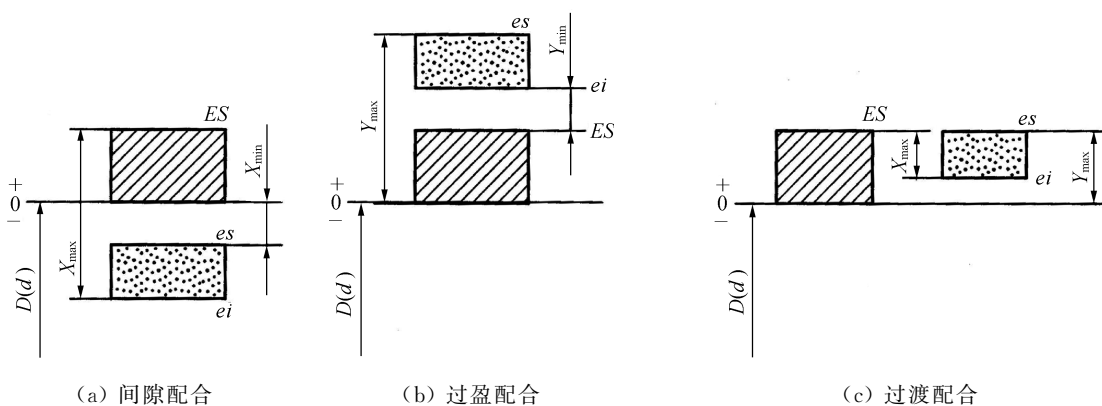


图4-3 三类配合的公差

$Y_{\max}$ 和 $Y_{\min}$ 统称为极限过盈。同上,在成批生产中,最可能得到的是平均过盈附近的过盈值,平均过盈用 Y_{av} 表示,其大小为:

$$Y_{av} = (Y_{\max} + Y_{\min})/2$$

(6) 过渡配合

可能具有间隙或过盈的配合。此时,孔的公差带与轴的公差带相互交叠。见图4-3(c)。

当孔为 $D_{\max}$ 而相配合的轴为 $d_{\min}$ 时,装配后形成最大间隙 $X_{\max}$;而孔为 $D_{\min}$ 相配合轴为 $d_{\max}$ 时,装配后形成最大过盈 $Y_{\max}$ 。用公式表示为:

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

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

与前两种配合一样,成批生产中的零件,最可能得到的是平均间隙或平均过盈附近的值,其大小为:

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

按上式计算所得的值为正时是平均间隙,为负时是平均过盈。

(7) 配合公差(T_f)

组成配合的孔、轴公差之和。它是允许间隙或过盈的变动量。

$$\left. \begin{array}{l} \text{对于间隙配合 } T_f = |X_{\max} - X_{\min}| \\ \text{对于过盈配合 } T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}| \\ \text{对于过渡配合 } T_f = |X_{\max} - Y_{\min}| \end{array} \right\} = T_h + T_s$$

上式说明配合精度取决于相互配合的孔和轴的尺寸精度。若要提高配合精度,则必须减少相配合孔、轴的尺寸公差,提高零件的加工精度。

可以用配合公差带图直观地表达配合性质,即配合松紧及其变动情况。在配合公差带图中,横坐标为零线,表示间隙或过盈为零;零线上方的纵坐标为正值,代表间隙,零线下方的纵坐标为负值,代表过盈。配合公差带两端的坐标值代表极限间隙或极限过盈,它反映配合的松紧程度;上下两端间的距离为配合公差,它反映配合的松紧变化程度。如图 4-4 所示。

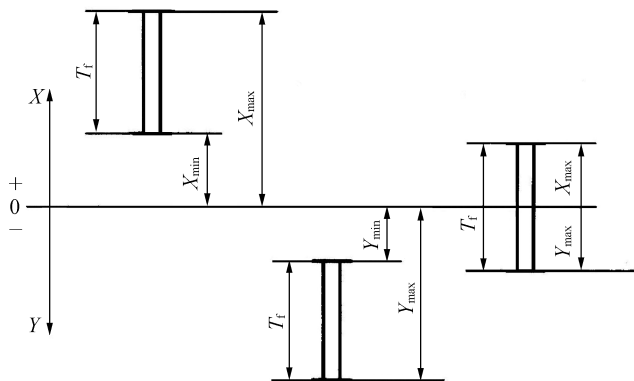


图 4-4 配合公差带图

三、公差配合国家标准的组成

公差配合国家标准主要由基准制,标准公差系列,基本偏差系列组成。

1. 配合的基准制

基准制是指以两个相配合的零件中的一个零件为基准件,并确定其公差带位置,而改变另一个零件(非基准件)的公差带位置,从而形成各种配合的一种制度。国家标准中规定有基孔制和基轴制。

(1) 基孔制

基本偏差为一定的孔的公差带,与不同基本偏差的轴公差带形成各种配合的一种制度。如图 4-5(a)所示。

基孔制配合中的孔称为基准孔,基准孔的下极限尺寸与公称尺寸相等,即孔的下极限偏差为 0,其基本偏差代号为 H,基本偏差为:EI=0。

(2) 基轴制

基本偏差为一定的轴公差带,与不同基本偏差的孔公差带形成各种配合的一种制度。如图 4-5(b)所示。

基轴制配合中的轴称为基准轴,基准轴的上极限尺寸与公称尺寸相等,即轴的上极限偏差为 0,其基本偏差代号为 h ,基本偏差为: $es=0$ 。

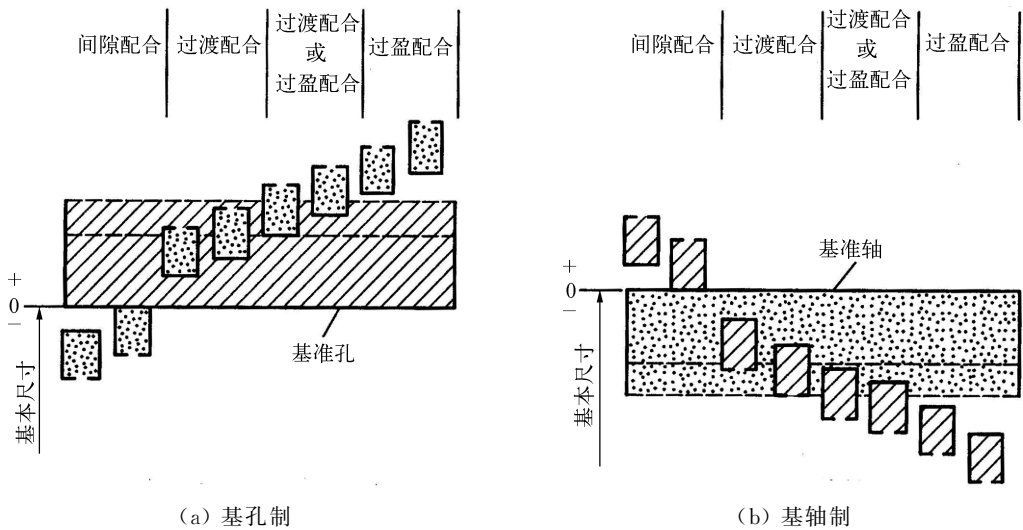


图 4-5 基准制

2. 标准公差系列

标准公差系列是国家标准制定出一系列标准公差数值,如表 4-1 所列。从表中可知,标准公差取决于公差等级和公称尺寸两个因素。

确定尺寸精确程度的等级称为公差等级。国家标准将标准公差分为 20 级,各级标准公差用代号 IT 及数字 01、0、1、2、 $\cdots$ 、18 表示,IT 是国际公差(ISO Tolerance)的缩写。如 IT8 称为标准公差 8 级。从 IT01~IT18 等级依次降低。

表 4-1 标准公差数值(GB/T 1800.1—2020)

基本尺寸 (mm)	公差等级																			
	(μm)												(mm)							
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
≤3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
>3~6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
>6~10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	30	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
>10~18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
>18~30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	23	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
>30~50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.5	3.9
>50~80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
>80~120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4

(续表)

基本尺寸 (mm)	公差等级																			
	(μm)													(mm)						
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
>120~180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
>180~250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
>250~315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
>315~400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
>400~500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7

注:基本尺寸小于 1 mm 时,无 IT14~IT18。

3. 基本偏差系列

基本偏差是用来确定公差带相对于零线的位置的,不同的公差带位置与基准件将形成不同的配合。基本偏差的数量将决定配合种类的数量。为了满足各种不同松紧程度的配合需要,国家标准对孔和轴分别规定了 28 种基本偏差。

(1) 基本偏差代号及其规律

基本偏差系列如图 4-6 所示,基本偏差的代号用拉丁字母表示,大写字母代表孔,小写字母代表轴。从图 4-6 可见,轴 $a\sim h$ 基本偏差是 es ,孔 $A\sim H$ 基本偏差是 EI ,他们的绝对值依次减小,其中 h 和 H 的基本偏差为零。

轴 js 和孔 JS 的公差带相对于零线对称分布,故基本偏差可以是上极限偏差,也可以是下极限偏差,其值为标准公差的一半(即 $\pm IT/2$)。

轴 $j\sim zc$ 基本偏差为 ei ,孔 $J\sim ZC$ 基本偏差是 ES ,其绝对值依次增大。

孔和轴的基本偏差原则上不随公差等级变化,只有极少数基本偏差(j 、 js 、 k)例外。图 4-6 中各公差带只画出了由基本偏差决定的一端,另一端取决于基本偏差与标准公差值的组合。

(2) 公差带代号与配合代号

① 公差带代号 由于公差带相对于零线的位置由基本偏差确定,公差带的大小由标准公差确定,因此公差带的代号由基本偏差代号与公差等级数组成。如 $\phi 50H8$ 、 $\phi 30F7$ 为孔的公差带代号, $\phi 30h7$ 、 $\phi 25g6$ 为轴的公差带代号。

② 配合代号 标准规定,用孔和轴的公差带代号以分数形式组成配合代号,其中,分子为孔的公差带代号,分母为轴的公差带代号。如 $\phi 30H8/f7$ 表示基孔制的间隙配合; $\phi 50K7/h6$ 表示基轴制的过渡配合。

(3) 基本偏差数值

① 轴的基本偏差数值

轴的基本偏差数值是以基孔制为基础,根据各种配合的要求,在生产实践和大量试验的基础上,依据统计分析的结果整理出一系列公式而计算出来的。轴的基本偏差计算公式如表 4-2 所示。

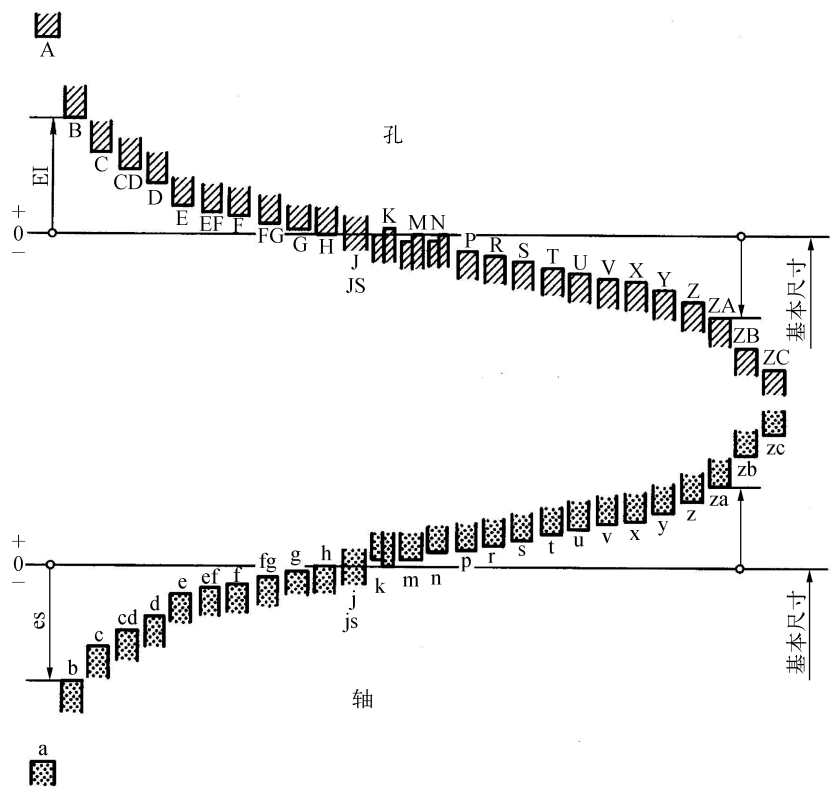


图 4-6 基本偏差系列

表 4-2 公称尺寸≤500 mm 的轴的基本偏差计算公式 (μm)

代号	适用范围	基本偏差为上极限偏差(es)	代号	适用范围	基本偏差为下极限偏差(ei)
a	$D \leq 120 \text{ mm}$	$-(265 + 1.3D)$	j	IT5~IT8	经验数据
	$D > 120 \text{ mm}$	$-3.5D$	k	$\leq \text{IT3}$ 及 $\geq \text{IT8}$	0
b	$D \leq 160 \text{ mm}$	$-(140 + 0.85D)$		IT4~IT7	$+0.6 \sqrt[3]{D}$
	$D > 160 \text{ mm}$	$-1.8D$	m		$+\text{IT7} - \text{IT6}$
c	$D \leq 40 \text{ mm}$	$-52D^{0.2}$	n		$+5D^{0.34}$
	$D > 40 \text{ mm}$	$-(95 + 0.8D)$	p		$+\text{IT7} + (0 \sim 5)$
cd		$-\sqrt{cd}$	r		$+\sqrt{ps}$
d		$-16D^{0.44}$	s	$D \leq 500 \text{ mm}$	$+\text{IT8} + (1 \sim 4)$
e		$-11D^{0.41}$		$D > 500 \text{ mm}$	$+\text{IT7} + 0.4D$
ef		$-\sqrt{ef}$	t		$+\text{IT7} + 0.63D$
f		$-5.5D^{0.41}$	u		$+\text{IT7} + D$
fg		$-\sqrt{fg}$	v		$+\text{IT7} + 1.25D$
g		$-2.5D^{0.34}$	x		$+\text{IT7} + 1.6D$

(续表)

代号	适用范围	基本偏差为上极限偏差(es)	代号	适用范围	基本偏差为下极限偏差(ei)
h		0	y		$+IT7+2D$
			z		$+IT7+2.5D$
			za		$+IT8+3.15D$
			zb		$+IT9+4D$
			zc		$+IT10+5D$
$js=\pm IT/2$					

注:1. 表中 D 的单位为 mm。
2. 除 j 和 js 外,表中所列的公式与公差等级无关。

为了方便使用,标准将各尺寸段的基本偏差按表 4-2 计算公式进行计算,并按一定规则圆整尾数后,列成轴的基本偏差数值表,见表 4-3 所示。

② 孔的基本偏差数值

公称尺寸 ≤ 500 mm 时,孔的基本偏差是从轴的基本偏差换算得到的。

换算的原则是:同名代号的孔、轴的基本偏差(如 E 与 e 、 T 与 t),在孔、轴同一公差等级或孔比轴低一级的配合条件下,按基孔制形成的配合(如 $\phi 40H7/g6$)与按基轴制形成的配合(如 $\phi 40G7/h6$)性质(极限间隙或极限过盈)相同。据此有两种换算规则:

通用规则:同一字母表示的孔、轴基本偏差的绝对值相等,而符号相反,即:

对于 $A\sim H$ $EI=-es$

对于 $K\sim ZC$ $ES=-ei$

特殊规则:对于标准公差 $\leq IT8$ 的 K 、 M 、 N 和 $\leq IT7$ 的 $P\sim ZC$,孔的基本偏差 ES 与同字母的轴的基本偏差 ei 的符号相反,而绝对值相差一个 Δ 值。即:

$$ES=-ei+\Delta$$
$$\Delta=IT_n-IT_{(n-1)}$$

式中: IT_n 为孔的标准公差, $IT_{(n-1)}$ 为比孔高一级的轴的标准公差。

换算得到的孔的基本偏差值列于表 4-4。实际应用时可直接查表 4-3 或表 4-4 确定孔与轴的基本偏差值。

【例 1】 查表确定 $\phi 25f6$ 和 $\phi 25K7$ 的极限偏差

解:① 查表 4-1 确定标准公差值

$$IT6=13\mu m \quad IT7=21\mu m$$

② 查表 4-3 确定 $\phi 25f6$ 的基本偏差 $es=-20\mu m$

查表 4-4 确定 $\phi 25K7$ 的基本偏差 $ES=-2+\Delta \quad \Delta=8\mu m$

所以 $\phi 25K7$ 的基本偏差 $ES=-2+8=+6(\mu m)$

③ 求另一极限偏差:

$\phi 25f6$ 的下极限偏差 $ei=es-IT6=-20-13=-33(\mu m)$

$\phi 25K7$ 的下极限偏差 $EI=ES-IT7=+6-21=-15(\mu m)$

所以得: $\phi 25f6$ 的极限偏差表示为 $\phi 25_{-0.033}^{-0.020}$

$\phi 25K7$ 的极限偏差表示为 $\phi 25_{-0.015}^{-0.006}$

4. 公差带与配合的标准化

国家标准规定有 20 个公差等级和 28 个基本偏差代号,其中,基本偏差 j 限于 4 个公差等级, J 限于 3 个公差等级。由此可得到的公差带,孔有 $(20 \times 27 + 3) = 543$ 个,轴有 $(20 \times 27 + 4) = 544$ 个。数量如此之多,故可满足广泛的需要,不过,同时应用所有可能的公差带显然是不经济的,因为这会导致定值刀具、量具规格的繁杂。所以,对公差带的选用应加以限制。

表 4-3 基本尺寸 $\leq 500\text{ mm}$ 轴的基本偏差数值(GB/T 1800.1-2020) 单位(μm)

基本尺寸 /mm		基 本 偏 差																									
		上 偏 差 e_s												下 偏 差 e_i													
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h		j_s	j			k									
〉	至	所 有 公 差 等 级											偏差等于 ± IT/2	5~6	7	8	4~7	≤3	≥8								
—	3	—270	—140	—60	—34	—20	—14	—10	—6	—4	—2	0			—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	—90	—	—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	—			—	—43	—	—14	0									—11	—18	—	+3	0		
140	160	—520	—280	—210																							
160	180	—580	—310	—230	—			—	—50	—	—15	0										—13	—21	—	+4	0	
180	200	—660	—340	—240																							
200	225	—740	—380	—260	—	—170	—100	—	—50	—	—15	0											—16	—26	—	+4	0
225	250	—820	—420	—280																							
250	280	—920	—480	—300	—	—190	—110	—	—56	—	—17	0											—18	—28	—	+4	0
280	315	—1050	—540	—330																							
315	355	—1200	—600	—360	—	—210	—125	—	—62	—	—18	0											—20	—32	—	+5	0
355	400	—1350	—680	—400																							
400	450	—1500	—760	—440	—	—230	—135	—	—68	—	—20	0															
450	500	—1650	—840	—480																							

(续表)

公称尺寸 /mm		基 本 偏 差													
		下 极 限 偏 差 e_i													
		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
大于	至	所 有 公 差 等 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

注:1. 基本尺寸小于 1 mm 时各级的 a 和 b 均不采用

表 4-4 基本尺寸 ≤ 500 mm 孔的基本偏差(GB/T 1800.1-2020) 单位(μm)

[illegible]

续表

基本尺寸 /mm		上 偏 差 (ES)												△值								
		P 到 ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB							ZC		
		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△值	—6	—10	—14	—	—18		—20	—	—26	—32	—40	—60	0	0	0	0	0	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	—65	—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	—95	—114	—136	—180	—242	—325								
50	65		—32	—41	—53	—66	—87	—102	—122	—144	—172	—226	—300	—400	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	—158	—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							—770	—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

注:1. 基本尺寸小于1 mm时各级的A和B及大于8级的N均不采用。对小于或等于IT8的K、M、N和小于或等于IT7的P至ZC,所属△值从表内右侧选取。
2. 特殊情况,当基本尺寸在250~315时,M6的ES等于−9(不等于−11)

在极限与配合制中,对公称尺寸 ≤ 500 mm 的常用尺寸段,标准推荐了孔、轴的一般、常用和优先公差带。如表 4-5 和表 4-6 所示。表中为一般用途公差带,轴有 116 个,孔有 105 个;线框内为常用的公差带,轴有 59 个,孔有 44 个;加底纹为优先公差带,轴、孔均有 13 个。在选用时,应首先考虑优先公差带,其次是常用公差带,再次为一般用途公差带。这些公差带的上、下极限偏差均可从极限与配合制中直接查得。

表 4-5 尺寸至 500 mm 的一般、常用和优先的轴公差带

[illegible]

表 4-6 尺寸至 500 mm 的一般、常用和优先的孔公差带

[illegible]

四、公差与配合的选用

公差与配合的选择主要包括配合制、公差等级及配合种类。

1. 配合制的选用

基孔制配合和基轴制配合是两种平行的配合制度。对各种使用要求的配合,既可用基孔制配合也可用基轴制配合来实现。配合制的选择主要应从结构、工艺性和经济性等方面分析确定。

(1) 一般情况下优先选用基孔制。

从工艺上看,对较高精度的中小尺寸孔,广泛采用定值刀、量具(如钻头、铰刀、塞规)加工和检验。采用基孔制可减少备用定值刀、量具的规格和数量,故经济性好。

(2) 在采用基轴制有明显经济效益的情况下,应采用基轴制。例如:

① 农业机械和纺织机械中,有时采用 IT9~IT11 的冷拉成型钢材直接做轴(轴的外表面对不需经切削加工即可满足使用要求),此时应采用基轴制。

② 尺寸小于 1 mm 的精密轴比同一公差等级的孔加工要困难,因此在仪器制造、钟表生产和无线电工程中,常使用经过光轧成型的钢丝或有色金属棒料直接做轴,这时也应采用基轴制。

③ 在结构上,当同一轴与公称尺寸相同的几个孔配合,并且配合性质要求不同时,可根据具体结构考虑采用基轴制。如图 4-7(a)所示的柴油机的活塞连杆组件中,由于工作时要求活塞销和连杆相对摆动,所以活塞销与连杆小头衬套采用间隙配合。而活塞销和活塞销座孔的联接要求准确定位,故它们采用过渡配合。若采用基孔制,则活塞销应设计成中间小两头大的阶梯轴,如图 4-7(b),这不仅给加工造成困难,而且装配时阶梯轴大头易刮伤连杆衬套内表面。若采用基轴制,活塞销设计成光轴,如图 4-7(c),这样容易保证加工精度和装配质量。而不同基本偏差的孔,分别位于连杆和活塞两个零件上,加工并不困难。所以应采用基轴制。

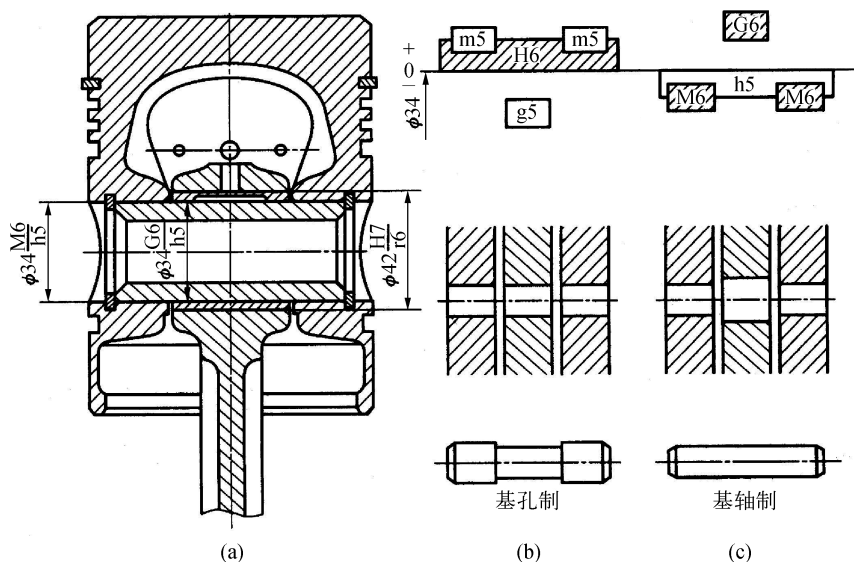


图 4-7 基准制选择示例

(3) 当设计的零件与标准件相配合时,基准制的选择应按标准件而定。

例如与滚动轴承内圈配合的轴颈应按基孔制配合,而与滚动轴承外圈配合的轴承座孔,则应选用基轴制。

(4) 为了满足配合的特殊需要,有时允许孔与轴都不用基准件(H 或 h)而采用非基准孔、轴公差带组成的配合,即非基准制配合。

2. 公差等级的选用

公差等级选用的基本原则是,在满足使用要求的前提下,尽量选用较低的公差等级。

公差等级可采用算法或类比法进行选择。

(1) 算法

用算法选择公差等级的依据是: $T_f = T_h + T_s$,至于 T_h 与 T_s 的分配则可按工艺等价原则来考虑。

① 对 ≤ 500 mm 的公称尺寸,当公差等级在 IT8 及其以上高精度时,推荐孔比轴低一级,如 H8/f7,H7/g6,...;当公差等级为 IT8 级时,也可采用同级孔、轴配合,如 H8/f8 等;当公差等级在 IT9 及以下较低精度级时,一般采用同级孔、轴配合,如 H9/d9,H11/c11。

② 对 > 500 mm 的公称尺寸,一般采用同级孔、轴配合。

(2) 类比法

采用类比法选择公差等级,也就是参考从生产实践中总结出来的经验资料,进行比较选用。各公差等级的应用范围如表 4-7 所示。常用公差等级的应用示例如表 4-8 所示。

表 4-7 公差等级应用范围

应 用	IT 等级																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
块 规																				
量 规																				
配合尺寸																				
特别精密零件的配合																				
非配合尺寸(大制造公差)																				
原材料公差																				

表 4-8 常用公差等级应用示例

公差等级	应 用
5 级	主要用在配合精度,几何精度要求较高的地方,一般在机床、发动机、仪表等重要部位应用。如:与 P4 级滚动轴承配合的箱体孔;与 P5 级滚动轴承配合的机床主轴,机床尾架与套筒,精密机械及高速机械中的轴径,精密丝杆轴径等
6 级	用于配合性质均匀性要求较高的地方。如:与 P5 级滚动轴承配合的孔、轴颈;与齿轮、蜗轮、联轴器、带轮、凸轮等连接的轴径,机床丝杠轴径;摇臂钻立柱;机床夹具中导向件外径尺寸;6 级精度齿轮的基准孔,7、8 级精度齿轮的基准轴径

(续表)

公差等级	应 用
7 级	在一般机械制造中应用较为普遍。如:联轴器、带轮、凸轮等孔径;机床夹盘座孔;夹具中固定钻套、可换钻套;7、8 级齿轮基准孔,9、10 级齿轮基准轴
8 级	在机器制造中属于中等精度。如:轴承座衬套沿宽度方向尺寸,低精度齿轮基准孔与基准轴;通用机械中与滑动轴承配合的轴颈;也用于重型机械或农业机械中某些较重要的零件
9 级 10 级	精度要求一般。如机械制造中轴套外径与孔;操作件与轴;键与键槽等零件
11 级 12 级	精度较低,适用于基本上没有什么配合要求的场合。如:机床上法兰盘与止口;滑块与滑移齿轮;加工中工序间尺寸;冲压加工的配合件等

3. 配合种类的选择

国家标准规定的配合种类很多,设计中应根据使用要求,尽可能地选用优先配合,其次考虑常用配合,然后是一般配合等。

配合选用的方法有计算法、试验法和类比法三种。

(1) 计算法

根据配合部位的使用要求和工作条件,按一定理论建立极限间隙或极限过盈的计算公式。然后按计算出的极限间隙或过盈选择相配合孔、轴的公差等级和配合代号(选择步骤见例题2)。

【例 2】 公称尺寸为 $\phi 40\text{ mm}$ 的某孔、轴配合,由计算法设计确定配合的间隙应在 $+0.022\text{ mm}\sim+0.066\text{ mm}$ 之间,试选用合适的孔、轴公差等级和配合种类。

解: ① 选择公差等级

由 $T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = T_h + T_s$

得: $T_h + T_s = |66 - 22| = 44(\mu\text{m})$

查表 4-1 知: $IT7 = 25\text{ }\mu\text{m}$, $IT6 = 16\text{ }\mu\text{m}$,按工艺等价原则,取孔为 IT7 级,轴为 IT6 级,则: $T_h + T_s = 25 + 16 = 41(\mu\text{m})$

接近 $44\text{ }\mu\text{m}$,符合设计要求。

② 选择基准制

由于没有其他条件限制,故优先选用基孔制,则孔的公差带代号为: $\phi 40H7(^{+0.021}_0)$

③ 选择配合种类,即选择轴的基本偏差代号

因为是间隙配合,故轴的基本偏差应在 $a\sim h$ 之间,且其基本偏差为上偏(es)。

由 $X_{\min} = EI - es$

得: $es = EI - X_{\min} = 0 - 22 = -22(\mu\text{m})$

查表 4-3 选取轴的基本偏差代号为 $f(es = -25\mu\text{m})$ 能保证 $X_{\min}$ 的要求,故轴的公差带代号为: $\phi 40f6^{+0.025}_{-0.041}$ 。

④ 验算:所选配合为 $\phi 40H7/f6$,其:

$$X_{\max} = ES - ei = 25 - (-41) = +66\text{ }\mu\text{m}$$

$$X_{\min} = EI - es = 0 - (-25) = +25\text{ }\mu\text{m}$$

均在 $+0.022\text{ mm}\sim+0.066\text{ mm}$ 之间,故所选符合要求。

(2) 试验法

对于与产品性能关系很大的关键配合,可采用多种方案进行试验比较,从而选出具有最理想的间隙或过盈量的配合。这种方法较为可靠,但成本较高,一般用于大量生产的产品的关键配合。

(3) 类比法

在对机械设备上现有的行之有效的一些配合有充分了解的基础上,对使用要求和工作条件与之类似的配合件,用参照类比的方法确定配合,这是目前选择配合的主要方法。

了解各类配合的特点与应用情况,正确选择配合类别。

$a\sim h$ (或 $A\sim H$)11 种基本偏差与基准孔(或基准轴)形成间隙配合,主要用于结合件有相对运动或需方便装拆的配合。

$js\sim n$ (或 $JS\sim N$)5 种基本偏差与基准孔(或基准轴)一般形成过渡配合,主要用于需精确定位和便于装拆的相对静止的配合。

$p\sim zc$ (或 $P\sim ZC$)12 种基本偏差与基准孔(或基准轴)一般形成过盈配合,主要用于孔、轴间没有相对运动,需传递一定的扭矩的配合。过盈不大时主要借助键联接(或其他紧固件)传递扭矩,可拆卸;过盈大时,主要靠结合力传递扭矩,不便拆卸。

配合类别大体确定后,再进一步类比选择确定非基准件的基本偏差代号。表 4-9 为各种基本偏差的特点及选用说明,均可供选择时参考。

表 4-9 各种基本偏差的特点及选用说明

配合	基本偏差	配合特性及应用
间隙配合	$a(A)$ $b(B)$	可得到特别大的间隙,应用很少。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,一般用于工作条件较差(如农业机械),工作时受力变形大及装配工艺性不好的零件的配合,也适用于高温工作的动配合,如内燃机排气阀与导管的配合为 $H8/c7$
	$d(D)$	与 IT7~IT11 对应,适用于较松的间隙配合(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 IT6~IT9 对应,具有明显的间隙,用于大跨距及多支点的转轴与轴承的配合,以及高速、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 $H8/e7$
	$f(F)$	多与 IT6~IT8 对应,用于一般转动的配合,受温度影响不大,采用普通润滑油的轴与滑动轴承的配合滑动轴承,如齿轮箱、小电机、泵等的转轴与滑动轴承的配合为 $H7/f6$
	$g(G)$	多与 IT5、IT6、IT7 对应,形成配合的间隙较小,用于轻载精密装置中的转动配合,最适合不回转的精密滑动配合,也用于插销等定位配合,如精密连杆轴承、活塞及滑阀、连杆销等处的配合。
	$h(H)$	多与 IT4~IT11 对应,广泛用于无相对转动的零件,作为一般的定位配合。若没有温度、变形的影响,也可用于精密滑动配合,如车床尾座孔与滑动套筒的配合为 $H6/h5$

(续表)

配合	基本偏差	配合特性及应用
过渡配合	$js(JS)$ $j(J)$	多用于 IT4~IT7 具有平均间隙的过渡配合,用于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 或 J7。一般用手或木槌装配
	$k(K)$	多用于 IT4~IT7 平均间隙接近零的配合,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。用于加键传递较大扭矩的配合,如冲床上齿轮与轴的配合
过盈配合	$p(P)$	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。碳钢和铸铁制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。对弹性材料,如轻合金等,往往要求很小的过盈,故可采用 p(或 P)与基准件形成的配合
	$r(R)$	用于传递大扭矩或受冲击负荷而需加键的配合,如蜗轮与轴的配合为 H7/r6。配合 H8/r7 在公称尺寸小于 100 mm 时,为过渡配合
	$s(S)$	用于钢和铸铁制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 的配合。尺寸较大时,为避免损伤配合表面,需用热胀或冷缩法装配
	$t(T)$	用于钢和铸铁制零件的永久性结合,不用键可传递扭矩,需用热胀或冷缩法装配,如联轴节与轴的配合为 H7/t6
	$u(U)$	大过盈配合,最大过盈需验算材料的承受能力,用热胀或冷缩法装配,如火车轮毂和轴的配合为 H6/u5
	$v(V),x(X)$ $y(Y),z(Z)$	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



任务实施

根据题目要求,求得各项参数如表 4-10 所列,尺寸公差带图见图 4-8 所示。

表 4-10 参数计算表

单位:mm

相配合的孔、轴 所求项目		①		②		③	
		孔	轴	孔	轴	孔	轴
公称尺寸		30	30	30	30	30	30
极限尺寸	$D_{\max}(d_{\max})$	30.021	29.980	30.021	30.021	30.021	30.048
	$D_{\min}(d_{\min})$	30.000	29.967	30.000	30.008	30.000	30.035
极限偏差	$ES(es)$	+0.021	-0.020	+0.021	+0.021	+0.021	+0.048
	$EI(ei)$	0	-0.033	0	+0.008	0	+0.035

(续表)

相配合的孔、轴 所求项目		①		②		③	
		孔	轴	孔	轴	孔	轴
公差 $T_h(T_s)$		0.021	0.013	0.021	0.013	0.021	0.013
极限间隙 或 极限过盈	$X_{\max}$	+0.054		+0.013			
	$X_{\min}$	+0.020					
	$Y_{\max}$			-0.021		-0.048	
	$Y_{\min}$					-0.014	
配合公差 T_f		0.034		0.034		0.034	
配合类别		间隙配合		过渡配合		过盈配合	

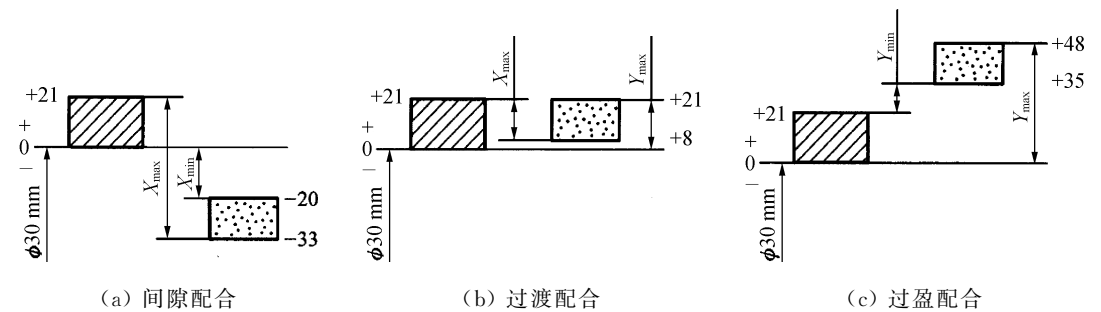


图 4-8 尺寸公差带

任务 2 计量器具的使用

知识目标：

1. 了解游标卡尺、千分尺的机构；
2. 掌握游标卡尺和千分尺的使用方法。

技能目标：

1. 学会用计量器具测量轴的长度和直径；
2. 会正确使用常用计量器具。