

模块三 尺寸公差

一、情境

零、部件要具有互换性，它们首先必须是合格产品。要判断零、部件是否是合格产品，主要从尺寸、形状和位置、表面粗糙度三个方面去考查。因此，加工后的零件尺寸符合机械图样的尺寸标注要求仅仅是产品合格的一个主要方面。本模块主要介绍尺寸公差。

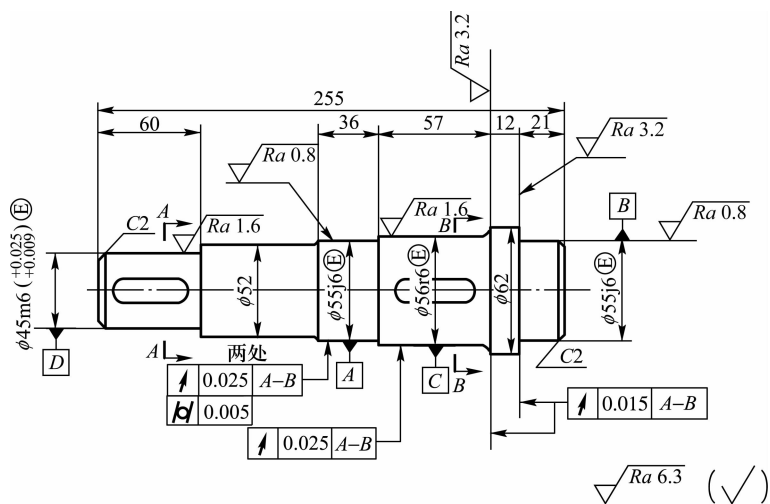


图 3-1 减速器输出轴

如图 3-1 所示为减速器输出轴，其上标注的尺寸有 $\phi 45m6$ 、 $\phi 55j6$ 、 $\phi 56r6$ 、255 mm 等。读图时能正确理解、设计时能正确标注输出轴上的这些尺寸，就要学习与掌握技术标准《极限与配合》。

互换性要求的零件尺寸一致性是指尺寸须在某一合理的范围之内（并非尺寸完全相同），这个范围就是尺寸公差（允许零件尺寸的最大变动量），它既要满足零件的使用要求，又要满足零件制造的经济性，由此形成了“极限”与“配合”的概念。

“极限”主要用于协调零件使用要求与制造经济性之间的矛盾，“配合”主要反映零件组合时相互之间的关系。“极限”与“配合”的标准化有利于机器的设计、制造、使用和维修。技术标准中的《极限与配合》主要适用于机械行业外，还几乎涉及国民经济的各个部门，是广泛组织协作和专业化生产的重要依据。

二、项目

减速器输出轴中尺寸标注、尺寸精度设计。

任务1 正确理解公差配合的基本术语及定义

理论知识点讲授

1.1 有关孔和轴的定义

1) 孔 (hole): 通常指工件的圆柱形内表面, 也包括非圆柱形内表面 (即由两平行平面或切平面形成的包容面)。孔的直径用 D 表示。

2) 轴 (shaft): 通常指工件的圆柱形外表面, 也包括非圆柱形外表面 (即由两平行平面或切平面形成的被包容面)。轴的直径用 d 表示。

孔与轴的范围被扩大了, 要注意正确理解。从装配关系讲, 孔是包容面, 轴是被包容面。从加工过程看, 随着余量的切除, 孔的直径由小变大, 轴的直径由大变小。

如图 3-2 所示, 由定义可知: d 、 d_1 、 d_2 、 d_3 可视为“轴”。 D 、 D_1 、 D_2 可视为“孔”。 L_1 可视为“非孔非轴”, 因为从加工过程看, 以 L_1 下端为基准加工上端, L_1 变小, 可视为轴; 以 L_1 上端为基准加工下端, L_1 变大, 可视为孔。

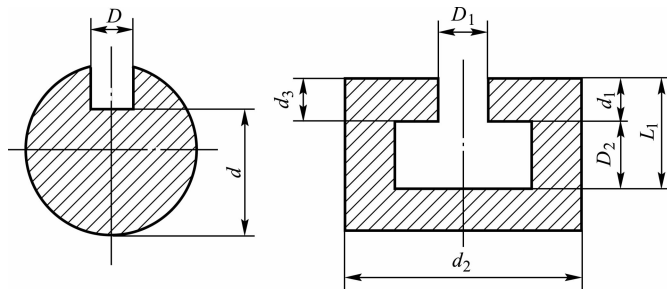


图 3-2 孔与轴

1.2 有关尺寸的术语及定义

(1) 尺寸

尺寸是指以特定单位表示线性尺寸值的数值。它由数字和长度单位组成, 如 255 mm。

长度包括直径、半径、宽度、高度、深度和中心距等。在机械制造业中, 一般常用毫米 (mm) 作为特定单位, 在图样上标注时, 可省略单位, 仅标数值, 例如, 图 3-1 输出轴上标注的 255、60、36、57 等。

(2) 公称尺寸 (D, d)

公称尺寸 (也称基本尺寸) 是指设计时由设计者给定的尺寸。孔用 D 表示, 轴用 d 表示。

公称尺寸的确定方法是设计者根据使用要求, 通过强度、刚度计算及结构等方面的考虑, 或根据实验和经验而确定的。公称尺寸一般按标准尺寸选取, 目的是减少定值刀具、量具和夹具的规格数量。它可以是一个整数或一个小数值。通过它并应用上、下极限偏差可算出极限尺寸。

(3) 实际尺寸 (也称实际要素、组成要素 D_a, d_a)

实际尺寸是指通过测量获得的某一孔、轴的尺寸。孔用 D_a 表示, 轴用 d_a 表示。

由于存在测量误差, 所以实际尺寸并非是被测尺寸的真值。又由于存在形状误差, 同一表面不同部位的实际尺寸往往不相等, 所以要用两点法进行测量, 因此往往把实际尺寸称为局部实际尺寸。

实际尺寸是客观存在的, 是一个测量获得的随机尺寸, 因此为了使其接近真值, 对同一被测要素测量多次, 求得平均值作为实际尺寸。

(4) 极限尺寸 ($D_{\max}, d_{\max}; D_{\min}, d_{\min}$)

极限尺寸是指一个孔或轴允许尺寸变化的两个界限值, 如图 3-3 所示。

上极限尺寸 (也称最大极限尺寸) 是指孔或轴允许的最大尺寸。孔用 D_{\max} 表示, 轴用 d_{\max} 表示。下极限尺寸 (也称最小极限尺寸) 是指孔或轴允许的最小尺寸。孔用 D_{\min} 表示, 轴用 d_{\min} 表示。

极限尺寸也是设计时由设计者给定的。通过公称尺寸和上、下极限偏差可算出极限尺寸。极限尺寸用于控制实际尺寸, 实际尺寸应位于其中, 也可达到极限尺寸。

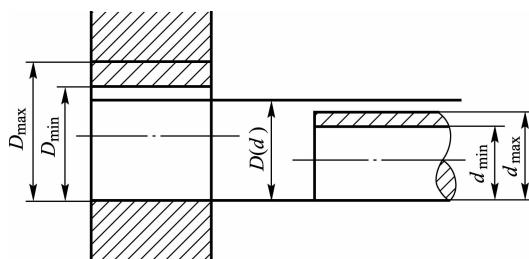


图 3-3 极限尺寸

(5) 实体尺寸 (MMS, LMS)

实体尺寸也是设计时由设计者给定的, 它可分为最大实体尺寸 (MMS) 和最小实体尺寸 (LMS)。

1) 最大实体尺寸 (MMS) 是指孔或轴具有允许材料量为最多时状态 (最大实体状态, 简称 MMC) 下的极限尺寸。孔和轴的最大实体尺寸分别用 D_{MMS} 和 d_{MMS} 表示。

2) 最小实体尺寸 (LMS) 是指孔或轴具有允许材料量为最少时状态 (最小实体状态, 简称 LMC) 下的极限尺寸。孔和轴的最小实体尺寸分别用 D_{LMS} 和 d_{LMS} 表示。

实体尺寸与极限尺寸有如下关系: (孔) $D_{\text{MMS}} = D_{\min}, D_{\text{LMS}} = D_{\max}$; (轴) $d_{\text{MMS}} = d_{\max}, d_{\text{LMS}} = d_{\min}$ 。

(6) 体外作用尺寸 (D_{fe} , d_{fe})

作用尺寸可分为体外作用尺寸和体内作用尺寸。本书只介绍体外作用尺寸。

孔的体外作用尺寸 (D_{fe}) 是指在配合面的全长上与实际孔相内接的最大理想轴的尺寸。

轴的体外作用尺寸 (d_{fe}) 是指在配合面的全长上与实际轴相外接的最小理想孔的尺寸。

体外作用尺寸的特点 (图 3-4): ① 实际存在的, 对一批零件而言是一随机变量; ② $D_{fe} \leq D_a$, $d_{fe} \geq d_a$; ③ 只有 $D_{fe} \geq d_{fe}$, 孔、轴才能自由装配 (不是 $D_a \geq d_a$)。

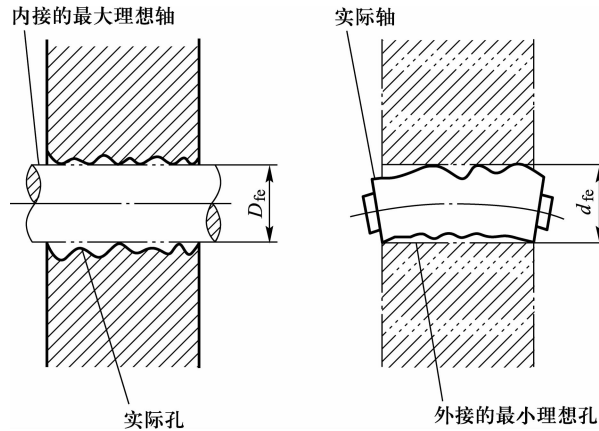


图 3-4 孔和轴的体外作用尺寸

(7) 尺寸合格条件

1) 单个零件尺寸合格条件是: 实际尺寸在极限尺寸范围内, 即轴 $D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max}$, 孔 $d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}$ 。从这个角度看, 极限尺寸是针对尺寸误差而提出的, 测量获得的实际尺寸要求其检测精度较高, 否则会产生误判现象。

2) 有配合要求的零件尺寸合格条件是: 必须遵循极限尺寸判断原则 (即泰勒原则), 使实际尺寸和体外作用尺寸都被控制在极限尺寸内, 即对孔: $D_{\min} \leq D_{fe} \leq D_a \leq D_{\max}$, 对轴: $d_{\min} \leq d_a \leq d_{fe} \leq d_{\max}$ 。

1.3 有关偏差与公差的术语及定义

(1) 尺寸偏差

尺寸偏差 (简称偏差) 是指某一尺寸减去其公称尺寸所得的代数差。由此偏差可分为实际偏差和极限偏差。由于偏差是代数差, 所以它可以为正、零或负值。

1) 实际偏差

实际偏差是指实际尺寸减去其公称尺寸所得的代数差。它是零件加工完成后通过测量、计算而得到的。合格零件的实际偏差应位于极限偏差 (孔用 E_a 表示、轴用 e_a 表示) 范围之内。

2) 极限偏差

极限偏差是指极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差。它是设计时由设计者给定的。极限偏差用于控制实际偏差。

上极限偏差：上极限尺寸（最大极限尺寸）减去其公称尺寸所得的代数差。

下极限偏差：下极限尺寸（最小极限尺寸）减去其公称尺寸所得的代数差。计算式为：

$$\text{孔的上、下极限偏差} \quad ES = D_{\max} - D \quad EI = D_{\min} - D$$

$$\text{轴的上、下极限偏差} \quad es = d_{\max} - d \quad ei = d_{\min} - d$$

上极限偏差总是大于下极限偏差。偏差值除零外，前面必须标注有正号或负号。标注示例：如图 3-1 输出轴上的 $\phi 45m6\left(\begin{smallmatrix} +0.025 \\ +0.009 \end{smallmatrix}\right) \textcircled{E}$ 。

(2) 尺寸公差

尺寸公差（简称公差）是指允许尺寸的最大变动量。它是设计时由设计者给定的。公差是用以限制误差的，零件的误差在公差范围内即为合格；反之，则不合格。

尺寸公差计算为：公差等于上极限尺寸减去下极限尺寸之差，或上极限偏差减去下极限偏差之差。孔公差 $T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI|$

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

(3) 公差带与公差带图解

1) 公差带是指在公差带图解中由两条平行直线所限定的一个区域，这两条平行直线分别代表上极限偏差和下极限偏差，或分别代表上极限尺寸和下极限尺寸。

公差带的两个要素 $\left\{ \begin{array}{l} \text{大小} \xrightarrow{\text{标准化}} \text{标准公差} \\ \text{位置} \xrightarrow{\text{标准化}} \text{极限偏差} \rightarrow \text{基本偏差} \end{array} \right.$

2) 公差带图解（又称公差带图）是指采用几何作图方法画出的能代表公差带大小和位置的简图。

零线：在公差带图解中，表示公称尺寸的一条水平直线即为零线。以它为基础确定偏差和公差，正偏差位于其上，负偏差位于其下，如图 3-5 所示。

3) 公差带图的画法：

- ① 作零线；
- ② 确定作图比例，单位为 μm 、 mm 均可；
- ③ 根据孔或轴的极限偏差画出其公差带。

注意：公称尺寸相同的孔、轴公差带才能画在一张图纸上，作图比例基本一致。

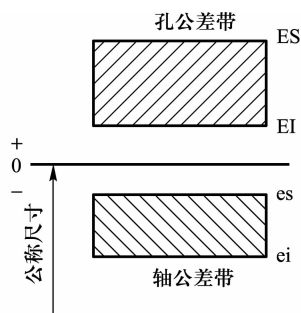


图 3-5 公差带图

1.4 有关配合的术语及定义

(1) 间隙与过盈

孔的尺寸 - 轴的尺寸 = 代数差。差为“+”值时称为间隙 X ，差为“-”值时称为过盈 Y 。

(2) 配合

配合是指公称尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。根据孔、轴公差带不同位置关系，配合可分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三大类。

1) 间隙配合 是指孔公差带在轴公差带上方的配合，即具有间隙的配合（包括 $X_{\min} = 0$

的配合)。对一批零件而言，所有孔的尺寸 \geq 轴的尺寸，如图3-6所示。

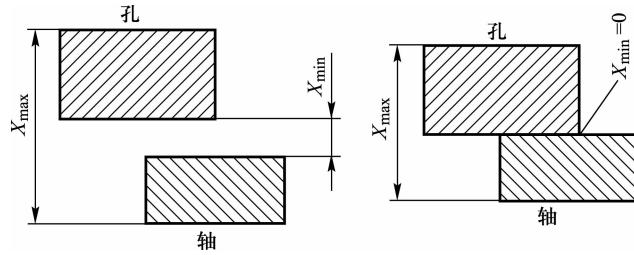


图3-6 间隙配合

间隙配合的性质用其特征参数表示，其特征参数主要为：

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

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

平均间隙 $X_{av} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2}$

2) 过盈配合 是指孔公差带在轴公差带下方的配合，即具有过盈的配合（包括 $Y_{\min} = 0$ 的配合）。对一批零件而言，所有孔的尺寸 \leq 轴的尺寸，如图3-7所示。

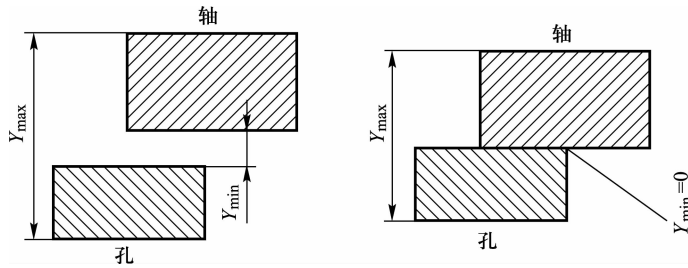


图3-7 过盈配合

过盈配合的性质用其特征参数表示，其特征参数主要为：

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

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

平均过盈 $Y_{av} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2}$

3) 过渡配合 是指孔、轴公差带具有相互重叠的配合，即可能具有 X 或 Y 的配合，如图3-8所示。

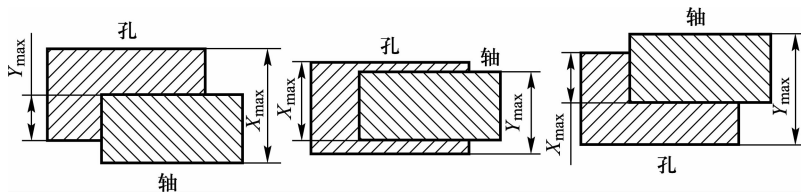


图3-8 过渡配合

过渡配合的性质用其特征参数表示，其特征参数主要为：

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

$$\text{最大过盈 } Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

$$\text{平均间隙或平均过盈 } X_{\text{av}} \text{ (或 } Y_{\text{av}}) = \frac{X_{\max} + Y_{\max}}{2}$$

(3) 配合公差

1) 配合公差是允许间隙或过盈的变动量。其值为组成配合的孔、轴公差之和。

$$|X_{\max} - X_{\min}| \quad (\text{间隙配合})$$

$$T_f = T_h + T_s = |X_{\max} - Y_{\max}| \quad (\text{过渡配合})$$

$$|Y_{\min} - Y_{\max}| \quad (\text{过盈配合})$$

配合公差是设计人员根据相配件的使用要求确定的。配合公差越大，配合精度越低；配合公差越小，配合精度越高。

若要提高配合精度（即减小 T_f ），可减小相配合的孔、轴尺寸公差（即提高相配合的孔、轴的加工精度）。设计时，应使 $T_f \leq T_h + T_s$ 。

2) 配合公差带是指在公差带图解中由两条平行直线所限定的一个区域，这两条平行直线分别代表极限间隙、极限过盈。

配合公差带大小取决于配合公差的大小，它表示配合精度；配合公差带相对于零线的位置取决于极限间隙或极限过盈的大小，它表示配合松紧。配合公差带图如图 3-9 所示。

配合公差完全在零线以上为间隙配合，完全在零线以下为过盈配合，跨在零线上、下两侧为过渡配合，如图 3-9 所示。

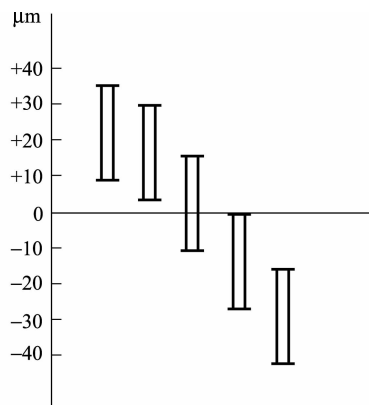


图 3-9 配合公差带图

能力训练指导

能力训练 1：分析图 3-10，哪些为“孔”？哪些为“轴”？

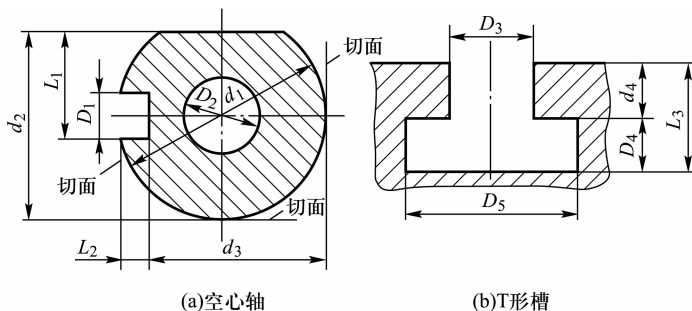


图 3-10 空心轴与 T 形槽

分析指导：从加工过程看，随着余量的切除，孔的尺寸由小变大，轴的尺寸由大变小。由此可知： d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 可视为“轴”； D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 可视为“孔”； L_1 、 L_2 、 L_3 可视为“非孔非轴”。

能力训练 2：零件的实际尺寸越接近公称尺寸，零件的精度越高。这句话对吗？

分析指导：此说法不妥。例如轴径 $\phi 80n7$ ($^{+0.050}_{+0.020}$)，零件的实际尺寸越接近公称尺寸即约等于 80，它超出了下极限尺寸范围，此零件不合格，更谈不上精度高低了。不是零件的实际尺寸越接近公称尺寸，零件的精度越高，而是零件的加工误差越小，零件的精度越高。

能力训练 3：计算并画公差带图。

例 3-1 若某配合孔的尺寸为 $\phi 50^{+0.007}_{-0.018}$ mm，轴的尺寸为 $\phi 50^{0}_{-0.016}$ mm，试分别计算其极限间隙或极限过盈、平均间隙或平均过盈、配合公差，并画出其孔、轴公差带示意图，说明其配合性质。

解：1) 画公差带图，如图 3-11 所示。

由图可知：此孔与轴的配合为过渡配合。

2) 计算：配合公差 $T_f = T_h + T_s = | +0.007 - (-0.018) | \text{mm} + | 0 - (-0.016) | \text{mm} = 0.041 \text{mm}$

最大间隙 $X_{\max} = ES - ei = +0.007 \text{mm} - (-0.016) \text{mm} = +0.023 \text{mm}$

最大过盈 $Y_{\max} = EI - es = -0.018 \text{mm} - 0 \text{mm} = -0.018 \text{mm}$

例 3-2 已知某配合的基本尺寸为 $\phi 80 \text{mm}$ ，配合公差 $T_f = 49 \mu\text{m}$ ，最大间隙 $X_{\max} = 19 \mu\text{m}$ 。孔的公差带 $T_h = 30 \mu\text{m}$ ，轴的下偏差 $ei = +11 \mu\text{m}$ 。试画出该配合的尺寸公差带图和配合公差带图，说明配合的类型。

解：1) 计算极限偏差。

据 $T_f = T_h + T_s$ 得： $T_s = T_f - T_h = (49 - 30) \mu\text{m} = 19 \mu\text{m}$

又据 $X_{\max} = ES - ei$ 得： $ES = X_{\max} + ei = (19 + 11) \mu\text{m} = +30 \mu\text{m}$

则： $EI = ES - T_h = (+30 - 30) \mu\text{m} = 0 \mu\text{m}$

$es = ei + T_s = (+11 + 19) \mu\text{m} = 30 \mu\text{m}$

2) 画公差带图，如图 3-12 所示。

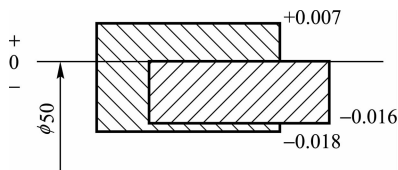


图 3-11 公差带图

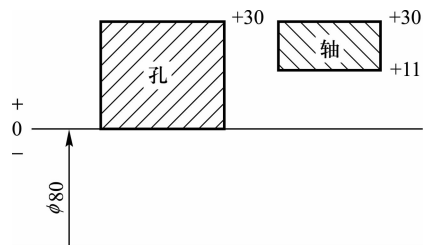


图 3-12 公差带图

由图可知：此孔与轴配合为过渡配合。

3) 画配合公差带图，如图 3-13 所示。

计算 $Y_{\max} = EI - es = (0 - 30) \mu\text{m} = -30 \mu\text{m}$

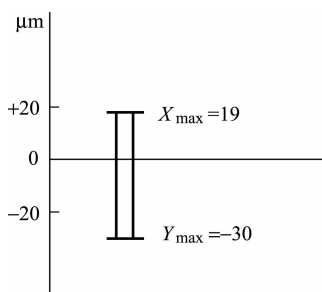


图 3-13 配合公差带图

能力训练任务

能力训练任务 1：分析尺寸偏差与尺寸公差的不同。

能力训练任务 2：在某配合中，已知孔的尺寸标注为 $\phi 20_{0}^{+0.013}$ mm， $X_{\max} = +0.011$ mm， $T_f = 0.022$ mm，求出轴的上、下极限偏差。

任务 2 牢固掌握标准公差、基本偏差系列、公差带代号与配合代号

理论知识点讲授

2.1 标准公差

2.1.1 标准公差概念及等级

(1) 标准公差

标准公差指国家标准（GB/T 1800.1—2009）极限与配合制中所规定的任一公差。其代号由 IT（国际公差 ISO Tolerancer 的缩写）和阿拉伯数字组成，如 IT8。标准公差确定了公差带的大小。

(2) 标准公差等级

标准公差等级是指确定尺寸精确程度的等级。国家标准（GB/T 1800.1—2009）将标准公差等级规定为 20 个等级，依次为 IT01、IT0、IT1、IT2、…、IT18 等级，IT01 精度最高，IT18 精度最低。

一般来说，在机械制造中，IT8 为中等精度，常用的高精度有 IT7、IT6、IT5 等，常用的低精度有 IT9、IT10、IT11、IT12、IT13 等。

规定和划分标准公差等级的目的是使规定的等级既能满足不同的使用要求，又能大致代表各种加工方法的精度，从而既有利于设计，又有利于制造。

(3) 尺寸分段

实践证明，公差等级相同而基本尺寸相近的公差数值差别不大。因此，为简化公差数值表格，便于使用，国家标准（GB/T 1800.1—2009）将不大于 500 mm 的公称尺寸分成 13 个尺寸段，这样的尺寸段称为主段落。但考虑到某些配合（如过盈配合）对尺寸变化很敏感，故有的主段落又分成 2 个中间段落，如表 3-1 所示。

表 3-1 尺寸 ≤ 500 mm 的尺寸分段

单位为毫米

主段落		中间段落		主段落		中间段落		主段落		中间段落	
大于	至	大于	至	大于	至	大于	至	大于	至	大于	至
—	3			30	50	30	40	180	250	180	200
3	6			40	50	40	50	200	250	200	225
				225	250	225	250	225	250	225	250
6	10			50	80	50	65	250	315	250	280
				65	80	65	80	280	315	280	315
10	18	10	14	80	120	80	100	315	400	315	355
		14	18	100	120	100	120	355	400	355	400
18	30	18	24	120	180	120	140	400	500	400	450
		24	30	140	180	140	160	450	500	450	500
				160	180	160	180				

2.1.2 标准公差数值

标准公差数值的大小与公差等级和基本尺寸有关。它是通过标准公差计算式算出并经过圆整得到的，可分三段进行。

1) IT5 ~ IT18 的公差值的计算。计算式为

$$IT = ai(I)$$

式中：IT——标准公差；

a——公差等级系数（见表 3-2）；

i——公称尺寸不大于 500 mm 范围内的标准公差因子（见表 3-3）。

表 3-2 IT5 ~ IT18 的公差等级系数 a

公差等级	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
a	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500

表 3-3 尺寸 ≤ 500 mm 的公差因子 i 的值

尺寸段	1 ~ 3	>3	>6	>10	>18	>30	>50	>80	>120	>180	>250	>315	>400
D/mm	1 ~ 3	>3 ~6	>6 ~10	>10 ~18	>18 ~30	>30 ~50	>50 ~80	>80 ~120	>120 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500
i/μm	0.54	0.73	0.90	1.08	1.31	1.56	1.86	2.17	2.52	2.90	3.23	3.54	3.89

2) 高精度 IT01、IT0、IT1，公差值比较小，主要考虑测量误差的影响，其公差值的计算采用线性关系式： $IT = A + BD$ ， D 为公称尺寸，常数 A 和系数 B 均采用优先数系的派生系列 R10/2。

3) IT2 ~ IT4，其公差值是在 IT1 与 IT5 之间按等比级数插入，即 $IT2 = IT1 \times q$ ， $IT3 = IT1 \times q^2, \dots$ ，其公比 $q = \left[\frac{IT5}{IT1} \right]^{\frac{1}{4}}$ 。

分析表 3-4，可得出以下一些特点：

- ① 在 IT5 ~ IT18 间，对于同一公差等级，属于同一尺寸段的公称尺寸，公差值相等；
- ② 属于不同尺寸段的公称尺寸，公差值不等，公称尺寸越大，公差值越大；
- ③ 对于同一公差等级，公称尺寸不同的零件均被认为具有同等的精确程度和加工难易程度。

表 3-4 标准公差数值表（摘自 GB/T 1800.1—2009）

公称尺寸 /mm		标准公差等级																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm										mm							
—	3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3	6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315	400	7	9	13	16	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.56	5.7	8.9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	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。

2.2 基本偏差系列

2.2.1 基本偏差

基本偏差是用以确定公差带相对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偏差，如图 3-14 所示。

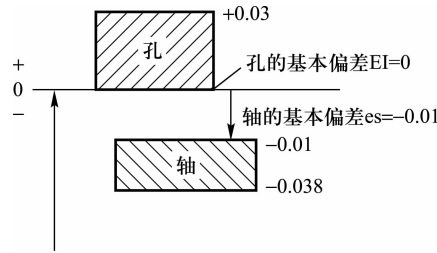


图 3-14 基本偏差

2.2.2 基本偏差的代号、特点

为了满足机器中各种不同性质和不同松紧程度的配合，国家标准对孔与轴分别规定了 28 个基本偏差。

(1) 代号

用拉丁字母（按英文读音）表示，孔大写、轴小写。在 26 个拉丁字母中去掉容易与其他含义混淆的 5 个字母：I、L、O、Q、W（i、l、o、q、w），同时增加 7 个双字母：CD、EF、FG、JS、ZA、ZB、ZC（cd、ef、fg、js、za、zb、zc），如图 3-15 所示。

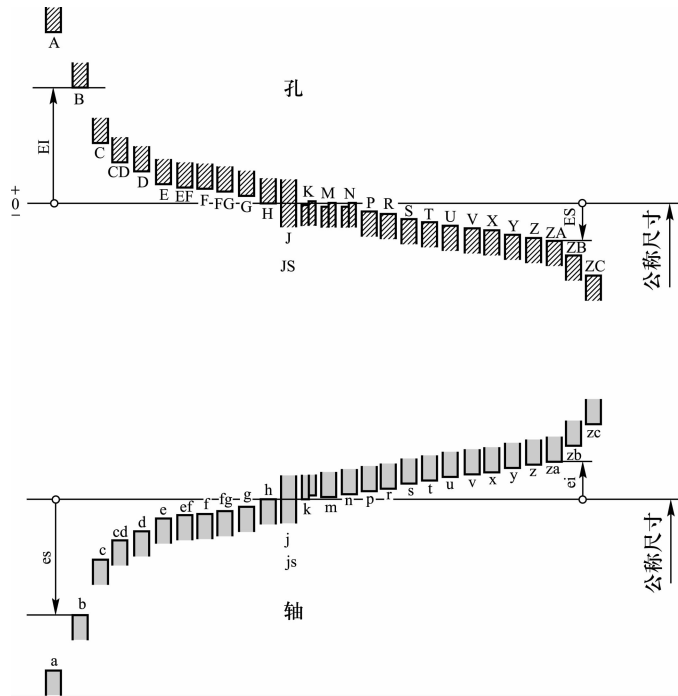


图 3-15 基本偏差系列图

(2) 特点

1) 对所有公差带，当位于零线上方时，基本偏差为下极限偏差；当位于零线下方时，基本偏差为上极限偏差。具体而言之，孔的基本偏差从 A 到 H 为下极限偏差 EI，且为正值（或

零);从 J 到 ZC 为上极限偏差,且为负值(除 J、K 外)。轴的基本偏差从 a 到 h 为上极限偏差 es,且为负值(或零);从 j 到 zc 为下极限偏差 ei,且为正值(除 j 外)。

2) 在各个公差等级中,JS 与 js 形成的公差带完全对称于零线,故上极限偏差为 $+\frac{IT}{2}$ 或下极限偏差为 $-\frac{IT}{2}$, 均可为基础偏差。

3) 孔的基本偏差的确定

① 通用规则 同一字母的孔和轴的基本偏差的符号相反,而绝对值相等,即 $EI = -es$ 或 $ES = -ei$ 。

② 特殊规则 同一字母的孔和轴的基本偏差的符号相反,而绝对值相差一个 Δ 值,即 $ES = -ei + \Delta$, $\Delta = T_h - T_s = IT_n - IT(n - 1)$, 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。此式适用于 $3 \text{ mm} < \text{公称尺寸} \leq 500 \text{ mm}$, 标准公差 $\leq IT8$ 的 J ~ N 和标准公差 $\leq IT7$ 的 P ~ ZC。

2.2.3 基本偏差数值表

表 3-5 为轴的基本偏差数值表(摘自 GB/T 1800.2—2009)。

表 3-6 为孔的基本偏差数值表(摘自 GB/T 1800.2—2009)。

2.3 公差带代号、配合代号及其标注

2.3.1 公差带代号

(1) 公差带代号

公差带代号由基本偏差代号及公差等级代号组成。如图 3-1 减速器输出轴上标注的 $\phi 45m6$ 、 $\phi 55j6$ 、 $\phi 56r6$ 中的 m6、j6、r6 等。

公差带代号在零件图上的标注分别为:① 代号标注,如图 3-16a 所示;② 数值标注,如图 3-16b 所示;③ 混合标注,如图 3-16c 所示。另外,还有对称偏差标注,如 $\phi 10js5 (\pm 0.003)$ 。

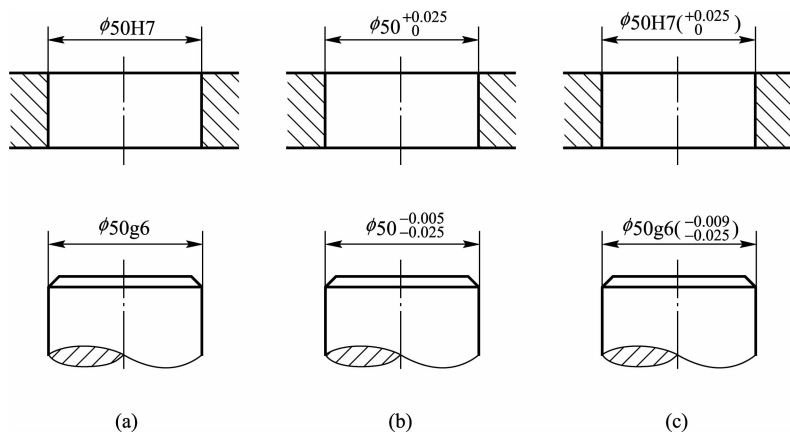


图 3-16 孔、轴公差带代号的标注

表 3-5 轴的基本偏差数值

公称尺寸 /mm		上极限偏差 es											基本				
		所有标准公差等级											IT5 和 IT6	IT7	IT8	IT4 至 IT7	
大于	至	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j			
-	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	偏差 = ±IT _n /2, 式中IT _n 是IT数值	-2	-4	-6	0
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4		+1
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5		+1
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6		+1
14	18													-4	-8		+2
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0		-5	-10		+2
24	30													-7	-12		+2
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0		-7	-12		+2
40	50	-320	-180	-130		-100	-60		-30		-10	0		-9	-15		+3
50	65	-340	-190	-140		-120	-72		-36		-12	0		-11	-18		+3
65	80	-360	-200	-150		-145	-85		-43		-14	0		-13	-21		+4
80	100	-380	-220	-170		-170	-100		-50		-15	0		-16	-26		+4
100	120	-410	-240	-180		-190	-110		-56		-17	0		-18	-28		+4
120	140	-460	-260	-200		-210	-125		-62		-18	0		-20	-32		+5
140	160	-520	-280	-210		-230	-135		-68		-20	0					0
160	180	-580	-310	-230		-260	-145		-76		-22	0					0
180	200	-660	-340	-240		-290	-160		-80		-24	0					0
200	225	-740	-380	-260		-320	-170		-86		-26	0					0
225	250	-820	-420	-280		-350	-195		-98		-28	0					0
250	280	-920	-480	-300		-390	-220		-110		-30	0					0
280	315	-1050	-540	-330		-430	-240		-120		-32	0					0
315	355	-1200	-600	-360		-480	-260		-130		-34	0					0
355	400	-1350	-680	-400		-520	-290		-145		-38	0					0
400	450	-1500	-760	-440													
450	500	-1650	-840	-480													
500	560																
560	630																
630	710																
710	800																
800	900																
900	1000																
1000	1120																
1120	1250																
1250	1400																
1400	1600																
1600	1800																
1800	2000																
2000	2240																
2240	2500																
2500	2800																
2800	3150																

注: 1. 公称尺寸小于或等于1 mm 时, 基本偏差 a 和 b 均不采用。
 2. 公差带 js7 至 js11, 若 IT_n 数值是奇数, 则取偏差 = ± $\frac{IT(n-1)}{2}$ 。

(摘自 GB/T 1800.1—2009)

偏差数值														
下极限偏差 e_i														
$\leq IT3$ $> IT7$	所有标准公差等级													
k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60
0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80
0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97
0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130
								+39	+45		+60	+77	+108	+150
0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
								+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118
0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200
								+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180
0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
				+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
				+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
				+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
				+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
				+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
				+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
				+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
				+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
				+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600
0	+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600							
				+155	+310	+450	+660							
0	+30	+50	+88	+175	+340	+500	+740							
				+185	+380	+560	+840							
0	+34	+56	+100	+210	+430	+620	+940							
				+220	+470	+680	+1050							
0	+40	+66	+120	+250	+520	+780	+1150							
				+260	+580	+840	+1300							
0	+48	+78	+140	+300	+640	+960	+1450							
				+330	+720	+1050	+1600							
0	+58	+92	+170	+370	+820	+1200	+1850							
				+400	+920	+1350	+2000							
0	+68	+110	+195	+440	+1000	+1500	+2300							
				+460	+1100	+1650	+2500							
0	+76	+135	+240	+550	+1250	+1900	+2900							
				+580	+1400	+2100	+3200							

表 3-6 孔的基本偏差

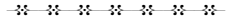
公称尺寸 /mm		基本偏差																				
		下极限偏差 EI																				
		所有标准公差等级											IT6	IT7	IT8	≤IT8	>IT8	≤IT8	>IT8	≤IT8	>IT8	
大于	至	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J			K		M		N	
-	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0		+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-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											0										
18	24	+300	+160	+110		+65	+40		+20		+7	0		+8	+12	+20	-2+Δ		-8+Δ	-8	-15+Δ	0
24	30											0										
30	40	+310	+170	+120		+80	+50		+25		+9	0		+8	+14	+24	-2+Δ		-9+Δ	-9	-17+Δ	0
40	50	+320	+180	+130								0										
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0		+10	+18	+28	-2+Δ		-11+Δ	-11	-20+Δ	0
65	80	+360	+200	+150								0										
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0		+13	+22	+34	-3+Δ		-13+Δ	-13	-23+Δ	0
100	120	+410	+240	+180								0										
120	140	+460	+260	+200								0										
140	160	+520	+280	+210		+145	+85		+43		+14	0		+16	+26	+41	-3+Δ		-15+Δ	-15	-27+Δ	0
160	180	+580	+310	+230								0										
180	200	+660	+340	+240								0										
200	225	+740	+380	+260		+170	+100		+50		+15	0		+18	+30	+47	-4+Δ		-17+Δ	-17	-31+Δ	0
225	250	+820	+420	+280								0										
250	280	+920	+480	+300		+190	+110		+56		+17	0		+22	+36	+55	-4+Δ		-20+Δ	-20	-34+Δ	0
280	315	+1050	+540	+330								0										
315	355	+1200	+600	+360		+210	+125		+62		+18	0		+25	+39	+60	-4+Δ		-21+Δ	-21	-37+Δ	0
355	400	+1350	+680	+400								0										
400	450	+1500	+760	+440		+230	+135		+68		+20	0		+29	+43	+66	-5+Δ		-23+Δ	-23	-40+Δ	0
450	500	+1650	+840	+480								0										
500	560					+260	+145		+76		+22	0		+33			0		-26		-44	
560	630											0										
630	710					+290	+160		+80		+24	0							0		-30	-50
710	800											0										
800	900					+320	+170		+86		+26	0							0		-34	-56
900	1000											0										
1000	1120					+350	+195		+98		+28	0							0		-40	-66
1120	1250											0										
1250	1400					+390	+220		+110		+30	0							0		-48	-78
1400	1600											0										
1600	1800					+430	+240		+120		+32	0							0		-58	-92
1800	2000											0										
2000	2240					+480	+260		+130		+34	0							0		-68	-110
2240	2500											0										
2500	2800					+520	+290		+145		+38	0							0		-76	-135
2800	3150											0										

偏差 = ±ITn/2, 式中ITn是IT数值

- 注：1. 公称尺寸小于或等于 1 mm 时，基本偏差 A 和 B 及大于 IT8 的 N 均不采用。
2. 公差带 JS7 至 JS11，若 ITn 数值是奇数，则取偏差 = ± $\frac{IT(n-1)}{2}$ 。
3. 对小于或等于 IT8 的 K、M、N 和小于或等于 IT7 的 P 至 ZC，所需 Δ 值从表内右侧选取。例如 18 ~ 30 mm 段的 K7：Δ = 8 μm，所以 ES = -2 + 8 = +6 μm；18 ~ 30 mm 段的 S6：Δ = 4 μm，所以 ES = - (35 + 4) μm = -31 μm。
4. 特殊情况：250 ~ 315 mm 段的 M6，ES = -9 μm（代替 -11 μm）。

(摘自 GB/T 1800.1—2009)

数值													Δ 值									
上极限偏差 ES																						
≤ IT7	标准公差等级大于 IT7												标准公差等级									
P 至 ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8				
在大于 IT7 的相应数值上增加一个 Δ 值	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0				
	-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6				
	-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7				
	-18	-23	-28		-33					-40	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9		
										-39	-45	-60	-77	-108							-150	
	-22	-28	-35			-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218	1.5	2	3	4	8	12		
						-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274								
	-26	-34	-43			-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325	1.5	3	4	5	9	14		
						-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226							-300	-405
	-32					-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480	2	3	5	6	11	16
						-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585						
	-37					-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690	2	4	5	7	13	19
						-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800						
	-43					-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23
						-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000						
	-50					-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26
						-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250						
						-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350						
	-56					-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29
						-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700						
	-62					-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32
						-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100						
	-68					-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34
						-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600						
	-78					-150	-280	-400	-600													
						-155	-310	-450	-660													
	-88					-175	-340	-500	-740													
						-185	-380	-560	-840													
	-100					-210	-430	-620	-940													
						-220	-470	-680	-1050													
	-120					-250	-520	-780	-1150													
						-260	-580	-840	-1300													
-140					-300	-640	-960	-1450														
					-330	-720	-1050	-1600														
-170					-370	-820	-1200	-1850														
					-400	-920	-1350	-2000														
-195					-440	-1000	-1500	-2300														
					-460	-1100	-1650	-2500														
-240					-550	-1250	-1900	-2900														
					-580	-1400	-2100	-3200														



(2) 一般、常用和优先公差带代号

国家标准规定的标准公差 20 个等级和孔、轴基本偏差各 28 个，可组合成 543 个孔公差带和 544 个轴公差带，由此又可组成近 30 万种配合。为了简化和统一，以利于互换，并尽可能减少刀具、量具的品种和规格，GB/T 1801—2009 规定了公称尺寸 ≤500 mm 的轴：一般公差带 116 种、常用公差带 59 种（方框内）、优先公差带 13 种（圆圈内），如图 3-17 所示。GB/T 1801—2009 规定了公称尺寸 ≤500 mm 的孔：一般公差带 105 种、常用公差带 44 种（方框内）、优先公差带 13 种（圆圈内），如图 3-18 所示。

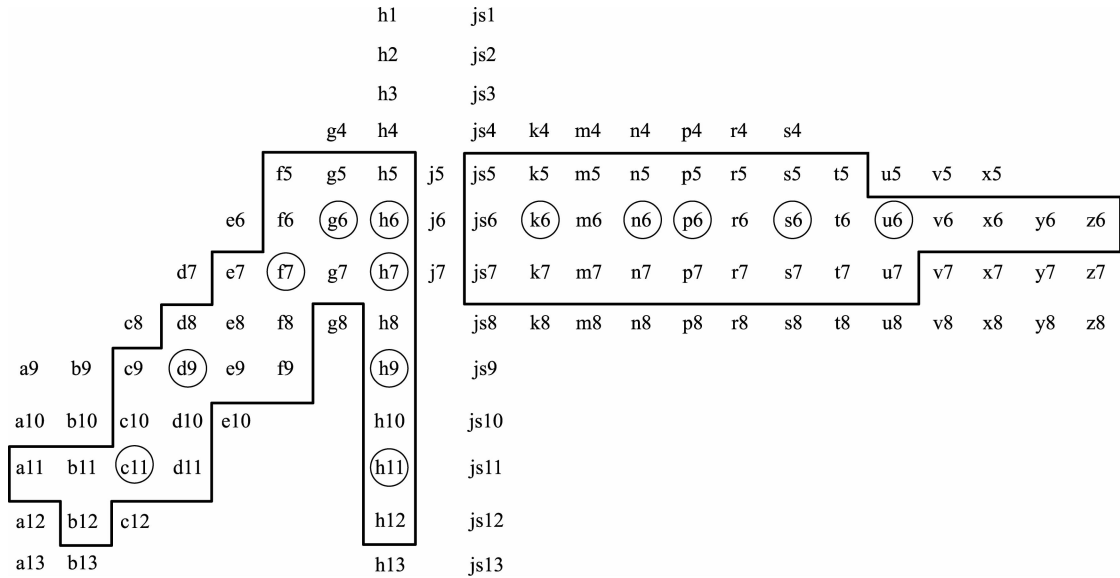


图 3-17 一般、常用和优先轴的公差带

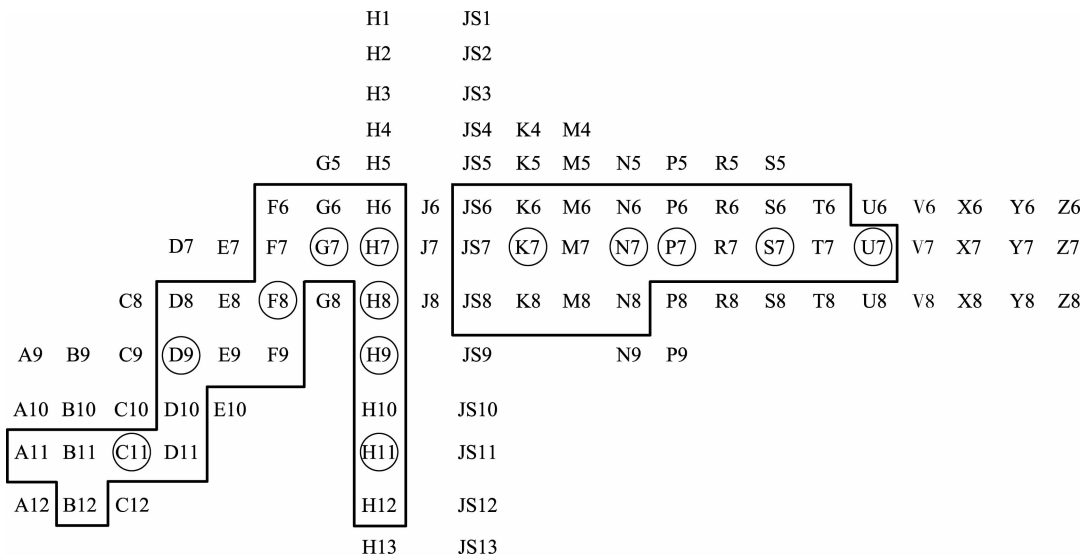


图 3-18 一般、常用和优先孔的公差带

2.3.2 配合代号

(1) 配合代号

配合代号用孔、轴公差带组合表示成分数，在装配图上标注，如图 3-19 所示。

配合代号在装配图上的标注方法分别为：

- 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 $\phi 55ah7 \left(\begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix} \right) / h6 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.019 \end{smallmatrix} \right)$;
- ③ $\phi 55 \left(\begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix} \right) / \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.019 \end{smallmatrix} \right)$ 。

前一种应用最广，后两种一般分别用于批量生产和单件小批生产。

(2) 基准制

一种零件的基本偏差（公差带位置）不变，而只改变另一种零件的基本偏差（公差带位置），以获得不同的配合性质称为“基准制”，如图 3-20 所示。

基孔制：基本偏差固定不变的孔的公差带与不同基本偏差轴的公差带形成的各种配合。其基本偏差为 H。

基孔制 { 孔——基准件（上极限偏差 +IT，下极限偏差 0）
轴——非基准件

基轴制：基本偏差固定不变的轴的公差带与不同基本偏差孔的公差带形成的各种配合。其基本偏差为 h。

基轴制 { 孔——非基准件
轴——基准件（上极限偏差 0，下极限偏差 -IT）

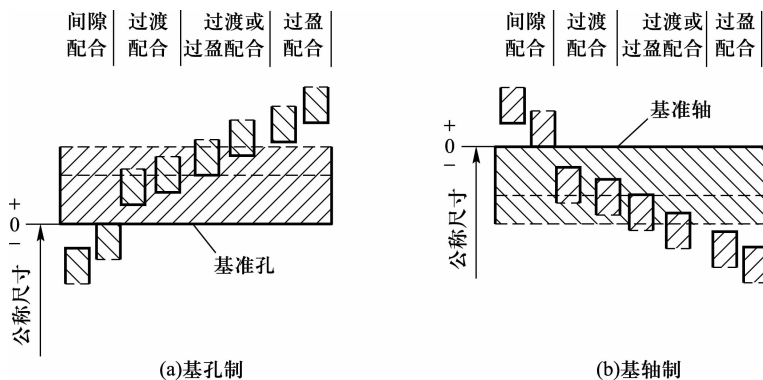


图 3-20 基准制

(3) 常用和优先配合代号

GB/T 1801—2009 规定了基孔制常用配合 59 种，优先配合 13 种，见表 3-7；基轴制常用配合 47 种，优先配合 13 种，见表 3-8。

表 3-7 基孔制常用和优先配合 (摘自 GB/T 1801—2009)

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						$\frac{H6}{f5}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{js5}$	$\frac{H6}{k5}$	$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H6}{n5}$	$\frac{H6}{p5}$	$\frac{H6}{r5}$	$\frac{H6}{s5}$	$\frac{H6}{t5}$					
H7						$\frac{H7}{f6}$	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{js6}$	$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{m6}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{u6}$	$\frac{H7}{v6}$	$\frac{H7}{x6}$	$\frac{H7}{y6}$	$\frac{H7}{z6}$
H8					$\frac{H8}{e7}$	$\frac{H8}{f7}$	$\frac{H8}{g7}$	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{js7}$	$\frac{H8}{k7}$	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$	$\frac{H8}{p7}$	$\frac{H8}{r7}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H8}{t7}$	$\frac{H8}{u7}$				
H8				$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$		$\frac{H8}{h8}$													
H9			$\frac{H9}{c9}$	$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$		$\frac{H9}{h9}$													
H10			$\frac{H10}{e10}$	$\frac{H10}{d10}$				$\frac{H10}{h10}$													
H11	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$					$\frac{H11}{h11}$												
H12			$\frac{H12}{b12}$						$\frac{H12}{h12}$												

注：用 * 号表示的配合为优先配合。

表 3-8 基轴制常用和优先配合 (摘自 GB/T 1801—2009)

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						$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{JS6}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{R6}{h5}$	$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$					
h6						$\frac{F7}{h6}$	$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{JS7}{h6}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{M7}{h6}$	$\frac{N7}{h6}$	$\frac{P7}{h6}$	$\frac{R7}{h6}$	$\frac{S7}{h6}$	$\frac{T7}{h6}$	$\frac{U7}{h6}$				
h7					$\frac{E8}{h7}$	$\frac{F8}{h7}$		$\frac{H8}{h7}$	$\frac{JS8}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$									
h8				$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$		$\frac{H8}{h8}$													
h9				$\frac{D9}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$		$\frac{H9}{h9}$													
h10				$\frac{D10}{h10}$				$\frac{H10}{h10}$													
h11	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$				$\frac{H11}{h11}$													
h12		$\frac{B12}{h12}$						$\frac{H12}{h12}$													

注：用 * 号表示的配合为优先配合。

(4) 同名配合

对于两个配合，一个为基孔制（或基轴制），另一个必为基轴制（或基孔制），基本偏差代号相对应，孔、轴公差等级同级或孔比轴低一级，这样的配合称为同名配合。如 $\phi 40 \frac{H7}{m6}$ 与 $\phi 40 \frac{M7}{h6}$ 为同名配合。

同名配合的配合性质是否相同，主要分为以下两种情形：

① 所有基孔制或基轴制的同名的间隙配合，其配合性质相同。

② 基孔制或基轴制的同名的过渡和过盈配合，只有公差等级组合符合国家标准在换算孔的基本偏差时的规定，配合性质才能相同。即

$D \leq 500 \text{ mm}$ 的 $>IT8$ 的 K、M、N 以及 $>IT7$ 的 P~ZC，还有 $D > 500 \text{ mm}$ 、 $D < 3 \text{ mm}$ 的所有 J~ZC 形成配合时，必须采用孔、轴同级。

$D \leq 500 \text{ mm}$ 的 $\leq IT8$ 的 J、K、M、N 以及 $\leq IT7$ 的 P~ZC 形成配合时，必须采用孔比轴低一级。

2.4 一般公差尺寸

一般公差是指在车间一般加工条件下可以保证的公差。它是机床在正常维护和操作下，可达到的经济加工精度。

一般公差规定了四个等级：f（精密级）、m（中等级）、c（粗糙级）、v（最粗级）。这4个公差等级相当于 IT12、IT14、IT16 和 IT17。凡未注公差的线性尺寸（包含倒圆半径与倒角高度）均按 m（中等级）加工和检验，在图样上或技术文件中可表示为 GB/T 1804—m，见表 3-9。

表 3-9 线性尺寸的未注极限偏差数值（摘自 GB/T 1804—2000）

单位为毫米

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
f（精密级）	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	—
m（中等级）	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
c（粗糙级）	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
v（最粗级）	—	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

一般公差尺寸就是只标注公称尺寸、不标注公差的尺寸（如 $\phi 55 \text{ mm}$ 、 255 mm ），又称为“自由尺寸”或“未注公差尺寸”。

一般公差的线性尺寸主要用于不重要的、较低精度的非配合尺寸及以工艺方法可保证的尺寸，它可以简化制图，节约设计与检验时间，突出重要尺寸。

能力训练指导

能力训练 1：两查一算（即查标准公差数值表、基本偏差数值表，计算另一极限偏差）。

查出输出轴上的 $\phi 45m6$ ($\phi 55j6$) 的极限偏差。

分析指导:

- (1) 查表 3-4 确定轴径 $\phi 45m6$ 的标准公差: $IT6 = 16 \mu m$ 。
- (2) 查表 3-5 确定轴径 $\phi 45m6$ 的基本偏差: 其基本偏差为下极限偏差 $ei = +9 \mu m$ 。
- (3) 计算轴径 $\phi 45m6$ 的上极限偏差: 依据公式 $T_s = |d_{max} - d_{min}| = |es - ei|$, 得

$$es = T_s + ei = IT + ei = 16 \mu m + 9 \mu m = 25 \mu m$$

故 $\phi 45m6$ 的极限偏差为 $\phi 45_{+0.009}^{+0.025} mm$ 。

能力训练 2: 已知 $\phi 60H7$ ($\begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix}$) / $p6$ ($\begin{smallmatrix} +0.051 \\ +0.032 \end{smallmatrix}$), 求 $\phi 60P7/h6$ 的孔与轴的上、下极限偏差, 查表验证。

分析指导:

因 $IT7 = | +0.030 - 0 | mm = 0.030 mm$, $IT6 = | +0.051 - (+0.032) | mm = 0.019 mm$

$\phi 60P7$ 满足特殊规则, 则 $\Delta = IT7 - IT6 = (0.030 - 0.019) mm = 0.011 mm$

故 $ES = -ei + \Delta = (-0.032 + 0.011) mm = -0.021 mm = -21 \mu m$

$EI = ES - IT7 = (-0.021 - 0.030) mm = -0.051 mm = -51 \mu m$

$\phi 60h6$: $es = 0 \mu m$, $ei = es - IT6 = (0 - 0.019) mm = -0.019 mm = -19 \mu m$

查表验证: 两查一算。

① 查标准公差数值表 3-4 知: $IT7 = 30 \mu m$, $IT6 = 19 \mu m$

② 查孔 P7 基本偏差数值表 3-6 知: $ES = -32 \mu m + \Delta = -32 \mu m + 11 \mu m = -21 \mu m$

查轴 h6 基本偏差数值表 3-5 知: $es = 0 \mu m$

③ 计算: $IT = |ES - EI| = |es - ei|$

孔 P7: $EI = ES - IT7 = -21 \mu m - 30 \mu m = -51 \mu m$

轴 h6: $ei = es - IT6 = 0 \mu m - 19 \mu m = -19 \mu m$, 查表与计算结果一致。

能力训练 3: 下面三根轴哪根精度最高? 哪根精度最低?

(1) $\phi 70_{+0.075}^{+0.105}$; (2) $\phi 250_{-0.044}^{-0.015}$; (3) $\phi 10_{-0.022}^0$

分析指导: 要判断三根轴的精度, 可分为两种情形: ① 公称尺寸属于同一尺寸段内的轴、公称尺寸相同的轴, 公差值小的, 精度就高; ② 公称尺寸不同的轴, 以公差等级作为精度高低的判断依据。

本题三根轴的公称尺寸不同, 先要根据公称尺寸和公差值查出各轴的公差等级, 再作判断。查表 3-4 知: $\phi 70_{+0.075}^{+0.105}$ 为 7 级, $\phi 250_{-0.044}^{-0.015}$ 为 6 级, $\phi 10_{-0.022}^0$ 为 8 级, 故 $\phi 250_{-0.044}^{-0.015}$ 精度最高。

能力训练 4: 判断下列各对同名配合的配合性质是否相同。

(1) $\phi 40 \frac{H9}{f8}$ 与 $\phi 40 \frac{F9}{h8}$; (2) $\phi 40 \frac{H7}{m7}$ 与 $\phi 40 \frac{M7}{h7}$

分析指导: 对于两个间隙配合, 同名配合的配合性质一定相同。对于两个过渡配合或过盈配合: 高精度时, 孔的基本偏差用特殊规则换算, 孔比轴低一级, 同名配合的配合性质才相同; 低精度时, 孔的基本偏差用通用规则换算, 孔、轴必须同级, 同名配合的配合性质才相同。所以, ① $\phi 40 \frac{H9}{f8} = \phi 40 \frac{F9}{h8}$; ② $\phi 40 \frac{H7}{m7} \neq \phi 40 \frac{M7}{h7}$ 。

能力训练任务

能力训练任务 1: 已知公差带 $\phi 20H7$ ($^{+0.021}_0$), $\phi 20s6$ ($^{+0.048}_{+0.035}$), 求 $\phi 20S7$ 的极限偏差 (不查表)。

能力训练任务 2: 查表确定下列各尺寸的公差带代号:

(1) $\phi 50$ ($^{0.050}_{-0.075}$ (轴)); (2) $\phi 65$ ($^{+0.005}_{-0.041}$ (孔))。

任务 3 掌握公差配合的选用

理论知识点讲授

正确、合理地选择公差与配合, 对产品的使用性能、互换性和经济性有着重要的影响。

公差与配合的选择原则是在满足使用要求的前提下能获得最佳的经济效益。公差与配合的选择方法主要有类比法、计算法和试验法。公差与配合的选择内容主要有基准制的选用、公差等级的选用和配合种类的选用。

3.1 基准制的选用

基准制的选用要从零件的加工工艺、装配工艺和经济性等方面考虑。

(1) 优先选用基孔制

从工艺上看, 加工中等尺寸、精度较高的孔通常要用价格较贵的定值刀具 (如铰刀), 而加工中等尺寸、精度较高的不同轴, 可用同一把车刀或同一个砂轮, 因此, 采用基孔制可减少定值刀具和量具的规格、数量, 降低加工成本, 提高经济性。

(2) 下列情况下选用基轴制

① 采用具有一定公差等级 (IT8 ~ IT11) 的冷拉棒材制作轴时, 选用基轴制。因其不需再加工, 可获较明显的经济效益, 常用在农业机械等行业中。

② 与标准件相配合的孔和轴, 应以标准件为基准件来选用基准制。如平键、半圆键等键连接, 由于键是标准件, 键与键槽的配合应采用基轴制; 滚动轴承外圈与箱体孔的配合应采用基轴制。

③ 根据结构上的需要, 同一公称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。如图 3-21 所示, 销轴 2 两端与活塞 1 孔的配合为 M6/h5, 销轴 2 与连杆 3 孔的配合为 H6/h5, 显然它们的配合松紧是不同的, 此时应当采用基轴制。

(3) 特殊情况下选用非基准制

为了满足配合的特殊需要, 允许采用任一孔、轴公差带组成的非基准制配合。

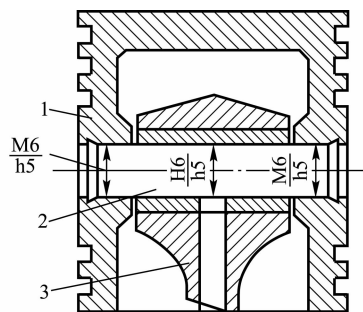


图 3-21 活塞连杆机构中的孔轴配合

如图 3-22 所示, 轴承端盖与壳孔的配合和轴套与轴径的配合分别为 $\phi 100 \frac{J7}{e9}$ 和 $\phi 55 \frac{D9}{j6}$, 它们既不是基孔制也不是基轴制。壳孔公差带 J7 是它与轴承外圈配合决定的, 轴径公差带 j6 是它与轴承内圈配合决定的。为了使轴承端盖与壳孔和轴套与轴径获得更松的配合, 前者不能采用基轴制, 后者不能采用基孔制, 从而决定采用非基准制。

3.2 公差等级的选用

公差等级的选用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或较大的公差值。公差等级的选用依据是 $T_h + T_s \leq T_f$ 。公差等级选用的常用方法是类比法。

类比法是指参照类似的机构、工作条件和使用要求的经验资料, 进行比照, 得出一种解决问题方案的方法。采用类比法应考虑以下几点:

① 工艺等价性。孔比同级轴加工困难, 成本要高, 工艺是不等价的。为了工艺等价, 对于公称尺寸 $\leq 500 \text{ mm}$ 、标准公差 $\leq IT8$ 时, 国家标准推荐孔比轴低一级相配合, 如 H7/n6; 对于公称尺寸 $> 500 \text{ mm}$ 或公称尺寸 $< 3 \text{ mm}$ 的配合或标准公差 $> IT8$ 级时, 国家标准推荐孔、轴同级配合, 如 H9/e9。

② 相配零件、部件的精度匹配性。例如, 与滚动轴承相配合的轴和孔的公差等级与轴承的精度有关。

③ 配合性质。过盈、过渡配合的公差等级不能太低, 一般孔的标准公差 $\leq IT8$, 轴的标准公差 $\leq IT7$ 。间隙配合则不受此限制。但间隙小的配合, 公差等级应较高。

④ 在非基准制配合中, 有的零件精度要求不高, 可与相配合零件的公差等级差 2~3 级, 如图 3-22 中轴承端盖与壳的配合为 $\phi 100 \frac{J7}{e9}$ 。

公差等级的应用见表 3-10。各种加工方法能达到的公差等级见表 3-11。

3.3 配合的选用

最常用的选用方法为类比法。

(1) 配合类别的选择

选择时, 应根据具体的使用要求和工作条件, 确定是间隙配合或过渡配合或过盈配合。确定配合类别后, 尽可能先选用优先配合, 后常用配合, 再一般配合 (由国家标准推荐的一般用途的孔、轴公差带按需要组成的配合)。

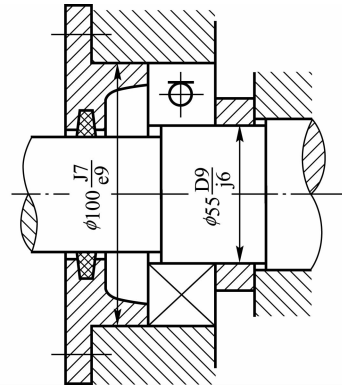


图 3-22 轴承端盖与壳孔、轴套与轴径的配合

表 3-10 公差等级的应用

应用场合		公差等级 (IT)																				
		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
量块			—																			
量规	高精度量规				—	—	—															
	低精度量规								—	—												
配合尺寸	个别特别重要的精密配合		—																			
	特别重要的精密配合	孔					—	—														
		轴				—	—															
	精密配合	孔								—	—											
		轴								—	—											
	中等精度配合	孔											—	—								
轴												—	—									
低精度配合														—	—							
非配合尺寸, 一般公差尺寸																—	—	—	—	—	—	
原材料公差													—	—	—	—	—	—	—	—	—	

注 “—” 表示应用的公差等级。

表 3-11 各种加工方法能达到的公差等级

加工方法	公差等级 (IT)																				
	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							—	—	—	—											
铰孔								—	—	—	—	—									
车									—	—	—	—	—								
镗									—	—	—	—	—								
铣										—	—	—	—								
刨、插												—	—								
钻												—	—	—	—						
滚压、挤压												—	—								
冲压												—	—	—	—	—					
压铸													—	—	—	—					
粉末冶金成形								—	—	—											
粉末冶金烧结									—	—	—	—									
砂型铸造、气割																			—	—	—
锻造																		—	—		

例如，孔、轴有相对运动（转动或移动）要求，必须选择间隙配合；若孔、轴间无相对运动，应根据具体工作条件的不同确定过盈、过渡甚至间隙配合。表 3-12、表 3-13 给出了配合类别选择的大体方向。

表 3-12 配合类别的选择

无相对运动	需要传递转矩	可拆结合	永久结合	较大过盈的过盈配合
			要精确同轴	轻型过盈配合、过渡配合或基本偏差为 H (h) 的间隙配合加紧固件
		不要精确同轴	间隙配合加紧固件	
	不需要传递转矩，要精确同轴		过渡配合或轻的过盈配合	
有相对运动	只有移动		基本偏差为 H (h)、G (g) 等间隙配合	
	转动或转动和移动的复合运动		基本偏差 A ~ F (a ~ f) 等间隙配合	

表 3-13 尺寸至 500 mm 基孔制常用和优先配合的特征及其应用

配合类别	配合特征	配合代号	应用
间隙配合	特大间隙	$\frac{H11}{a11} \frac{H11}{b11} \frac{H12}{b12}$	用于高温或工作时要求大间隙的配合
	很大间隙	$\frac{H11}{c11} \frac{H11}{d11}$	用于工作条件较差、受力变形或为了便于装配而需要大间隙的配合和高温工作的配合
	较大间隙	$\frac{H6}{e5} \left(\frac{H7}{e6} \right) \left(\frac{H8}{e7} \right) \frac{H8}{e8} \left(\frac{H9}{e9} \right)$ $\frac{H10}{e10} \left(\frac{H11}{e11} \right) \frac{H12}{e12}$	用于高速重型的滑动轴承或大直径的滑动轴承，也可以用于大跨距或多支点支承的配合
	一般间隙	$\frac{H6}{f5} \frac{H7}{f6} \left(\frac{H8}{f7} \right) \frac{H8}{f8} \frac{H9}{f9}$	用于一般转速的动配合。当温度影响不大时，广泛应用于普通润滑油润滑的支承处
	较小间隙	$\frac{H7}{g6} \frac{H8}{g7}$	用于精密滑动零件或缓慢间隙回转的零件的配合部位
	很小间隙与零间隙	$\frac{H6}{g5} \frac{H6}{h5} \left(\frac{H7}{h6} \right) \left(\frac{H8}{h7} \right) \frac{H8}{h8}$ $\left(\frac{H9}{h9} \right) \frac{H10}{h10} \left(\frac{H11}{h11} \right) \frac{H12}{h12}$	用于不同精度要求的一般定位件的配合和缓慢移动和摆动零件的配合

续表

配合类别	配合特征	配合代号	应用
过渡配合	绝大部分有微小间隙	$\frac{H6}{js5} \frac{H7}{js6} \frac{H8}{js7}$	用于易于装拆的定位配合或加紧固件后可传递一定静载荷的配合
	大部分有微小间隙	$\frac{H6}{k5} \frac{H7}{k6} \frac{H8}{k7}$	用于稍有振动的定位配合，加紧固件可传递一定荷载，装拆方便可用木槌敲入
	绝大部分有较小过盈	$\frac{H6}{m5} \frac{H7}{m6} \frac{H8}{m7}$	用于定位精度较高而且能够抗振的定位配合，加键可传递较大荷载，可用铜锤敲入或小压力压入
	大部分有微小过盈	$\left(\frac{H7}{n6}\right) \frac{H8}{n7}$	用于精确定位或紧密组合件的配合，加键能传递大力矩或冲击性荷载，只在大修时拆卸
过盈配合	绝大部分有较小过盈	$\frac{H8}{p7}$	加键后能传递很大力矩，且能承受振动或冲击的配合，装配后不再拆卸
	轻型	$\frac{H6}{n5} \frac{H6}{p5} \left(\frac{H7}{p6}\right) \frac{H6}{r5} \frac{H7}{r6} \frac{H8}{r7}$	用于精确的定位配合，一般不能靠过盈传递力矩，要传递力矩尚需要加紧固件
	中型	$\frac{H6}{a5} \left(\frac{H7}{a6}\right) \frac{H8}{a7} \frac{H6}{t5} \frac{H7}{t6} \frac{H8}{t7}$	不需要加紧固件就能传递较小力矩和轴向力，加紧固件后能承受较大荷载和动荷载
	重型	$\left(\frac{H6}{u5}\right) \frac{H8}{u7} \frac{H7}{v6}$	不需要加紧固件就可传递和承受大的力矩和动荷载的配合，要求零件材料有高温强度
	特重型	$\left(\frac{H7}{x5}\right) \frac{H7}{y7} \frac{H7}{z6}$	能传递和承受很大力矩和动荷载的配合，需要经过试验后方可应用

注：1. 括号内的配合为优先配合。

2. 国家标准规定的 44 种基轴制配合的应用与本表中的同名配合相同。

(2) 非基准件基本偏差代号的选择

基准制、公差等级和配合类别确定后，则配合选择的关键是确定非基准件基本偏差代号。若采用基孔制，就要确定轴的基本偏差代号；若采用基轴制，就要确定孔的基本偏差代号。

选择方法：最常用的是类比法，即参照同类型机器或机构中，经过实践验证的配合的实际情况，通过分析对比来确定配合的方法。用类比法选择配合时，不应简单地搬用，首先要掌握各种配合的特征和应用场合，应尽量采用国家标准规定的优先和常用配合，此外，还要考虑一些实际因素。

各类基本偏差在形成基孔制（或基轴制）配合时的应用场合大致总结如下，见表 3-14、表 3-15、表 3-16。

表 3-14 间隙配合按相对运动速度选择

相对运动情况	无定心要求的慢速转动	高速转动	中速转动	精密低速转动或移动或手动移动
选择基本偏差	c (C)	d (D) 或 e (E)	f (F)	g (G) h (H)

表 3-15 各种过盈配合基本偏差的比较与选择

过盈程度 选择根据	较小或小的过盈	中等与大的过盈	很大的过盈
传递扭矩 的大小	加紧固件传递一定的扭矩与轴向力, 属轻型过盈配合。不加紧固件可用于准确定心仅传递小扭矩, 需轴向定位(过盈配合时)	不加紧固件可传递较小的扭矩与轴向力, 属中型过盈配合	不加紧固件可传递大的扭矩与轴向力、特大扭矩和动载荷, 属重型、特重型过盈配合
装卸情况	用于需要拆卸时, 装入时使用压力机	用于很少拆卸时	用于不拆卸时, 一般不推荐使用。对于特重型过盈配合(后三种)需经试验才能应用
应选择的基本偏差	p (P)、r (R)	s (S)、t (T)	u (U)、v (V)、x (X)、y (Y)、z (Z)

表 3-16 各种过渡配合基本偏差的比较与选择

盈、隙情况	过盈率很小, 稍有平均间隙	过盈率中等, 平均过盈接近为零	过盈率较大, 平均过盈较小	过盈率大, 平均过盈稍大
定心要求	要求较好定心时	要求定心精度较高时	要求精密定心时	要求更精密定心时
装配与拆卸情况	木槌装配拆卸方便	木槌装配拆卸比较方便	最大过盈时需相当的压入力, 可以拆卸	用锤或压力机装配拆卸较困难
应选择的基本偏差	js (JS)	k (K)	m (M)	n (N)

(3) 已知配合的极限过盈、间隙时, 基本偏差的确定方法(表 3-17)。

表 3-17 计算一查表法确定基本偏差代号的计算公式

间隙配合	可按 X_{\min} 来选择基本偏差代号	对基孔制间隙配合有 $es \leq -X_{\min}$ 对基轴制间隙配合有 $Ei \geq +X_{\min}$
过渡配合	可按 X_{\max} 来选择基本偏差代号	对基孔制过渡配合有 $T_D - ei \leq X_{\max}$ 对基轴制过渡配合有 $ES - (-T_d) \leq X_{\max}$
过盈配合	可按 Y_{\min} 来选择基本偏差代号	对基孔制过盈配合有 $T_D - ei \leq Y_{\min}$ 对基轴制过盈配合有 $ES - (-T_d) \leq Y_{\min}$

能力训练指导

能力训练 1: 减速器输出轴 (见图 3-1) 的尺寸分析。

分析指导: 识读零件图时, 从尺寸公差角度分析, 初学者至少应获得以下两个方面的信息: ① 哪些是已注公差尺寸? 哪些是一般公差尺寸? ② 从已注公差尺寸中, 结合几何公差、表面粗糙度, 可判断出零件上哪处是重要部位? 从而加工时注意。

本输出轴长度方向的尺寸均为一般公差尺寸 (也称自由尺寸); 本输出轴为阶梯轴, 其直径 $\phi 52 \text{ mm}$ 、 $\phi 62 \text{ mm}$ 为一般公差尺寸, 其直径 $\phi 45\text{m}6$ 、 $\phi 55\text{j}6$ (两处)、 $\phi 56\text{r}6$ 为已注公差尺寸, 结合几何公差、表面粗糙度, 可知此四处均为输出轴的重要部位, $\phi 45\text{m}6$ 为与带轮相配合的轴径, $\phi 55\text{j}6$ (两处) 为与轴承相配合的轴径, $\phi 56\text{r}6$ 为与齿轮相配合的轴径, 机加工时应特别注意。

能力训练 2: 铝制活塞和钢制缸体的配合, 公称尺寸 (D) 为 $\phi 150 \text{ mm}$, 要求工作间隙为 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$; 缸体工作温度 $t_D = 110 \text{ }^\circ\text{C}$, 线膨胀系数 $\alpha_D = 12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$; 活塞工作温度 $t_d = 180 \text{ }^\circ\text{C}$, 线膨胀系数 $\alpha_d = 24 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。试确定常温下装配时的间隙变动范围, 并选择适当的配合。

分析指导:

(1) 由热变形而引起的间隙变动量 ΔX

$$\Delta X = X_{\text{工作}} - X_{\text{装配}} = D (\alpha_D \Delta t_D - \alpha_d \Delta t_d)$$

式中: $\Delta t_D = t_D - 20 \text{ }^\circ\text{C} = 110 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta t_d = t_d - 20 \text{ }^\circ\text{C} = 180 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{则: } \Delta X = 150 (12 \times 10^{-6} \times 90 - 24 \times 10^{-6} \times 160) \text{ mm} = -0.414 \text{ mm}$$

负号说明工作时间间隙减小, 则有:

$$X_{\text{装配}} = X_{\text{工作}} + 0.414 \text{ mm} = (0.1 \sim 0.3) \text{ mm} + 0.414 \text{ mm}$$

即: $X_{\text{装配max}} = 0.714 \text{ mm}$, $X_{\text{装配min}} = 0.514 \text{ mm}$ 。由此可知, 装配间隙应增大, 并以此确定配合。

(2) 确定基准制

因为缸体与活塞配合无特殊要求, 所以选用基孔制配合, 基孔制配合 $EI = 0$ 。

(3) 确定孔、轴公差等级

由 $T_f = T_D + T_d = |X_{\text{装配max}} - X_{\text{装配min}}| = |0.714 - 0.514| \text{ mm} = 0.2 \text{ mm} = 200 \text{ } \mu\text{m}$, 又据工艺等价性, 查表 2-2 得: $\phi 150 \text{ mm}$ 的 $IT9 = 100 \text{ } \mu\text{m}$, 故取孔、轴的公差等级均为 $IT9$ 。

(4) 确定孔、轴基本偏差代号及公差带

因为是基孔制配合, 所以孔的基本偏差代号为 H , 公差带代号为 $\phi 150\text{H}9$ ($^{+0.100}_0$)。且有 $X_{\text{装配min}} = EI - es = +514 \text{ } \mu\text{m}$ 。

查表 3-5 得: 轴的基本偏差为 a , 其上极限偏差 $es = -520 \text{ } \mu\text{m}$, 最接近题意, 所以轴径为 $\phi 150\text{a}9$ ($^{+0.520}_{+0.620}$)。

(5) 缸体与活塞的配合代号为 $\phi 150\text{H}9/\text{a}9$ 。

(6) 验算

$$X'_{\text{装配max}} = ES - ei = +100 \text{ } \mu\text{m} - (-620) \text{ } \mu\text{m} = +720 \text{ } \mu\text{m} > X_{\text{装配max}}, \text{ 不满足原设计要求;}$$

$X'_{\text{装配min}} = EI - es = +520 \mu\text{m} > X_{\text{装配min}} = +514 \mu\text{m}$ ，满足原设计要求，但将影响经济性。

(7) 结果分析

$X'_{\text{装配min}} > X_{\text{装配min}}$ 满足使用要求，但将影响经济性； $X'_{\text{装配max}} > X_{\text{装配max}}$ ，无“磨损储备”，不满足原设计要求。

但在大批生产条件下，一般规定 $|\Delta|/T_f < 10\%$ 仍可满足使用要求（ Δ 为实际极限盈隙与给定极限盈隙的差值），则

$$|\Delta_1|/T_f = (520 - 514) / 200 = 3\% < 10\%$$

$$|\Delta_2|/T_f = (720 - 714) / 200 = 3\% < 10\%$$

所以，缸体与活塞配合 $\phi 150\text{H}9/\text{a}9$ 是合适的，能满足使用要求。

能力训练 3：图 3-23 所示为钻模的一部分。钻模板 4 上装有固定衬套 2，快换钻套 1 与固定衬套配合，在工作中要求快换钻套 1 能迅速更换。在压紧螺钉 3 松开（不必取下）的情况下，当快换钻套 1 以其铣成的缺边 A 对正压紧螺钉 3 时，可以直接进行装卸；当快换钻套 1 的台阶面 B 旋至螺钉 3 的下端面时，拧紧螺钉 3，快换钻套 1 就被固定，防止了它的轴向窜动和周向转动。若用如图 3-23 所示钻模来加工工件上的 $\phi 12 \text{ mm}$ 孔，试选择固定衬套 2 与钻模板 4、快换钻套 1 与固定衬套 2 以及快换钻套 1 的内孔与钻头之间的配合（公称尺寸见图）。

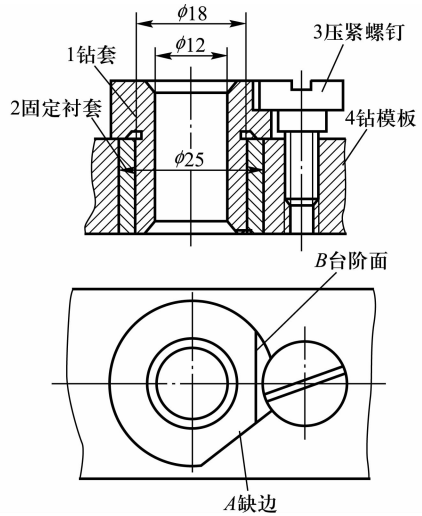


图 3-23 钻模

分析指导：

1) 基准制的选择 对固定衬套 2 与钻模板 4 的配合以及快换钻套 1 与固定衬套 2 的配合，因结构无特殊要求，应优先选用基孔制。对钻头与钻套 1 内孔的配合，因钻头属标准刀具，应采用基轴制配合。

2) 公差等级的选择 参看表 3-10，钻模夹具各元件的连接，可按用于配合尺寸的 IT5 ~ IT12 级选用。重要的配合尺寸，对轴可选 IT6，对孔可选 IT7。本例中钻模板 4 的孔、固定衬套 2 的孔、钻套的孔统一按 IT7 选用。而固定衬套 2 的外圆、钻套 1 的外圆则按 IT6 选用。

3) 配合种类的选择 固定衬套 2 与钻模板 4 的配合，要求连接牢靠，在轻微冲击和负荷下不能发生松动，即使固定衬套内孔磨损了，需更换拆卸的次数也不多。因此参看表 3-16 可选平均过盈率大的过渡配合 n，本例配合选 H7/n6。

钻套 1 与固定衬套 2 的配合，要求经常用手更换，故需一定间隙保证更换迅速。但因又要求有准确的定心，间隙不能过大，为此参看表 3-14 可选精密滑动的配合 g。本例选 H7/g6。

至于钻套 1 内孔，因要引导旋转着的刀具进给，既要保证一定的导向精度，又要防止间隙过小而被卡住。根据钻孔切削速度多为中速，参看表 3-14 应选中等转速的基本偏差 F，本例选 F7。

必须指出：钻套 1 与固定衬套 2 内孔的配合，根据上面分析本应选 H7/g6，考虑到为了统

一钻套内孔与衬套内孔的公差带，规定了统一的公差带 F7，因此钻套 1 与固定衬套 2 内孔的配合，应选相当于 H7/g6 的配合 F7/k6。因此，本例中钻套 1 与固定衬套 2 内孔的配合应为 F7/k6（非基准制配合）。图 3-24 为 H7/g6 与 F7/k6 这两种配合的公差带图解。

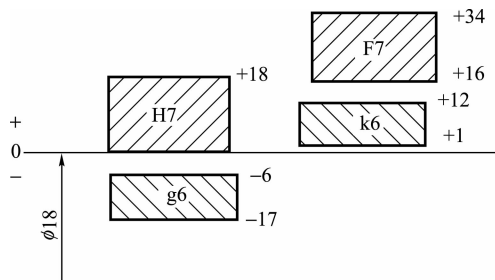


图 3-24 H7/g6 与 F7/k6 两种公差带的比较

能力训练任务

能力训练任务 1：已知公差带 $\phi 20H7 \left(\begin{smallmatrix} +0.021 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ ， $\phi 20s6 \left(\begin{smallmatrix} +0.048 \\ +0.035 \end{smallmatrix} \right)$ ，求 $\phi 20S7$ 的极限偏差（不查表）。

能力训练任务 2：查表确定下列各尺寸的公差带代号：

- (1) $\phi 50 \begin{smallmatrix} -0.050 \\ -0.075 \end{smallmatrix}$ （轴）；(2) $\phi 65 \begin{smallmatrix} +0.005 \\ -0.041 \end{smallmatrix}$ （孔）。

任务 4 熟练掌握尺寸的检测

理论知识点讲授

4.1 尺寸检测

尺寸检测是兼有测量、检验两种特性的一个综合鉴别过程，即使用普通测量器具测量工件尺寸，并按验收极限判断工件尺寸是否合格。企业车间经常使用的普通测量器具有游标卡尺、千分尺、指示表、比较仪等。

4.2 测量类型

在机械制造中，尺寸测量可分为一般测量（单位：mm）、精密测量（单位： μm ）、超精密测量（单位：nm）三种。因此，选择、采用恰当的测量方法和测量器具是至关重要的，同时尺寸检测必须遵循其验收原则：允许有误差而不允许误收。

能力训练指导

能力训练 1：用内径百分表检测孔径。

分析指导：

(1) 实训目的

- 1) 了解内径百分表的结构；
- 2) 掌握用内径百分表进行比较测量的原理；
- 3) 掌握用内径百分表进行比较测量的步骤。

(2) 内径百分表概述

1) 内径百分表用途

内径百分表简称内径量表，主要以相对测量法测量内孔尺寸及其几何形状误差。由于量具结构简单和测量方法简便，所以生产中被广泛用于测量孔径，特别是在大批量生产中测量更感方便。

2) 内径百分表的结构形式

内径百分表按其测头形式可分为：带定位护桥的内径百分表和不带定位护桥的内径百分表。不带定位护桥的有胀簧式和钢球式。内径百分表由百分表和表架组成，如图 3-25 所示。百分表作读数装置。表架是一个管状结构，内部装有杠杆或楔形传动机构。

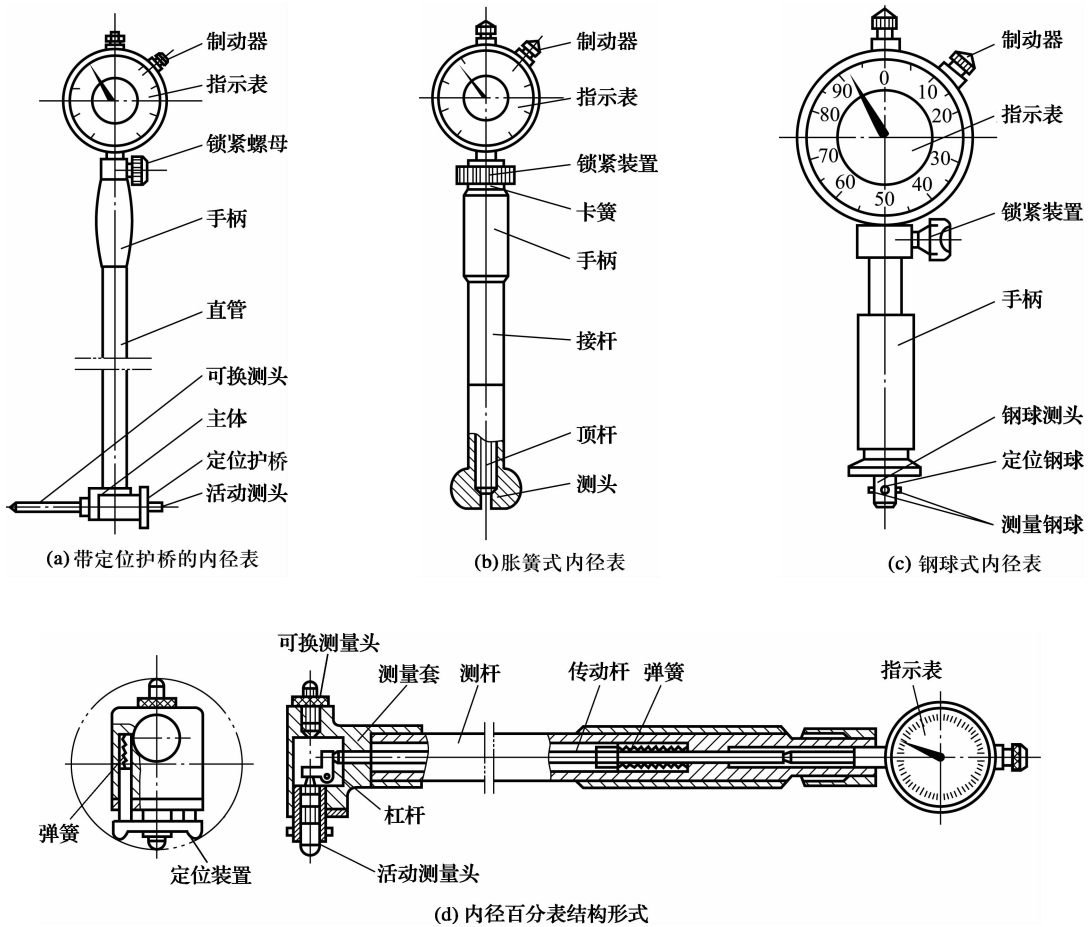


图 3-25 内径百分表结构形式

内径百分表的主体是三根管，在一端装着活动测头，另一端安装着可换测头，垂直管口的一端通过直管安装着百分表。为了提高测量精度，在内径百分表上还安装一个定位护桥，其作用是帮助找正孔的直径位置。

3) 内径百分表的测量范围

内径百分表的分度值为 0.01 mm。其测量范围有 10 ~ 18 mm、18 ~ 35 mm、35 ~ 50 mm、50 ~ 100 mm、100 ~ 160 mm、160 ~ 250 mm、250 ~ 450 mm 等七种。各种规格的内径表均备有整套可换测头。测头上标有测量范围，可按所测尺寸的大小自行选换。

(3) 测量步骤

1) 预调整。根据被测孔径的公称尺寸选择可换测头，旋入内径百分表的测量套中；再将百分表安装到表架上，使其有 1 mm 的预压缩量。

2) 对零位。校对零位常用的有三种方法：① 用量块和量块附件校对零位；② 用标准环规校对零位；③ 用外径千分尺校对零位。

用量块和量块附件校对零位。按被测孔径的公称尺寸组合量块，放入量块夹中夹紧；再将百分表的两测量头放在量块夹两量脚之间，摆动传动杆，反复几次，当百分表指针在最小值处时，旋转百分表盘，使零刻度线与指针对齐；最后锁紧可换测头的锁紧螺母，如图 3-26a、图 3-26b 所示。

3) 测量孔径。手握绝缘套，倾斜一定角度将测量头放入被测孔中，摆动量表观察指针折点的位置，如图 3-26b 所示，记录相对零点的差值；在孔的轴线方向取 3 个截面，共测 6 个点并记录，如图 3-27 所示。

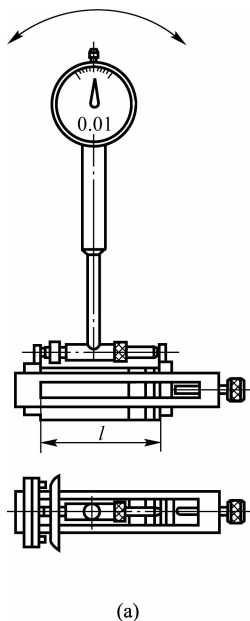


图 3-26

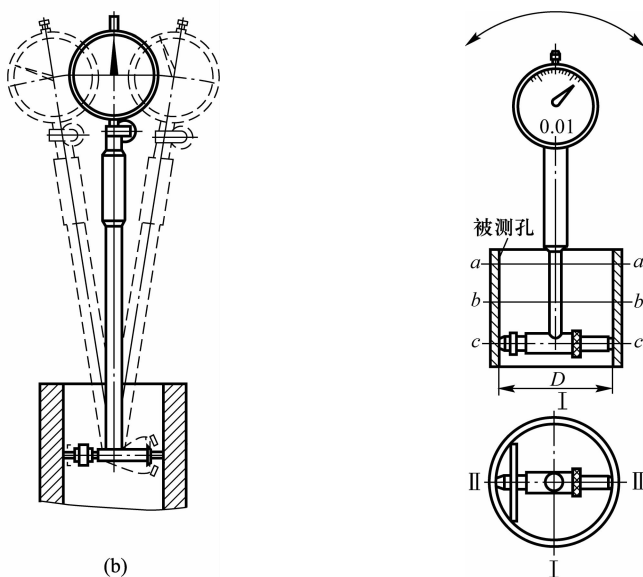


图 3-27

4) 判断孔径的合格性。根据零件图上标注的被测孔极限尺寸或极限偏差, 判断其合格性。

能力训练 2: 用万能测长仪检测轴径 (精密测量)。

分析指导: 测长仪是根据阿贝原理制造的, 是一种集精密机械、光学系统和电气部分于一体的长度测量仪器。依据测量主轴的位置不同可分为: ① 立式测长仪 (测量主轴铅直放置); ② 卧式测长仪 (测量主轴水平放置), 因其测量范围较广, 故又称万能测长仪。

(1) 结构简介

万能测长仪主要由底座、工作台、测座及各种测量附件组成, 如图 3-28 所示。

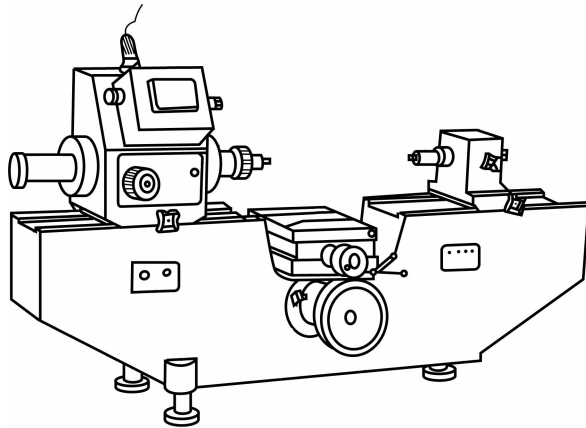


图 3-28 万能测长仪

为使放在工作台上的工件获得正确的测量位置, 工作台可做以下五种运动: 升降、横向移动, 纵向自由运动, 绕垂直轴和水平轴转动。

(2) 用途

- 1) 可进行直接测量和间接测量;
- 2) 可进行外尺寸、内尺寸、内外螺纹中径的测量。

(3) 实训目的

- 1) 了解万能测长仪的结构、用途;
- 2) 掌握万能测长仪检测轴径、孔径的方法。

(4) 万能测长仪检测轴径的实训步骤:

- 1) 测帽的选择。检测圆柱形物体, 可选刃形或平面形测帽。

JD18 投影万能测长仪是用接触法测量的, 因此测帽的选择和调整可以避免较大的测量误差。一对测帽分别装在尾管和测头上。测帽选择的原则是: 被测件与测帽的接触面积为最小, 接近点或线。测量平面物体时, 使用 $R20$ 的球形测帽; 测量圆柱形物体时, 使用 1.5×8 的刃形测帽; 测量球形物体时, 使用 $\phi 2$ 、 $\phi 8$ 的平面测帽; 三针法测量螺纹中径时, 使用 $\phi 14$ 的平面测帽。

- 2) 安装被测轴。将被测轴放置在工作台上, 并用压板固定。

3) 影屏刻线调整、记录初始数据。眼瞄影屏,先转动测微旋钮,使影屏上半部的整数刻线对齐三角尖端(最好为零刻线对齐三角尖端);后使测量主轴与尾管接触,一起移动它们,使影屏下半部的毫米刻线处在某一双纹刻线中间(最好是毫米刻线处在0双纹刻线中间),记录初始数据,数据 I = 5.010 mm,如图 3-29 所示。

4) 使被测轴在工作台中处于正确位置。升起被测轴,使它处在测量主轴与尾管之间。上下微动工作台,眼观影屏,直至找到“最大值”;将工作台绕垂直轴微微转动,眼观影屏,直至找到“最小值”。此时被测轴才处于正确的位置。

5) 正确读数,记录数据。被测轴处于正确的位置后,转动测微旋钮,使影屏下半部显示出的某一条毫米刻线的影像处在某一双纹刻线中间,然后进行读数,记录数据,数据 II = 75.321 mm。图 3-30b 所示影屏视场读数为 (75 + 0.3 + 0.021) mm = 75.321 mm。

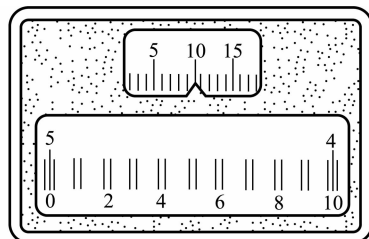


图 3-29 屏动测微器

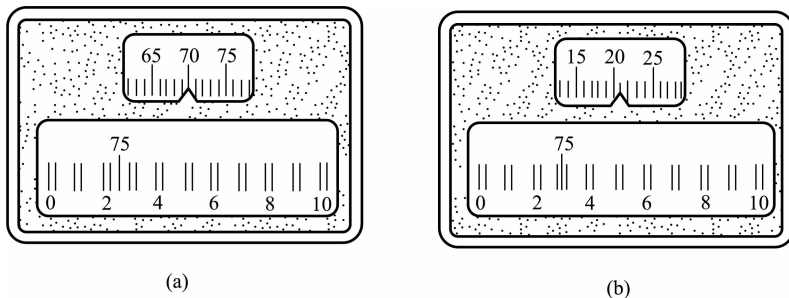


图 3-30 屏动测微器读数方法

6) 计算。轴的测得值 = 数据 II - 数据 I。

(5) 万能测长仪检测孔径的实训步骤:

万能测长仪测量大于 $\phi 10$ mm 的内尺寸时,只能采用相对(比较)测量法。测量原理如图 3-31 所示。

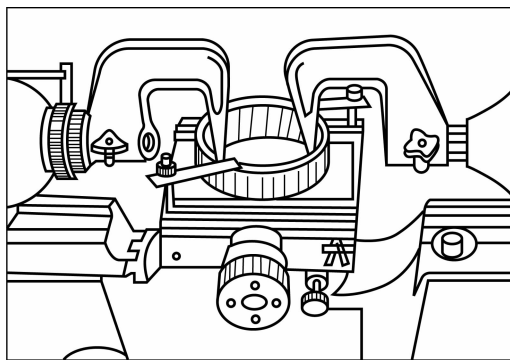
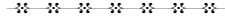


图 3-31



先测量并读取标准环规孔径实际尺寸的示值 a_1 ，后换上工件，测量并读取被测孔实际尺寸的示值 a_2 ，最后根据已知的标准环规孔径的实际尺寸 D ，即可计算出被测孔的实际尺寸 D_a 。

当被测孔径大于标准环规内孔直径 D 时（见图 3-32a）， $D_a = D + (a_2 - a_1)$

当被测孔径小于标准环规内孔直径 D 时（见图 3-32b）， $D_a = D + (a_1 - a_2)$

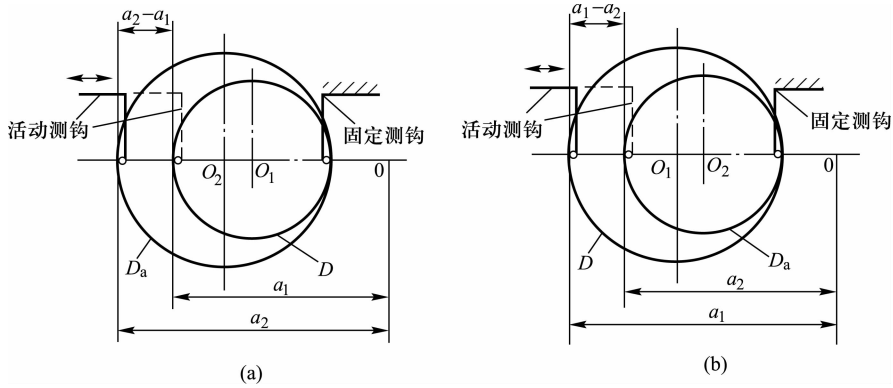


图 3-32

实训步骤：

① 选择一对合适的内测钩，分别装在测量主轴和尾管上，使两测钩的楔、槽对齐后，锁紧固定螺钉。

② 将标准环规放在工作台上，用压板压紧（注意：应使标准环规上的刻线与测量轴线一致）。

③ 根据标准环规孔径的大小，调整测座与尾座的相对位置，使工作台上升，直至两测钩进入到标准环规的孔中并与孔壁轻轻接触。

④ 转动测微手轮，使工作台做横向运动，眼观影屏，直至找到“最大值”；松开固定手柄，使工作台绕水平轴转动，直至找到“最小值”，如图 3-33 所示。

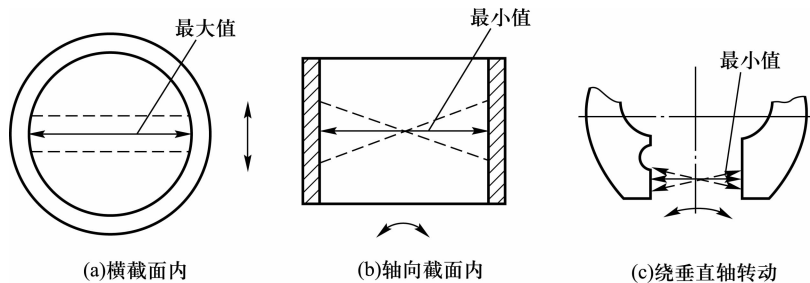


图 3-33 找转折点

⑤ 转动测微旋钮，眼瞄影屏，读取标准环规孔径实际尺寸的示值 a_1 。

⑥ 推动测量主轴向右运动，取下标准环规，装上被测工件。

⑦ 按步骤 3、4 使被测工件处于正确位置，读取被测孔实际尺寸的示值 a_2 。

⑧ 计算被测孔的实际尺寸 D_a 。

⑨ 可在被测孔的两个不同截面和互成 90° 的两个方位上测量四次，求出其平均值。

能力训练任务

能力训练任务：减速器输出轴（见图 3-1）的尺寸检测分析：从生产类型角度考虑，单件、小批生产，常用什么样的测量器具检测？大批、大量生产，又常用什么样的测量器具检测？怎样检测？

三、巩固训练

3.1 判断题

- 1) 为了实现互换性，零件的公差应规定得越小越好。()
- 2) 公差通常为正，在个别情况下也可以为负或零。()
- 3) 孔和轴的加工精度越高，则其配合精度也越高。()
- 4) 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。()
- 5) 图样上未注公差的尺寸为自由尺寸，其公差不作任何要求。()
- 6) 一光滑轴与多孔配合，其配合性质不同时，应当选用基孔制配合。()
- 7) 若已知 $\phi 30f7$ 的基本偏差为 -0.02 mm ，则 $\phi 30F8$ 的基本偏差一定是 $+0.02 \text{ mm}$ 。()

3.2 查表、画图题

已知下列三对孔、轴相结合，分别查表与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 $\phi 20^{-0.065}_{-0.086}$ ；
- 2) $\phi 20 \frac{K7}{h6}$ ；
- 3) $\phi 25 \frac{H8}{f7}$

3.3 简答题

孔、轴配合中，为什么要规定基准制？广泛采用基准制配合的原因何在？在什么情况下采用基轴制配合？

3.4 计算题

(1) 在某配合中，已知孔的尺寸标注为 $\phi 20^{+0.013}_0$ ， $X_{\max} = +0.011$ ， $T_f = 0.022$ ，求出轴的上、下极限偏差及其公差带代号。

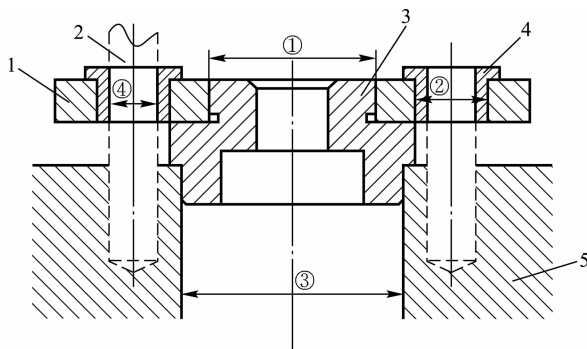


图 3-34 钻模

(2) 如图 3-34 所示，1 为钻模板，2 为钻头，3 为定位套，4 为钻套，5 为工件。已知：1) 配合面①和②都有定心要求，需用过盈量不大的固定连接；2) 配合面③有定心要求，在安装和取出定位套时需要轴向移动；3) 配合面④有导向要求，且钻头能在转动状态下进入钻套。试着选择上述配合面的配合种类，并简述其理由。