

第2章



尺寸公差与配合及其检测



学习目标

- (1) 掌握极限与配合的有关术语和标准规定。
- (2) 掌握极限偏差计算、极限盈隙、配合公差计算。
- (3) 初步掌握选择基准制、公差等级、配合类型。
- (4) 掌握轴和孔类零件常用的检测方法。



能力目标

- (1) 能够正确识读及标注尺寸公差。
- (2) 能够运用极限与配合国家标准并正确选用尺寸公差。
- (3) 能够使用常用量具对典型零件进行检测并判断其是否合格。

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。本章的主要内容包括：①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；②掌握选用尺寸公差等级及其数值的原则和方法；③学会尺寸公差在图样上的表达方法。

2.1 极限与配合的基本术语及定义

2.1.1 孔和轴的尺寸

1. 孔和轴

(1) 孔。通常是指工件的圆柱形内表面[见图 2-1(a)]，孔径用大写字母 D 表示。孔也包括非圆柱形内表面(由两平行平面或切面形成的包容面，如图 2-1(c) 所示的 L_1)。

(2) 轴。通常是指工件的圆柱形外表面[见图 2-1(b)]，轴径用小写字母 d 表示，轴也包括非圆柱形外表面(由两平行平面或切面形成的被包容面，如图 2-1(c) 所示的 l_1)。

从装配关系讲，孔为包容面，在它之内无材料；轴为被包容面，在它之外无材料。

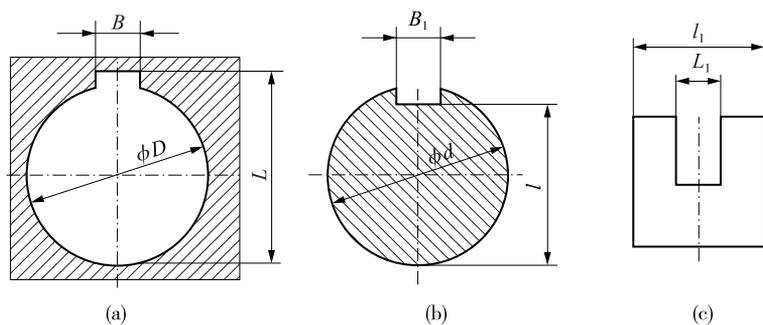


图 2-1 孔和轴

2. 尺寸

(1) 尺寸。用特定单位表示线性尺寸值的数值称为尺寸。在机械制图样中，尺寸通常以 mm(毫米)作为单位，在标注时常将单位省略，仅标注数值。当以其他单位表示时，则应注明相应的单位名称或符号。

(2) 公称尺寸(孔 D 、轴 d)。是由图样规范确定的理想形状要素的尺寸，即设计时给定的尺寸，是设计时根据使用要求，经过强度、刚度计算和结构设计而确定的，且按优先数系列选取的尺寸。公称尺寸应是标准尺寸，即为理论值，通常按标准选取，以减少定值刀具、量具、夹具等的规格。

(3) 提取组成要素的局部尺寸(孔 D_a 、轴 d_a)。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。而一切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。但由于存在测量误差，所以局部尺寸并非尺寸的真值。同时由于工件存在形状误差，所以同一个表面不同部位的局部尺寸也不相等。局部尺寸包括毛坯尺寸、工序间尺寸和零件完工后的尺寸，通常指零件完工后的尺寸。

(4) 极限尺寸。尺寸要素允许的尺寸的两个极端。极限尺寸是以公称尺寸为基数来确定的。上极限尺寸(孔 D_{\max} 、轴 d_{\max})是允许提取组成要素的局部尺寸变动的最大值；下极限尺寸(孔 D_{\min} 、轴 d_{\min})是允许提取组成要素的局部尺寸变动的最小值。

(5) 最大实体状态(MMC)和最大实体尺寸(MMS)。当提取要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其具有实体最大的状态称为最大实体状态。确定要素最大实体状态的尺寸为最大实体尺寸。孔和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和轴的上极限尺寸。

(6) 最小实体状态(LMC)和最小实体尺寸(LMS)。当提取要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其具有实体最小的状态称为最小实体状态。确定要素最小实体状态的尺寸为最小实体尺寸。孔和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和轴的下极限尺寸。

2.1.2 偏差、公差和公差带图

1. 偏差

某一尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为偏差。



(1) 极限偏差。极限尺寸减去公称尺寸得到的代数差。

上极限偏差：上极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差，符号有 ES、es。

下极限偏差：下极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差，符号有 EI、ei。

孔的上极限偏差： $ES = D_{\max} - D$ ；孔的下极限偏差： $EI = D_{\min} - D$

轴的上极限偏差： $es = d_{\max} - d$ ；轴的下极限偏差： $ei = d_{\min} - d$

【例 2-1】 已知轴的公称尺寸为 $\phi 80\text{mm}$ ，轴的上极限尺寸为 $\phi 79.970\text{mm}$ ，下极限尺寸为 $\phi 79.951\text{mm}$ 。求轴的极限偏差。

解：将已知条件分别代入式 $es = d_{\max} - d$ ， $ei = d_{\min} - d$ ，计算得

$$es = d_{\max} - d = 79.970\text{mm} - 80\text{mm} = -0.030\text{mm}$$

$$ei = d_{\min} - d = 79.951\text{mm} - 80\text{mm} = -0.049\text{mm}$$

(2) 实际偏差 (E_a, e_a)。实际要素减去其公称尺寸所得的代数差。偏差可以为正、负或零值。

零件尺寸合格的条件：加工零件的实际尺寸在极限尺寸范围内，或者其误差在极限偏差范围内即为合格产品，反之是不合格产品。

$$\text{孔: } D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max}; EI \leq E_a \leq ES$$

$$\text{轴: } d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}; ei \leq e_a \leq es$$

2. 尺寸公差

尺寸公差是允许尺寸的变动量，简称公差。公差数值等于上极限尺寸与下极限尺寸之差，也等于上极限偏差与下极限偏差之差。尺寸公差是一个没有符号的绝对值。公差大小反映零件加工的难易程度和尺寸的精确程度。

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

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

【例 2-2】 已知孔、轴的公称尺寸为 $\phi 60\text{mm}$ ，孔的上极限尺寸为 $\phi 60.030\text{mm}$ ，下极限尺寸为 $\phi 60\text{mm}$ ；轴的上极限尺寸为 $\phi 59.990\text{mm}$ ，下极限尺寸为 $\phi 59.970\text{mm}$ 。求孔、轴的极限偏差和公差。

解：将已知条件代入相应公式，计算得

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

孔的下极限偏差： $EI = D_{\min} - D = 60\text{mm} - 60\text{mm} = 0$

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

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

孔的公差： $T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |60.030 - 60|\text{mm} = 0.030\text{mm}$

轴的公差： $T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |59.990 - 59.970|\text{mm} = 0.020\text{mm}$

公称尺寸、极限偏差和尺寸公差三者的关系，如图 2-2 所示。

用图解的形式表示零件的尺寸相对其公称尺寸所允许变动的范围称为公差带图，如图 2-3 所示。

(1) 零线。它是在极限与配合图解中，表示公称尺寸的一条直线，以其为基准确定偏差和公差。通常零线沿水平方向绘制，标注为“0”，偏差由此零线算起，零线以上为正偏差，零线以下为负偏差，分别标注“+”“-”号，若为零，可不标注。

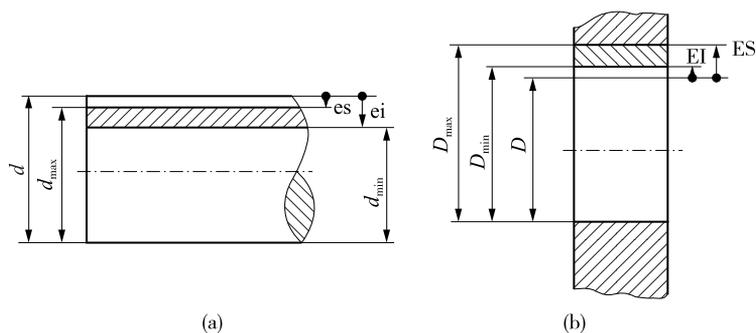


图 2-2 术语图解

(2)公差带。公差带图解中，用与零线平行的直线表示上、下极限偏差(图中尺寸以 μm 为单位时标出单位，以 mm 为单位时则省略不写单位)或上、下极限尺寸的两条直线所限定的区域称为公差带。公差带在与零线垂直方向上的宽度代表公差值，沿零线方向的长度可适当选取。通常孔公差带用由右上角向左下角的斜线表示，轴公差带用由左上角向右下角的斜线表示。

(3)标准公差。它是极限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。

(4)基本偏差。它是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，数值均已标准化，一般为靠近零线的那个极限偏差。当公差带在零线以上时，下极限偏差为基本偏差；公差带在零线以下时，上极限偏差为基本偏差，如图 2-4 所示。

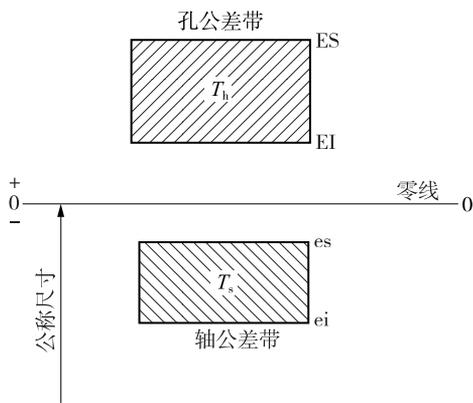


图 2-3 公差带图

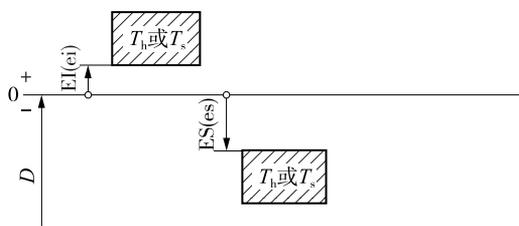


图 2-4 基本偏差

2.1.3 配合

配合是指公称尺寸相同的且相互结合的孔和轴公差带之间的位置关系。

间隙或过盈是指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，此差值为负时称为过盈。



1. 配合类型

配合可分为间隙配合、过盈配合和过渡配合3种,如图2-5所示。

(1) 间隙配合。孔的公差带在轴的公差带之上,具有间隙(包括最小间隙为零)的配合称为间隙配合,如图2-5(a)所示。

由于孔和轴都有公差,所以实际间隙的大小随着孔和轴的提取组成要素的局部尺寸而变化。孔的上极限尺寸减轴的下极限尺寸所得的差值为最大间隙,也等于孔的上极限偏差减轴的下极限偏差。孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸所得的差值为最小间隙,也等于孔的下极限偏差减去轴的上极限偏差。以 X 代表间隙,则

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

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

【例2-3】 公称尺寸为 $\phi 60\text{mm}$ 的孔、轴配合,已知 $D_{\max} = \phi 60.03\text{mm}$, $D_{\min} = \phi 60\text{mm}$, $d_{\max} = \phi 59.99\text{mm}$, $d_{\min} = \phi 59.97\text{mm}$ 。求极限间隙量。

解: 将已知条件代入公式得

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

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 60\text{mm} - 59.99\text{mm} = +0.01\text{mm}$$

(2) 过盈配合。孔的公差带在轴的公差带之下,具有过盈(包括最小过盈为零)的配合称为过盈配合,如图2-5(b)所示。

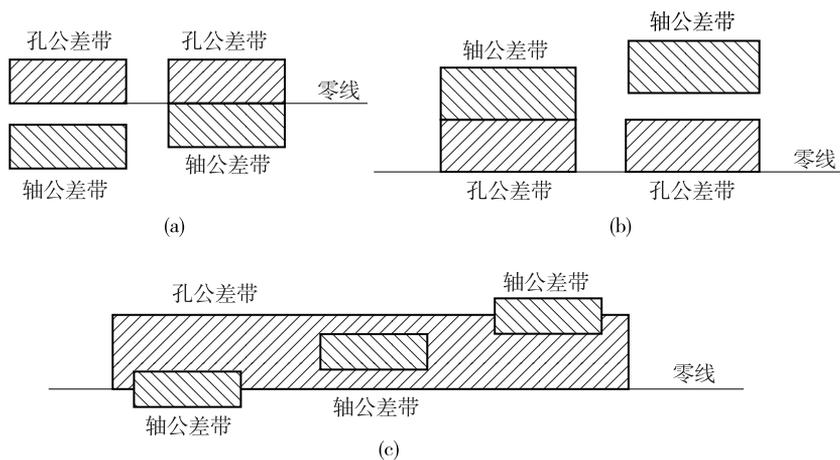


图2-5 配合类型

(a) 间隙配合 (b) 过盈配合 (c) 过渡配合

实际过盈的大小也随着孔和轴的提取组成要素的局部尺寸而变化。孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸所得的差值为最大过盈,也等于孔的下极限偏差减去轴的上极限偏差。孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸所得的差值为最小过盈,也等于孔的上极限偏差减去轴的下极限偏差。以 Y 代表过盈,则

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

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

【例2-4】 公称尺寸为 $\phi 60\text{mm}$ 的孔、轴配合,已知 $D_{\max} = \phi 60.03\text{mm}$, $D_{\min} =$



$\phi 60\text{mm}$, $d_{\max} = \phi 60.06\text{mm}$, $d_{\min} = \phi 60.04\text{mm}$ 。求极限过盈量。

解：将已知条件代入公式得

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

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

(3) 过渡配合。孔的公差带和轴的公差带相互交叠，随着孔、轴实际尺寸的变化可能得到间隙或过盈的配合称为过渡配合，如图 2-5(c) 所示。

孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸所得的差值为最大间隙。孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸所得的差值为最大过盈。

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

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

【例 2-5】公称尺寸为 $\phi 60\text{mm}$ 的孔、轴配合，已知 $D_{\max} = \phi 60.03\text{mm}$, $D_{\min} = \phi 60\text{mm}$, $d_{\max} = \phi 60.01\text{mm}$, $d_{\min} = \phi 59.99\text{mm}$ 。求极限间隙和极限过盈。

解：将已知条件代入公式得

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

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = 60\text{mm} - 60.01\text{mm} = -0.01\text{mm}$$

2. 配合公差

在上述间隙、过盈和过渡三类配合中，允许间隙或过盈在两个界限内变动，这个允许的变动量为配合公差，这是设计人员根据配合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。在精度设计时，可根据配合公差来确定孔和轴的尺寸公差。

配合公差的大小为两个界限值的代数差的绝对值，也等于相配合孔的公差和轴的公差之和。在实际计算时也可用下列公式计算，取绝对值表示配合公差(常省略绝对值符号)。

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

2.2 标准公差及基本偏差的国标规定

公差带有两个基本参数，即公差带的大小与位置。其中，公差带的大小由标准公差确定，位置由基本偏差确定。

GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范(GPS)极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础》中，规定了两个基本系列，即标准公差系列和基本偏差系列。

2.2.1 标准公差系列

标准公差等级是指确定尺寸精确程度的等级。为了满足机械制造中各零件尺寸不同精度的要求，国家标准在公称尺寸至 500mm 范围内规定了 20 个标准公差等级，其代号由符号 IT 和数值组成，即 IT01、IT0、IT1、IT2~IT18。其中，IT01 精度等级最



高,其余依次降低,IT18等级最低。在公称尺寸相同的条件下,标准公差数值随公差等级的降低而依次增大。同一公差等级、同一尺寸分段内各公称尺寸的标准公差数值是相同的。同一公差等级对所有公称尺寸的一组公差也被认为具有同等精度。

表2-1列出了国家标准规定的机械制造行业常用尺寸(尺寸至500mm)的标准公差数值。

表2-1 公称尺寸至500mm的标准公差数值(摘自GB/T 1800.1—2009)

公称尺寸 /mm	公差等级																			
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
	μm												mm							
≤ 3	0.3	0.5	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
$>3\sim 6$	0.4	0.6	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
$>6\sim 10$	0.4	0.6	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
$>10\sim 18$	0.5	0.8	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
$>18\sim 30$	0.6	1	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
$>30\sim 50$	0.6	1	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
$>50\sim 80$	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
$>80\sim 120$	1	1.5	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
$>120\sim 180$	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
$>180\sim 250$	2	3	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
$>250\sim 315$	2.5	4	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
$>315\sim 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
$>400\sim 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7

2.2.2 基本偏差系列

1. 基本偏差代号

国家标准(简称国标)中已将基本偏差标准化,GB/T 1800.1—2009中规定了孔、轴各28种公差带位置,分别用28个代号表示,孔用大写字母,轴用小写字母。在26个英文字母中,去掉5个字母(孔去掉I、L、O、Q、W,轴去掉i、l、o、q、w),加上7组字母(孔为CD、EF、FG、JS、ZA、ZB、ZC,轴为cd、ef、fg、js、za、zb、zc),共28种。孔、轴的基本偏差系列示意图,如图2-6所示。

2. 基本偏差系列的特点

(1)基本偏差系列中的H(h),其基本偏差为零。

(2)JS(js)与零线对称,上极限偏差ES(es)=+IT/2,下极限偏差EI(ei)=-IT/2,上、下极限偏差均可作为基本偏差。

(3)孔的基本偏差系列中,A~H的基本偏差为下极限偏差,J~ZC的基本偏差为

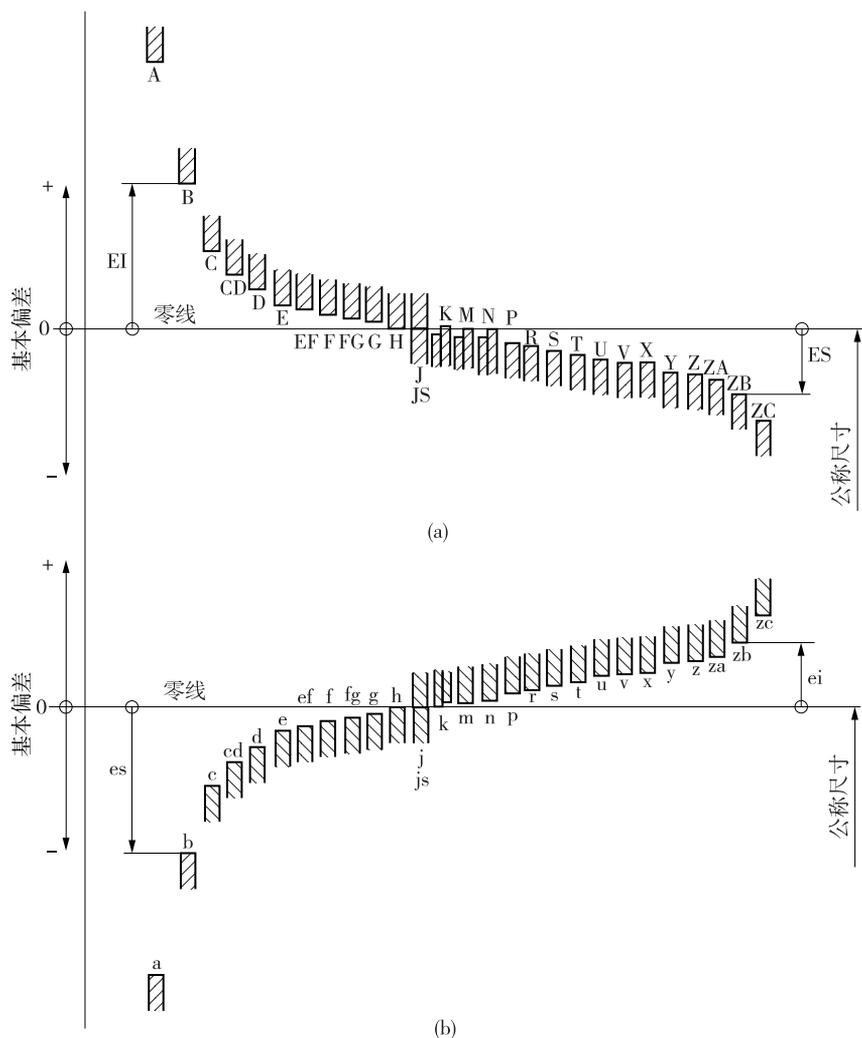


图 2-6 基本偏差系列示意图
(a)孔的基本偏差系列 (b)轴的基本偏差系列

上极限偏差；轴的基本偏差中 a~h 的基本偏差为上极限偏差，j~zc 的基本偏差为下极限偏差。

(4) 公差带的另一极限偏差“开口”，表示其公差等级未定。

3. 基本偏差数值

国家标准已列出轴、孔的基本偏差数值(见表 2-2 和表 2-3)，在实际中可查表确定其数值。

【例 2-6】 利用标准公差数值表和轴的基本偏差数值表，确定 $\phi 50f6$ 轴的极限偏差数值。

解：查表 2-1 得： $IT6 = 16\mu\text{m}$

查表 2-2 得：基本偏差 $es = -25\mu\text{m}$

所以 $ei = es - IT6 = (-25)\mu\text{m} - 16\mu\text{m} = -41\mu\text{m}$

在图样上可标注为 $\phi 50_{-0.041}^{-0.025}$ 。

【例 2-7】 利用标准公差数值表和孔的基本偏差数值表，确定 $\phi 35\text{U}7$ 孔的极限偏差数值。

解：查表 2-1 得， $\text{IT}7=25\mu\text{m}$

查表 2-3，公称尺寸处于 $>30\sim 40\text{mm}$ 尺寸分段内，但表中的基本偏差适用于公差等级 >7 时，而本题公差等级等于 7，故应按照表中的说明，在该表的右端查找出 $\Delta=9\mu\text{m}$ 。

所以 $\text{ES}=-60\mu\text{m}+\Delta=-60\mu\text{m}+9\mu\text{m}=-51\mu\text{m}$

而 $\text{EI}=\text{ES}-\text{IT}7=-51\mu\text{m}-25\mu\text{m}=-76\mu\text{m}$

在图样上可标注为 $\phi 35_{-0.076}^{-0.051}$ 。

2.2.3 基准制

为了以尽可能少的标准公差带形成最多种的配合，标准规定了两种基准制：基孔制和基轴制。如有特殊需要，允许将任一孔、轴公差带组成配合。孔、轴尺寸公差代号由基本偏差代号与公差等级代号组成。

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的公差带形成各种配合的一种制度，如图 2-7(a) 所示。

在基孔制中，孔是基准件，称为基准孔；轴是非基准件，称为配合轴。同时规定，基准孔的基本偏差是下极限偏差，且等于零，即 $\text{EI}=0$ ，并以基本偏差代号 H 表示，应优先选用。

2. 基轴制

基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度，如图 2-7(b) 所示。

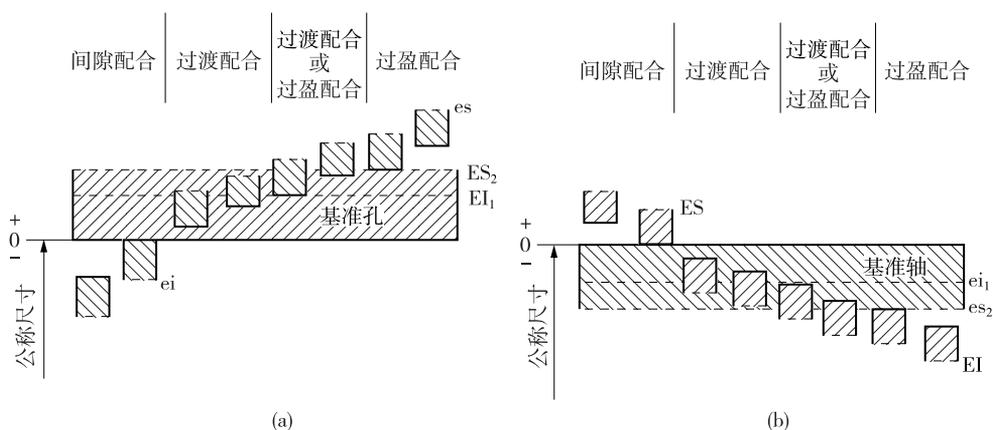


图 2-7 基孔制配合和基轴制配合

(a) 基孔制配合 (b) 基轴制配合



表 2-2 公称尺寸 ≤ 500mm 轴

公称尺寸 /mm		基 本															
		上 极 限 偏 差 es											js	j			
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h		5、6	7	8	4~7
大于	至	所有标准公差等级															
—	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	偏差等于 $\pm \frac{IT_n}{2}$, 式 中 IT_n 为 IT 值数	-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																
18	24	-300	-160	-110	—	-65	-40	—	-20	—	-7	0		-4	-8	—	+2
24	30																
30	40	-310	-170	-120	—	-80	-50	—	-25	—	-9	0		-5	-10	—	+2
40	50	-320	-180	-130													
50	65	-340	-190	-140	—	-100	-60	—	-30	—	-10	0		-7	-12	—	+2
65	80	-360	-200	-150													
80	100	-380	-220	-170	—	-120	-72	—	-36	—	-12	0		-9	-15	—	+3
100	120	-410	-240	-180													
120	140	-460	-260	-200	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0		-11	-18	—	+3
140	160	-520	-280	-210													
160	180	-580	-310	-230	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0		-13	-21	—	+4
180	200	-660	-340	-240													
200	225	-740	-380	-260	—	-190	-110	—	-56	—	-17	0		-16	-26	—	+4
225	250	-820	-420	-280													
250	280	-920	-480	-300	—	-210	-125	—	-62	—	-18	0		-18	-28	—	+4
280	315	-1 050	-540	-330													
315	355	-1 200	-600	-360	—	-230	-135	—	-68	—	-20	0	-20	-32	—	+5	
355	400	-1 350	-680	-400													
400	450	-1 500	-760	-440	—	-230	-135	—	-68	—	-20	0	-20	-32	—	+5	
450	500	-1 650	-840	-480													

注：①公称尺寸小于或等于 1mm 时，基本偏差 a 和 b 均不采用。

②公差带 js7~js11，若 IT_n 数值为奇数，则偏差 = $\pm (IT_n - 1) / 2$ 。

的基本数值(摘自 GB/T 1800.1—2009)

(单位: μm)

偏 差 数 值														
下 极 限 偏 差 e_i														
k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
≤ 3 > 7	所有标准公差等级													
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	+160	+218
0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
						+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
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	+1 000
0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1 150
				+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1 250
				+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1 050	+1 350
0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1 200	+1 550
				+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1 000	+1 300	+1 700
0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1 150	+1 500	+1 900
				+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1 000	+1 300	+1 650	+2 100
0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1 100	+1 450	+1 850	+2 400
				+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1 000	+1 250	+1 600	+2 100	+2 600

基本偏差 (摘自 GB/T1800.1-2009)

(单位: μm)

数 值													$\Delta^{\text{①}}$																
上极限偏差 ES																													
P 到 ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC																	
≤ 7	> 7 级												3	4	5	6	7	8											
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																
	-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	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1.5	2	3	4	8	12											
				-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218																	
	-26	-34	-43	—	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1.5	3	4	5	9	14										
				-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325																	
	-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16											
																			-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480
	-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19											
																			-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690
	-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	7	15	23											
																			-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900
																			-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1 000
	-50	-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1 150	3	4	6	9	17	26											
																			-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1 250
																			-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1 050	-1 350
	-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1 200	-1 550	4	4	7	9	20	29											
																			-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1 000	-1 300	-1 700
	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1 150	-1 500	-1 900	4	5	7	11	21	32											
																			-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1 000	-1 300	-1 650	-2 100
	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1 100	-1 450	-1 850	-2 400	5	5	7	13	23	34											
-132																			-252	-360	-540	-660	-820	-1 000	-1 250	-1 600	-2 100	-2 600	



图 2-8 中, 轴的优先公差带有 13 种(圆圈内), 常用公差带有 59 种(方框内), 一般用途公差带有 116 种; 图 2-9 中, 孔的优先公差带有 13 种, 常用公差带有 44 种, 一般用途公差带有 105 种。

2.3.2 国标中规定的配合

国家标准在規定孔、轴公差带选用的基础上, 还规定了孔、轴公差带的组合。基孔制配合中常用配合 59 种(见表 2-4), 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为 47 种(见表 2-5), 其中注有“▼”符号的 13 种为优先配合。

表 2-4 基孔制优先和常用配合

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						$\frac{H6}{f5}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{js5}$	$\frac{H6}{k5}$	$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H6}{n5}$	$\frac{H6}{p5}$	$\frac{H6}{r5}$	$\frac{H6}{s5}$	$\frac{H6}{t5}$					
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					$\frac{H8}{e7}$	$\frac{H8}{f7}$	$\frac{H8}{g7}$	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{js7}$	$\frac{H8}{k7}$	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$	$\frac{H8}{p7}$	$\frac{H8}{r7}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H8}{t7}$	$\frac{H8}{u7}$				
				$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$	$\frac{H8}{h8}$														
H9			$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$		$\frac{H9}{h9}$													
H10			$\frac{H10}{c10}$	$\frac{H10}{d10}$				$\frac{H10}{h10}$													
H11	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$				$\frac{H11}{h11}$													
H12		$\frac{H12}{b12}$						$\frac{H12}{h12}$													

表 2-5 基轴制优先和常用配合

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						$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{JS6}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{R6}{h5}$	$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$					
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					$\frac{E8}{h7}$	$\frac{F8}{h7}$		$\frac{H8}{h7}$	$\frac{JS8}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$									



(续表)

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								
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		$\frac{B12}{h12}$						$\frac{H12}{h12}$													

从表 2-4 和表 2-5 中可以看出,加工工艺等价原则在这里反映出的经济性:孔、轴公差等级以 IT8 为界,低于或等于 IT8 级的轴与孔采用同级配合,但高于 IT8 的轴必须与低一级的孔配合。

2.3.3 一般公差——线性尺寸的未注公差

一般公差是指在车间一般加工条件下可保证的公差,是机床设备在正常维护和操作情况下,能达到的经济加工精度。采用一般公差时,在该尺寸后不标注极限偏差或其他代号,所以也称未注公差。

一般公差主要用于较低精度的非配合尺寸。当功能上允许的公差等于或大于一般公差时,均采用一般公差;当要素的功能允许选择比一般公差大的公差,且注出更为经济时,如装配所钻不通孔的深度,则相应的极限偏差值要在尺寸后注出。在正常情况下,一般可不必检验。一般公差适用于金属切削加工的尺寸、一般冲压加工的尺寸。对非金属材料 and 用其他工艺方法加工的尺寸亦可参照采用。

在 GB/T 1804—2000 中,规定了 4 个公差等级,线性尺寸一般公差的公差等级及极限偏差数值(见表 2-6)。

表 2-6 线性尺寸的极限偏差(摘自 GB/T 1804—2000) (单位: mm)

公差等级	尺寸分段							
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30~120	>120~400	>400~1 000	>1 000~2 000	>2 000~4 000
精密 f	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	—
中等 m	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
粗糙 c	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
最粗 v	—	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

采用一般公差时，在图样上不标注公差，但应在技术要求中作相应注明，如选用中等级时，表示为 GB/T 1804—m。

2.4 常用尺寸公差与配合的选用

零件的尺寸精度和配合设计任务主要包括 4 方面的内容：

- (1) 基准制的选择与设计。
- (2) 尺寸公差等级的选择。
- (3) 配合的选择与设计。

2.4.1 基准制的选择

- (1) 一般情况下，优先采用基孔制。
- (2) 有些情况下选择基轴制。

①用冷拉钢制圆柱型材制作光轴作为基准轴。这一类圆柱型材的规格已标准化，尺寸公差等级一般为 IT7~IT9。以它作为基准轴时，可以免去外圆的切削加工，只要按照不同的配合性质来加工孔，即可实现技术与经济的最佳效果。

②与标准件或标准部件(如键、销、轴承等)配合，应以标准件为基准件来确定用基孔制还是基轴制。例如，滚动轴承外圈与箱体孔的配合应采用基轴制，滚动轴承内圈与轴的配合应采用基孔制，如图 2-10 所示。

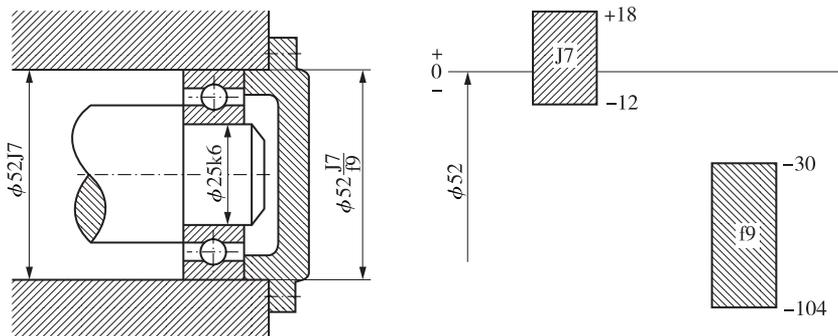


图 2-10 基准制选择示例(一)

③“一轴多孔”结构中，而且构成的多处配合的松紧程度要求不同的场合。所谓“一轴多孔”，指一根轴与两个或两个以上的孔组成配合。如图 2-11(a)所示，内燃机中活塞销与活塞孔及连杆套孔的配合，它们组成 3 处两种性质的配合。如果采用图 2-11(b)所示的基孔制，轴为阶梯轴，且两头大中间小，既不便加工，也不便装配。因此，应采用图 2-11(c)所示的基轴制配合。

(3) 特殊情况下可以采用非基准制。国家标准规定，为了满足配合的特殊需要，允许采用非基准制配合，即采用任一孔、轴公差带(基本偏差代号非 H 的孔或非 h 的轴)组成的配合。

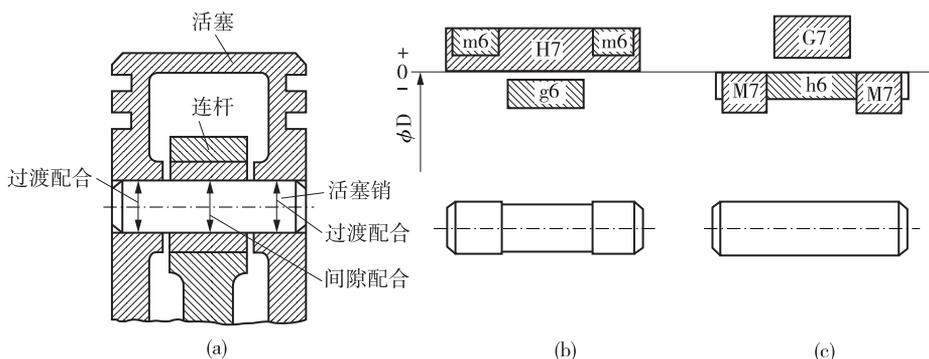


图 2-11 基准制选择示例(二)

2.4.2 尺寸公差等级的选择

1. 公差等级的选择原则

选择公差等级就是解决制造精度与制造成本之间的矛盾。在满足使用性能的前提下，应尽量选取较低的公差等级。

所谓“尽量选取较低的公差等级”，是指假如 IT7 级以上(含 IT7)的公差等级均能满足使用性能要求，那么选择 IT7 级为宜。它既保证使用性能，又可获得最佳的经济效益。

2. 公差等级的选择方法

(1) 类比法(经验法)。参考经过实践证明合理的类似产品的公差等级，将所设计的机械(机构、产品)的使用性能、工作条件、加工工艺装备等情况与之进行比较，从而确定合理的公差等级。对初学者来说，应多采用类比法。此法主要是通过查阅有关的参考资料、手册，并进行分析比较后确定公差等级，多用于一般要求的配合。

(2) 计算法。根据一定的理论和计算公式计算后，再根据尺寸公差与配合的标准确定合理的公差等级。即根据工作条件和使用性能要求，确定配合部位的间隙或过盈允许的界限，然后通过计算法确定相配合的孔、轴的公差等级。计算法多用于重要的配合。

3. 确定公差等级应考虑的几个问题

(1) 一般的非配合尺寸要比配合尺寸的公差等级低。

(2) 遵守工艺等价原则。孔、轴的加工难易程度相当，在公称尺寸等于或小于 500mm 时，孔比轴要低一级；在公称尺寸大于 500mm 时，孔、轴的公差等级相同。这一原则主要用于中高精度(公差等级不超过 IT8)的配合。

(3) 在满足配合要求的前提下，孔、轴的公差等级可以任意组合，不受工艺等价原则的限制。例如，轴承盖与轴承孔的配合要求很松，它的联接可靠性主要是靠螺钉联接来保证。对配合精度要求很低，相配合的孔和轴既没有相对运动，又不承受外界负荷，所以轴承盖的配合外径采用 IT9 是经济合理的，孔的公差等级是由轴承的外径



精度所决定的，如果轴承盖的配合外径按工艺等价原则采用 IT6，则反而是不合理的。因为这样做势必要提高制造成本，同时对提高产品质量又起不到任何作用。

(4) 与标准件配合的零件，其公差等级由标准件的精度要求所决定。例如，与轴承配合的孔和轴，其公差等级由轴承的精度等级来决定；与齿轮孔相配的轴，其配合部位的公差等级由齿轮的精度等级所决定。

(5) 用类比法确定公差等级时，一定要查明各公差等级的应用范围和公差等级的选择实例，表 2-7 和表 2-8 可供参考。

表 2-7 公差等级的应用范围

公差等级 应用	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
	量块	■	■	■																
量规			■	■	■	■	■	■	■											
配合尺寸							■	■	■	■	■	■	■	■	■					
特别精密零件				■	■	■	■	■	■											
非配合尺寸														■	■	■	■	■	■	■
原材料										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

表 2-8 常用公差等级的应用范围

公差等级	应用范围
IT5	主要用在配合公差、形状公差要求甚小的地方。它的配合性质稳定，一般用在机床、发动机、仪表等重要部位，如与 D 级滚动轴承配合的箱体孔；与 E 级滚动轴承配合的机床主轴、与机床尾座体孔配合的套筒、精密机械及高速机械中的轴、精密丝杠轴等
IT6	配合性质达到较高的均匀性，如与 E 级滚动轴承相配合的孔、轴；与齿轮、蜗轮、联轴器、带轮、凸轮等联接的轴、机床丝杠轴；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 级精度齿轮基准轴
IT7	7 级精度比 6 级稍低，应用条件与 6 级基本相似，在一般机械制造中应用较为普遍，如联轴器、带轮、凸轮等的孔径；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
IT8	在机械制造中属于中等精度，如轴承座衬套沿宽度方向的尺寸；9、10 级齿轮基准孔，11、12 级齿轮基准轴
IT9、IT10	主要用于机械制造中轴套外径与孔；操纵件与轴；空轴带轮与轴；单键与花键
IT11、IT12	配合精度很低，装配后可能产生很大间隙，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；加工中工序间的尺寸；冲压加工的配合件；机床制造中的扳手孔与扳手座的联接

(6) 在满足设计要求的前提下，应尽量考虑工艺的可能性和经济性。



2.4.3 配合的选择

1. 配合选择的任务

当基准制和孔、轴公差等级确定之后,配合选择的任务是确定非基准件(基孔制中的轴或基轴制中的孔)的基本偏差代号。

2. 配合选择的方法

配合的选择方法有类比法、计算法和试验法三种。

(1)类比法。同公差等级的选择相似,大多通过查表将所设计的配合部位的工作条件和功能要求与相同或相似的工作条件或功能要求的配合部位进行分析比较,对于已成功的配合做适当的调整,从而确定配合代号。此选择方法主要应用在一般、常见的配合中。

(2)计算法。主要用于两种情况:一是用于保证与滑动轴承的间隙配合,当要求保证液体摩擦时,可以根据滑动摩擦理论计算允许的最小间隙,从而选定适当的配合;二是完全依靠装配过盈传递负荷的过盈配合,可以根据要求传递负荷的大小计算允许的最小过盈,再根据孔、轴材料的弹性极限计算允许的最大过盈,从而选定适当的配合。

(3)试验法。主要用于新产品和特别重要配合的选择。这些部位的配合选择需要进行专门的模拟试验,以确定工作条件要求的最佳间隙或过盈及其允许变动的范围,然后确定配合性质。这种方法只要试验设计合理、数据可靠,选用的结果比较理想,但成本较高。

3. 配合选择的步骤

采用类比法选择配合时,可以按照下列步骤进行:

(1)确定配合的类型。根据配合部位的功能要求,确定配合的类型。

①间隙配合。间隙配合中的非基准孔(轴)有 A~H(a~h)共 11 种基本偏差,其特点是利用间隙贮存润滑油及补偿温度变形、安装误差、弹性变形等所引起的误差。间隙配合在生产中应用广泛,不仅用于运动配合,加紧固件后也可用于传递转矩。选择不同基本偏差的轴(或孔),与基准孔(或基准轴)分别形成不同间隙的配合。主要依据变形、误差需要补偿间隙的大小、相对运动速度、是否要求定心或拆卸来选定。

②过渡配合。过渡配合中的非基准的孔(轴)有 JS~N(js~n)4 种基本偏差,其主要特点是定心精度高且可拆卸,也可加键、销紧固件后用于传递转矩,主要根据机构受力情况、定心精度和要求装拆次数来考虑基本偏差的选择。定心要求高、受冲击负荷、不常拆卸的,可选较紧的过渡配合,如基本偏差为 N(n)的过渡配合;反之,应选较松的过渡配合,如基本偏差为 K(k)或 JS(js)的过渡配合。

③过盈配合。过盈配合中的非基准的孔(轴)有 P~ZC(p~zc)13 种基本偏差,其特点是由于有过盈,装配后孔的尺寸被胀大而轴的尺寸被压小,产生弹性变形,在结合面上产生一定的正压力和摩擦力,用以传递转矩和紧固零件。选择过盈配合时,如不加键、销等紧固件,则最小过盈应能保证传递所需的转矩,最大过盈应不使材料破坏,故配合公差不能太大,公差等级一般为 IT5~IT7。基本偏差根据最小过盈量及结

合件的标准来选取。

结合件的工作情况及其对应的配合类型可按表 2-9 进行选择。

表 2-9 配合类型应用范围

结合件的工作情况			配合类型
有相对运动	只有移动		间隙较小的间隙配合
	转动或与移动的复合运动		间隙较大的间隙配合
无相对运动	传递转矩	要求精确同轴	过盈配合
		永久结合	过渡配合或间隙最小的间隙配合加紧固件
	可拆结合		
	不需要精确同轴		间隙较小的间隙配合加紧固件
不传递转矩			过渡配合或过盈量小的过盈配合

注：紧固件指键、销钉和螺钉等。

(2) 确定非基准件的基本偏差代号。根据配合部位具体的功能要求，通过查表，比照配合的应用实例，参考各种配合的性能特征，选择较合适的配合，即确定非基准件的基本偏差代号。轴的基本偏差选用说明及应用(见表 2-10)，尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 基孔制常用和优先配合的特征及应用(见表 2-11)。

表 2-10 轴的基本偏差选用说明及应用

配合	基本偏差	特性及应用
间隙配合	a、b	可得到特别大的间隙，应用很少。例如，起重机吊钩的铰链、带榫槽的法兰盘推荐配合为 H12/b12
	c	可得到很大的间隙，一般适用于缓慢、松弛的转动配合。用于工作条件较差(如农业机械)、受力变形的情况，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。其较高等级的配合，如 H8/c7 适用于轴在高温工作的紧密配合，如内燃机排气阀和导管
	d	一般用于 IT7~IT11 的公差等级，适用于松弛的转动配合，如密封盖、滑轮、空带轮等与轴的配合，也适用于大直径滑动轴承的配合，如球磨机、轧钢机等重型机械的滑动轴承
	e	多用于 IT7~IT9 的公差等级，通常用于要求有明显间隙、易于转动的支承配合，如大跨距支承、多支点支承等配合。高等级的 e 轴也适用于大的、高速、重载的支承，如蜗轮发电机、大型电动机及内燃机的主要轴承、凸轮轴轴承等配合
	f	多用于 IT6~IT8 的公差等级的一般转动配合，当温度影响不太大时，广泛用于普通润滑油(或润滑脂)润滑的支承，如齿轮箱、小电动机、泵等的转轴与滑动轴承的配合
	g	配合间隙很小，制造成本很高，除了很轻负荷的精密机构外，一般不用作转动配合。多用于 IT5~IT7 的公差等级，最适合不回转的精密滑动轴承，也用于插销等定位配合，如精密连杆轴承、活塞及滑阀、连杆销以及钻套与衬套、精密机床的主轴与轴承、分度头轴颈与轴的配合等。例如，钻套与衬套的配合为 H7/g6
	h	配合的最小间隙为零，用于 IT4~IT11 的公差等级。广泛用于无相对转动的零件，作为一般定位配合。若无温度、变形的影响，也用于精密滑动配合。例如，车床尾座体孔与顶尖套筒的配合为 H6/h5



(续表)

配合	基本偏差	特性及应用
过渡配合	js	平均起来为稍有间隙的过渡配合,多用于 IT4~IT7 的公差等级,要求间隙比 h 轴小,并允许稍有过盈的定位配合,如联轴器,可用手或木槌装配
	k	平均起来没有间隙的过渡配合,适用于 IT4~IT7 的公差等级,推荐用于稍有过盈的定位配合,如为了消除振动用的定位配合,一般用木槌装配
	m	平均过盈不大的过渡配合,适用于 IT4~IT7 的公差等级,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。一般可用木槌装配,但在最大过盈时,要求有相当大的压入力
	n	平均过盈比 m 轴稍大,很少得到间隙,适用于 IT4~IT7 的公差等级,用木槌或压力机装配,拆卸较困难
过盈配合	p	与 H6 或 H7 孔配合时是过盈配合,与 H8 孔配合时为过渡配合。对非铁制零件,用较轻的力压入配合,当需要时易于拆卸;对钢、铸铁或铜、钢组件装配是标准压入配合。它主要用于定心精度很高、零件有足够的刚性、受冲击负荷的定位配合
	r	对铁制零件,为中等打入配合;对非铁制零件,为轻打入的配合,当需要时可以拆卸。与 H8 孔配合,直径在 $\phi 100\text{mm}$ 以上时为过盈配合,直径小时为过渡配合
	s	用于钢铁件的永久或半永久结合,可产生相当大的结合力。当用弹性材料(如轻合金)时,配合性质与铁制零件的 p 轴相当,如套环压装在轴上、阀座等的配合。尺寸较大时,为了避免损伤配合表面,需用热胀或冷缩法装配
	t、u、v x、y、z	过盈量依次增大,一般不推荐。例如,联轴器与轴的配合为 H7/16

表 2-11 尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 基孔制常用和优先配合的特征及应用

配合类别	配合代号	应用
间隙配合	H11/c11	间隙非常大,用于很松的、转动很慢的转动配合;要求大公差与大间隙的外露组件;要求装配方便的、很松的配合
	H9/d9	间隙很大的自由转动配合,用于转动精度为非主要要求时,或有大的温度变化、高转速或大的轴颈压力时的配合
	H8/f7	间隙不大的转动配合,用于中等转速与中等轴颈压力的精确转动,也用于装配容易的中等定位配合
	H7/g6	间隙很小的滑动配合,用于不希望自由转动,但可自由移动和滑动并精密定位的配合,也可用于要求明确的定位配合
	H7/h6、H8/h7、H9/h9	均为间隙定位配合,零件可自由装拆,而工作时一般相对静止不动。在最大实体条件下的间隙为零,在最小实体条件下的间隙由公差等级决定
过渡配合	H7/k6	用于精密定位配合
	H7/n6	允许有较大过盈的更精密定位配合



(续表)

配合类别	配合代号	应用
过盈配合	H7/p6	过盈定位配合, 即小过盈配合, 用于定位精度特别重要时, 能以最好的定位精度达到部件的刚性及对中性要求, 而对内孔承受压力无特殊要求, 不依靠配合的紧固性传递摩擦负荷的配合
	H7/s6	中等压入配合, 适用于一般钢件, 或用于薄壁件的冷缩配合, 用于铸铁件可得到最紧的配合
	H7/u6	压入配合, 适用于可以承受高压入力的零件, 或不易承受大压入力的冷缩配合

(3) 配合选择的注意事项。按大批大量生产时, 加工后所得的尺寸通常呈正态分布; 而单件小批量生产时, 加工所得的孔的尺寸多偏向下极限尺寸, 轴的尺寸多偏向上极限尺寸, 即呈偏态分布。所以, 对于同一使用要求, 单件小批量生产时采用的配合应比大批大量生产时要松一些。例如, 大批大量生产时的 $\phi 50H7/js6$ 的要求, 在单件小批量生产时应选择 $\phi 50H7/h6$ 。

【例 2-8】 已知孔、轴的公称尺寸为 $\phi 25\text{mm}$, 间隙为 $0.005 \sim 0.045\text{mm}$, 试确定孔、轴的公差等级和公差带及配合代号。

解: (1) 选择基准制为基孔制。

(2) 选择公差等级。由给定条件知, 此孔、轴配合为间隙配合, 要求的配合公差为

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = T_h + T_s = (0.045 - 0.005)\text{mm} = 0.040\text{mm} = 40\mu\text{m}$$

即所选的孔、轴公差之和应最接近而又小于 $40\mu\text{m}$ 。

假设孔与轴为同级配合, 则 $T_h = T_s = T_f/2 = 0.02\text{mm} = 20\mu\text{m}$

查表 2-1, IT7 = $21\mu\text{m}$, IT6 = $13\mu\text{m}$, 故孔与轴的标准公差等级介于 IT6 与 IT7 之间, 一般取孔比轴低一级, 即

$$\text{孔 IT7} = 21\mu\text{m} \quad \text{轴 IT6} = 13\mu\text{m}$$

则配合公差 $T_f = T_h + T_s = 21\mu\text{m} + 13\mu\text{m} = 34\mu\text{m} < 40\mu\text{m}$

(3) 确定孔、轴公差带。因为是基孔制配合, 且孔的标准公差等级为 IT7, 所以孔的公差带为 $\phi 25H7(^{+0.021}_0)$ 。

又因为 $X_{\min} = EI - es$, 且 $EI = 0$

所以 $es = -X_{\min}$

本题要求最小间隙为 0.005mm ($5\mu\text{m}$), 即轴的基本偏差应接近于 $-5\mu\text{m}$ 。

查表 2-2, 取轴的基本偏差为 g , $es = -7\mu\text{m}$

则 $ei = es - IT6 = -7\mu\text{m} - 13\mu\text{m} = -20\mu\text{m}$, 所以轴的公差带为 $\phi 25g6(^{-0.007}_{-0.020})$ 。

(4) 验算设计结果。孔、轴配合为 $\phi 25H7/g6$, 则

最大间隙: $X_{\max} = ES - ei = 41\mu\text{m}$

最小间隙: $X_{\min} = EI - es = 7\mu\text{m}$

故间隙在 $0.005 \sim 0.045\text{mm}$ 之间, 设计结果满足使用要求。

2.5 技术测量的基础

2.5.1 检测的基本概念与量值传递

1. 检测的基本概念

被测对象在一定条件下总有一个客观存在的量值，通常称为真值。当我们用某种设备在一定条件下对被测对象进行测量时，所获得的测得值同它的真值之间总有一个差值。此测得值与真值之差就称为测量误差，其量纲与被测量的量纲相同，又称为绝对测量误差。若被测量值为 L ，计量单位为 E ，两者比值为 q ，可用公式表示为

$$L=qE$$

显然，对任一被测对象进行测量，首先要建立计量单位，其次要选择与被测对象相适应的测量方法，并且要达到所要求的测量精度。因此，一个完整的几何量测量过程包括被测对象、计量单位、测量方法和测量精度 4 个要素。

(1) 被测对象。在几何量测量中，被测对象是指长度、角度、表面粗糙度、形位误差等。

(2) 计量单位。指用以度量同类量值的标准量。

(3) 测量方法。指测量原理、测量器具和测量条件的总和。

(4) 测量精度。指测量结果与真值一致的程度。

2. 长度单位、基准和量值传递

(1) 长度单位。在国际单位制及我国法定计量单位中，长度的基本单位名称是“米”，符号为“m”。其他常用单位有 mm、 μm 等。 $1\text{m}=1\,000\text{mm}$ ， $1\text{mm}=1\,000\mu\text{m}$ 。

(2) 基准。1m 是光在真空中 $(1/299\,792\,458)\text{s}$ 的时间间隔内所经过的行程长度。

(3) 量值传递系统。以经过中间基准将长度基准逐级传递到生产中使用的各种计量器具上，形成量值传递系统。我国长度量值传递系统，如图 2-12 所示，从最高基准谱线开始，通过两个平行的系统向下传递。

3. 量块基本知识

量块旧称块规，它是保持度量统一的工具，在工厂中常作为长度基准，是无刻度的平面平行端面量具。量块除了作为标准器具进行长度量值传递之外，还可以作为标准器来调整仪器、机床或直接检测零件。

(1) 量块的材料、形状、尺寸和作用。量块通常用线膨胀系数小、性能稳定、耐磨、不易变形的材料制成，如铬、锰、钢等，其常见形状为长方体。长方体量块有上、下两个经过精密加工的很平、很光的工作面，称为上、下测量面，其他 4 个表面为一般的侧面。量块有两种截面尺寸，当 $0.5\text{mm}\leq\text{标称长度}\leq 10\text{mm}$ 时为 $30\text{mm}\times 9\text{mm}$ ， $10\text{mm}<\text{标称长度}\leq 1\,000\text{mm}$ 时为 $35\text{mm}\times 9\text{mm}$ 。如图 2-13 所示，量块的工作尺寸是指中心长度 OO' ，即从一个测量面上的中心至该量块另一测量面相研合的辅助体表面（平晶）之间的距离。

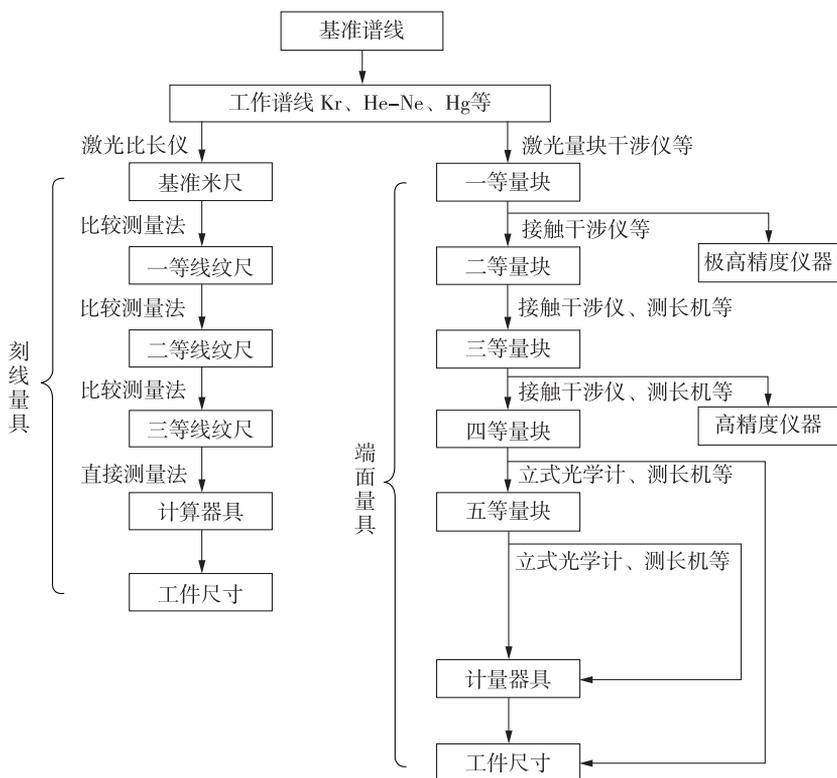


图 2-12 长度量值传递系统

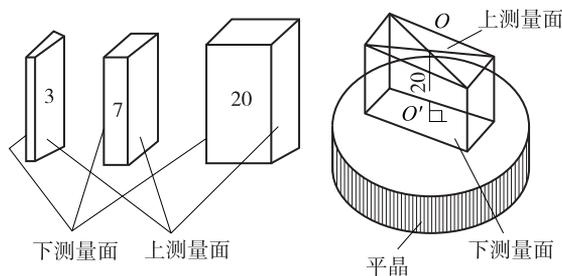


图 2-13 量块工作尺寸

(2) 量块的精度等级。根据 GB/T 6093—2001 的规定，量块按制造精度分为 K、0、1、2、3 级共 5 级，K 级最高，3 级最低。这种分类主要是根据量块长度极限偏差、测量面的平面度、表面粗糙度及量块的研合性等指标来划分的。

(3) 量块的特性和应用。量块的基本特性除上述的稳定性、耐磨性和准确性之外，还有一个重要的特性，即研合性。所谓量块的研合性，即量块的一个测量面与另一量块测量面或与另一经过精加工的类似量块测量面的表面，通过分子力的作用而相互黏合的性能，它是由于量块表面的表面粗糙度极好时，表面附着的油膜的单分子层定向作用所致的。



2.5.2 计量器具与测量方法的分类

1. 计量器具的分类

计量器具是量具、量规、量仪和其他用于测量目的的测量装置(即计量装置)的总称。

(1)量具。量具是指以固定形式复现量值的计量器具,可分为单值量具(如量块)和多值量具(如线纹尺)。量具的特点是一般没有放大装置。

①单值量具。只能体现一个单一量值的量具。可用来校对和调整其他测量器具或作为标准量与被测量直接进行比较,如量块、角度量块等。

②多值量具。可体现一组同类量值的量具。同样能校对和调整其他测量器具或作为标准量与被测量直接进行比较,如线纹尺、90°角尺等。

(2)量规。量规是指没有刻度的专用计量器具,用来检验工件实际尺寸和形位误差的结果。量规只能判断工件是否合格,而不能获得被测几何量的具体数值,如光滑极限量规、螺纹量规等。

(3)量仪。量仪是指能将测量转换成可直接观测的指示值或等效信息的计量器具。按工作原理和结构特征,量仪可分为机械式、电动式、光学式、气动式,以及它们的组合形式——光电一体化的现代量仪。

(4)计量装置。计量装置是指为确定被测量所必需的测量装置和辅助设备总体,如自动分选机、检验夹具、主动测量装置等。

2. 计量器具的基本技术性能指标

(1)标尺间距。指计量器具的刻度标尺或度盘上两相邻刻线中心之间的距离,一般为1~2.5mm。

(2)分度值。指计量器具的刻度尺或度盘上相邻两刻线所代表的量值之差。例如,千分尺的微分套筒上相邻两刻线所代表的量值之差为0.01mm,即分度值为0.01mm。一般来说,分度值越小,计量器具的精度越高。

(3)示值范围。指计量器具所显示或指示的最小值到最大值的范围。

(4)测量范围。指在允许的误差内,计量器具所能测出的最小值和最大值的范围。

(5)示值误差。指计量器具上的示值与被测量真值的代数差。

(6)灵敏度(s)。指计量器具对被测量变化的反应能力。若被测量变化为 x ,所引起的计量器具相应变化为 l ,则灵敏度的公式为

$$s=l/x$$

3. 测量方法的分类

(1)按实测量是否为被测量分类。

①直接测量:指直接从计量器具获得被测量的量值的测量方法。

②间接测量:指先测量出与被测量有已知函数关系的量,然后通过函数关系算出被测量数值的测量方法。

(2)按是否为被测量的整个量值分类。

①绝对测量:指能从计量器具读数装置上读出被测量的整个量值的测量方法,如

用游标卡尺、千分尺测量轴径。

②相对测量：指计量器具的示值仅表示被测量对已知标准量的偏差，而被测量的量值为计量器具的示值与标准量的代数和的测量方法。

(3)按是否与表面接触(是否存在测量力)分类。

①接触测量：例如用游标卡尺、千分尺等进行的测量。

②非接触测量：例如用光学显微镜等进行的测量(如对表面粗糙度进行的测量)。

(4)按同时被测量的数量分类。

①单项测量：例如测量螺纹的螺距、中径和牙型半角。

②综合测量：例如用齿轮单齿啮合仪测量齿轮的切向综合误差。

(5)按被测量是否在加工过程中分类。

①在线测量：主要应用在自动生产线上。

②离线测量：仅限于发现并剔除废品。

(6)按被测量在加工过程中所处的状态分类。

①静态测量：测量期间其值可认为是恒定的量的测量。

②动态测量：目的是测得误差的瞬时值及其随时间变化的规律，测量效率高。

(7)按决定测量结果的全部因素或条件是否改变分类。

①等精度测量：只用于精度的测量。

②不等精度测量：只用于高精度的测量。

2.5.3 常用计量器具的基本结构与工作原理

1. 游标类量具

(1)定义。利用游标读数原理制成的量具称为游标类量具，包括游标卡尺(见图2-14)、游标深度卡尺、游标高度卡尺、游标万能角度尺等。

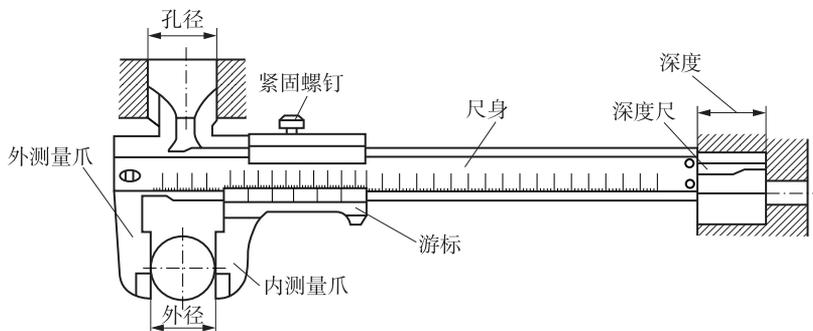


图 2-14 游标卡尺

(2)结构。由尺身和游标组成。尺身为一条有刻度的直尺。

(3)游标的读数原理。尺身上刻线的间隔为 $a = 1\text{mm}$ ，游标上的刻线间隔为 $b = 0.9\text{mm}$ ，故尺身和游标刻度线间距差为 $i = a - b = 0.1\text{mm}$ 。若游标移动一个间距 b ，则与尺身间就产生 0.1mm 的差值，此值即为分度值。读数时，整数部分从尺身上读，小数部分从游标上读。

为读数方便,新型的游标卡尺上装有测微表头或配有电子数显,如图 2-15 和图 2-16 所示。

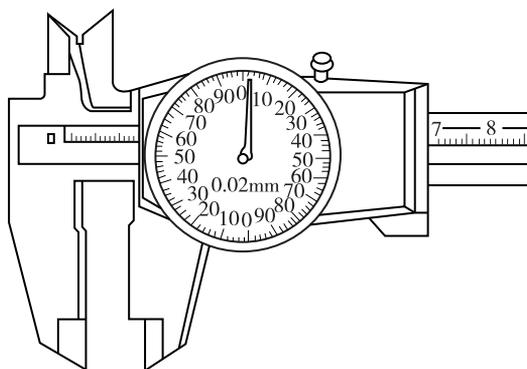


图 2-15 配有测微表头的卡尺

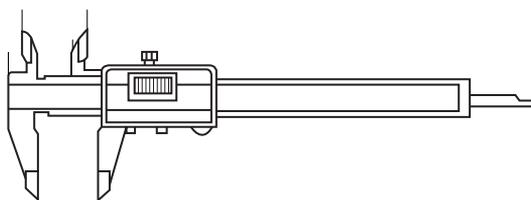


图 2-16 配有电子数显的卡尺

2. 螺旋测微类量具

(1)定义。利用螺旋副运动原理制成的量具称为螺旋测微类量具,包括外径千分尺(见图 2-17)、内径千分尺、深度千分尺、螺纹千分尺和公法线千分尺等。

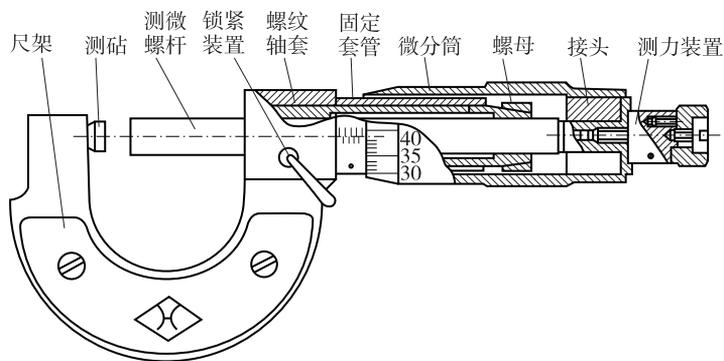


图 2-17 外径千分尺

(2)结构。螺旋测微类量具由尺架、测砧、测微螺杆、微分筒、测力装置等组成。

(3)读数原理。千分尺的测微螺杆螺距为 0.5mm , 测量时微分筒转一周, 测微螺杆轴向移动一个螺距, 而微分筒一周分为 50 等份, 即微分筒转动一小格, 螺杆移动 $0.5\text{mm}/50$, 即 0.01mm , 此为分度值 i 。再利用尺身(测杆)上的刻线记录所走路程, 故读数为: 整数从测杆上的主刻线读, 小数部分为微分筒的格数与 i 的乘积。

又因转一周只能移动 0.5mm，而尺身上刻线为 1mm 间距，故在尺身的水平刻线下方再刻上与上方两刻线对中的一条刻线，即是把上面的 1mm 尺身等分，为 0.5mm。最后有千分尺读数为“主尺刻度+微分筒格数 $\times i$ ”或“主尺刻度+0.5mm+微分筒格数 $\times i$ ”两种。

3. 机械量仪

(1) 定义。应用机械传动件如齿轮、杠杆等，将测量杆的直线位移进行传动、放大，并由读数装置指示出来的量仪称为机械量仪。其测量精度较高，结构简单，使用方便，主要用于长度的相对测量以及形位误差的测量。

(2) 指示表(见图 2-18)。由表盘、测量杆、测头、大指针、小指针、套筒和传动系统等组成，用于测量各类零件的线值尺寸、形位误差，找正工件位置或与其他仪器配套使用。

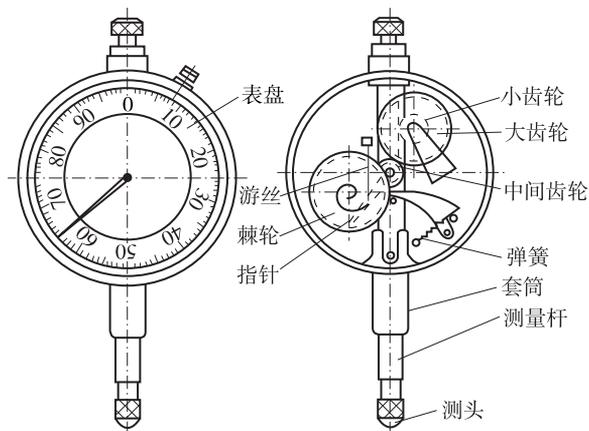


图 2-18 指示表

(3) 内径指示表(见图 2-19)。利用相对测量法测量内孔直径的一种量仪，有 0.01mm、0.001mm 两种分度值，由表头、表杆、测头等部分组成。

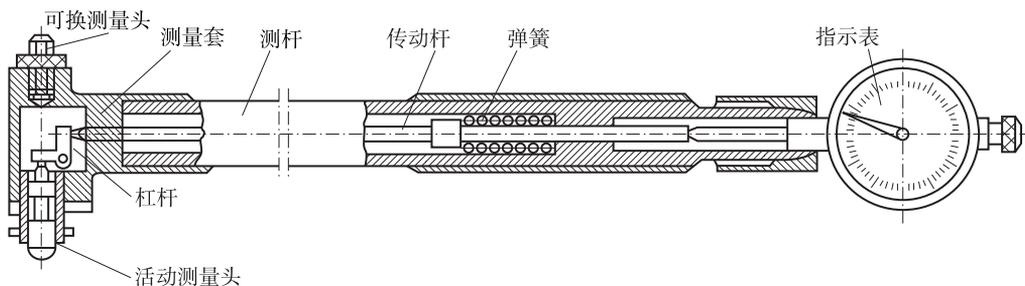


图 2-19 内径指示表

(4) 杠杆指示表(见图 2-20)。将杠杆测头的摆动位移通过机械传动系统转化为指示表指针在圆度盘上的角位移。其中，分度值为 0.01mm 的称为杠杆百分表，分度值为 0.001mm、0.002mm 的称为杠杆千分表。其测量范围一般不大于 1mm。

杠杆指示表的外形与传动原理,如图 2-20 所示。它由杠杆、齿轮传动机构等组成。将测量杆的摆动通过杠杆使扇形齿轮绕其轴摆动,并带动与它相啮合的小齿轮转动,使固定在同一轴上的指针偏转。

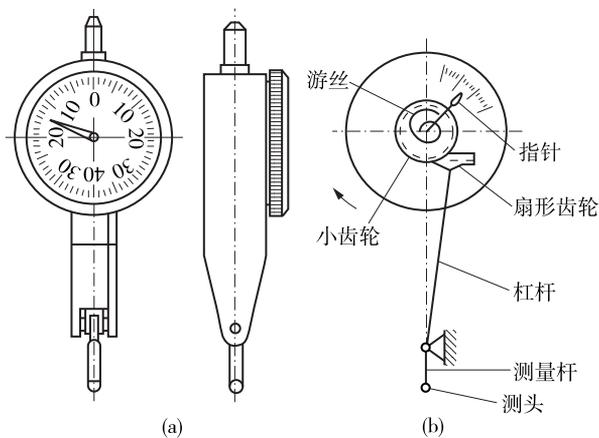


图 2-20 杠杆指示表
(a)外形 (b)传动原理

本章小结

本章重点介绍了极限与配合的基本术语和定义、极限与配合国家标准、计量器具与测量方法、游标卡尺的结构原理和使用方法、外径千分尺的结构原理和使用方法、指示表、内径指示表及杠杆指示表的结构和使用方法等基本内容。

思考与练习

1. 试说明下列概念是否正确:

- (1) 公差是零件尺寸允许的最大偏差。
- (2) 公差一般为正,在个别情况下也可以为负或零。

(3) 过渡配合可能有间隙,也可能有过盈,因此过渡配合可能是间隙配合,也可能是过盈配合。

2. 求下列各种孔轴配合的公称尺寸、上极限偏差、下极限偏差、公差、上极限尺寸、下极限尺寸、最大间隙、最小间隙(或过盈),属于何种配合,求出配合公差,并画出各种配合及配合公差带图(单位为 mm)。

- (1) 孔 $\phi 25_{0}^{+0.021}$ mm 与轴 $\phi 25_{-0.033}^{-0.020}$ mm 相配合。
- (2) 孔 $\phi 25_{0}^{+0.021}$ mm 与轴 $\phi 25_{+0.028}^{+0.041}$ mm 相配合。
- (3) 孔 $\phi 25_{0}^{+0.021}$ mm 与轴 $\phi 25_{+0.002}^{+0.015}$ mm 相配合。



3. 使用标准公差与基本偏差表, 查出下列公差带的上、下极限偏差。

(1) $\phi 32d9$ (2) $\phi 80p6$ (3) $\phi 20v7$ (4) $\phi 170h11$ (5) $\phi 28k7$

(6) $\phi 280m6$ (7) $\phi 40C11$ (8) $\phi 140M8$ (9) $\phi 25Z6$ (10) $\phi 30js6$

(11) $\phi 35P7$ (12) $\phi 60J6$

4. 查出下列孔、轴配合中孔和轴的上、下极限偏差, 说明配合性质, 画出公差与配合图解。

(1) $\phi 40 \frac{H8}{f7}$ (2) $\phi 25 \frac{P7}{h6}$ (3) $\phi 60 \frac{H7}{h6}$

(4) $\phi 32 \frac{H8}{js7}$ (5) $\phi 16 \frac{D8}{h8}$ (6) $\phi 100 \frac{G7}{h6}$

5. 有一孔、轴配合的公称尺寸为 $\phi 30\text{mm}$, 要求配合间隙在 $0.020 \sim 0.055\text{mm}$ 之间, 试确定孔和轴的公差等级和配合种类。