

项目二 极限与配合基础

学习目标

1. 正确理解极限与配合的基本术语及概念。
2. 能正确计算出上、下偏差、极限尺寸、尺寸公差，并能熟练地画出公差带图。
3. 掌握有关配合的术语和定义，能正确计算极限间隙（过盈）及配合公差，能画出配合公差带图，并明确三类配合的区别。
4. 了解公差与配合标准的构成、特点及基本规律。
5. 掌握标准公差、基本偏差和基准制的有关规定。
6. 掌握孔、轴的公差带代号以及配合代号，并能熟练地进行查表及标注。
7. 初步掌握公差与配合的选用原则及方法，为合理选用尺寸公差与配合、进行尺寸精度设计打下基础。
8. 了解线性尺寸一般公差的概念和有关国家标准。

课时分配

课 题	内 容	课 时
一	概述	0.5
二	极限与配合的基本术语及定义	3.5
三	极限制与配合制	4
四	孔、轴公差带与配合的标准化	2
五	极限与配合的应用原则	2
六	线性尺寸的一般公差	2

课题一 概 述

学习目标

初步了解公差与配合及其国家标准的发展。

知识学习

光滑圆柱形结合是众多机械连接形式中最简单、最基本的一种，实际应用也最为广泛。光滑圆柱体的公差为尺寸公差，尺寸公差与配合标准不仅用于圆柱形内、外表面的结合，还适用于零件上其他各种由单一尺寸确定的包容面与被包容面的结合，因而是一项应用广泛的重要基础标准。

在机器制造业中，“公差”是用于协调机器零件的使用要求与制造经济性之间的矛盾；“配合”是反映机器零件之间有关功能要求的相互关系。“公差与配合”的标准化有利于机器的设计、制造、使用和维修，直接影响产品的精度、性能和使用寿命，是评定产品质量的重要技术指标。“公差与配合”标准不仅是机械工业各部门进行产品设计、工艺设计和制订其他标准的基础，而且是广泛组织协作和专业化生产的重要依据。“公差与配合”标准几乎涉及国民经济的各个部门，在机械工业中具有重要的作用。

1959年我国颁布了“公差与配合”国家标准（GB 159 ~ 174—1959）。由于科学技术飞跃发展，产品的精度不断提高，国际技术交流日益扩大，旧国标存在精度等级偏低、配合种类较少、大尺寸标准不符合生产实际以及规律性差等缺点，已不适应生产技术发展的要求。根据原国家标准总局的安排，对该标准进行了修订，并于1979年批准颁布了GB 1800—1979，1997年至1998年对其进行了修订，修订后的GB/T 1800由3部分组成，2009年第三次对GB/T 1800修改，包括以下2部分。

GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第一部分：公差、偏差和配合基础》

GB/T 1800.2—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第二部分：标准公差等级和孔、轴极限偏差表》

同时，对GB 1801—1999进行修订，颁布了GB 1801—2009。

2000年对GB/T 1804—1992《一般公差 线性尺寸的未注公差》和GB/T 11335—1989《未注公差角度的极限偏差》进行了修订，修订后的结果为GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性尺寸和角度尺寸的公差》，至今仍然使用。

本项目将主要介绍修订后的国家标准，以说明公差与配合国家标准构成的基本原理和使用原则。

课题二 极限与配合的基本术语及定义

学习目标

1. 了解尺寸偏差与公差的区别及孔、轴的含义。
2. 了解配合与配合公差的定义并掌握其计算公式，明确三类配合的区别。

3. 掌握尺寸公差带图与配合公差带图绘制。

知识学习

一、尺寸的术语及其定义

1. 尺寸

用特定单位表示线性尺寸值的数值称为尺寸。在机械零件中，线性尺寸值包括直径、半径、宽度、深度、高度和中心距等。由尺寸的定义可知，尺寸由数值和特定单位两部分组成，如 30 mm（毫米）、60 μm （微米）等。在机械制图中，图样上的尺寸通常以 mm 为单位，如以此为单位时，可省略单位的标注，仅标注数值。采用其他单位时，则必须在数值后注写单位。

2. 公称尺寸 (D, d)

标准规定：通过它应用上、下偏差可算出极限尺寸的尺寸称为公称尺寸。孔的公称尺寸用“ D ”表示；轴的公称尺寸用“ d ”表示（标准规定：大写字母表示孔的有关代号，小写字母表示轴的有关代号，后同）。公称尺寸由设计给定，是在设计时考虑零件的强度、刚度、工艺及结构等方面的因素，通过试验、计算或依据经验确定。

为了减少定值刀具（如钻头、铰刀等）、量具（如量规等）、型材和零件尺寸的规格，国家标准 GB/T 已将尺寸标准化。因而公称尺寸应当选取标准尺寸，即通过计算或试验的方法，得到尺寸的数值，在保证使用要求的前提下，此数值接近哪个标准尺寸（一般为大于此数值的标准尺寸），则取这个标准尺寸作为公称尺寸。

3. 实际尺寸 (D_a, d_a)

实际尺寸是指通过测量获得的某一孔、轴的尺寸，孔和轴的实际尺寸分别用 D_a 和 d_a 表示。由于测量过程中，不可避免地存在测量误差，因此所得的实际尺寸并非尺寸的真值。又由于加工误差的存在，同一零件同一几何要素不同部位的实际尺寸也各不相同，如图 2-1 所示，由于形状误差，沿轴向不同部位的实际尺寸不相等，不同方向的直径尺寸也不相等。

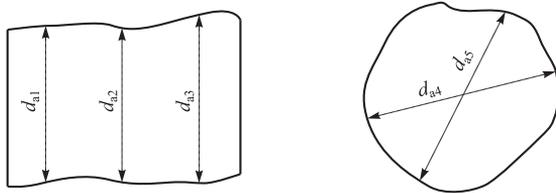


图 2-1 实际尺寸

4. 极限尺寸

极限尺寸是指一个孔或轴允许的尺寸的两个极端，实际尺寸应位于极限尺寸之中，也可达到极限尺寸。孔或轴允许的最大尺寸称为最大极限尺寸；孔或轴允许的最小尺寸称为最小极限尺寸。孔的最大和最小极限尺寸分别以 D_{\max} 和 D_{\min} 表示，轴的最大和最小极限尺寸分别以 d_{\max} 和 d_{\min} 表示（如图 2-2 所示）。

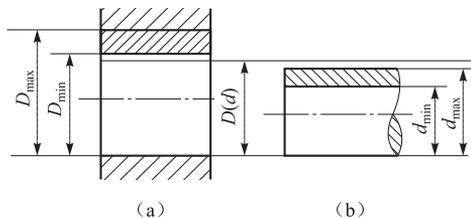


图 2-2 极限尺寸

(a) 孔的极限尺寸；(b) 轴的极限尺寸

极限尺寸是以公称尺寸为基数来确定的，它用于控制实际尺寸。在机械加工中，由于机床、刀具、量具等各种因素而形成的加工误差的存在，要把同一规格的零件加工成同一尺寸是不可能的。从使用的角度来讲，也没有必要将同一规格的零件都加工成同一尺寸，只须将零件的实际尺寸控制在一个范围内，就能满足使用要求。这个范围由上述两个极限尺寸确定，即尺寸合格条件为： $D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max}$ ； $d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}$ 。

5. 实体尺寸（如图 2-3 所示）

实际要素在给定长度上处处位于极限尺寸之内，并具有材料量最多时的状态，称为最大实体状态。实际要素在最大实体状态下的极限尺寸，称为最大实体尺寸。孔和轴的最大实体尺寸分别用 D_M 、 d_M 表示。对于孔， $D_M = D_{\min}$ ；对于轴， $d_M = d_{\max}$ 。

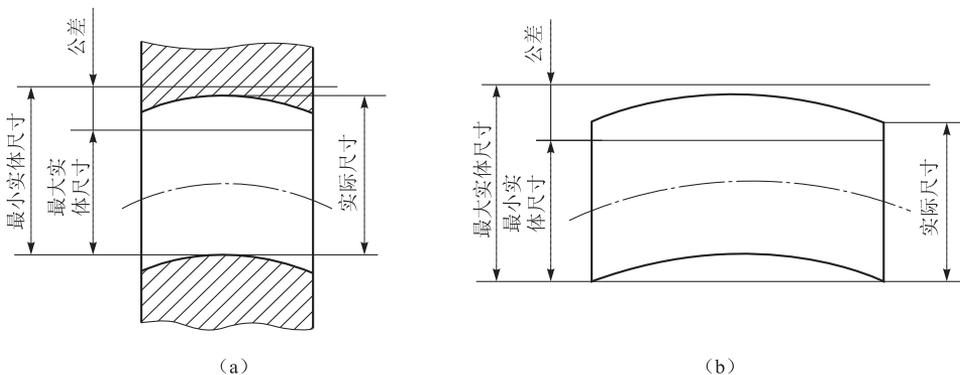


图 2-3 实体尺寸

(a) 弯曲的孔；(b) 弯曲的轴

实际要素在给定长度上处处位于极限尺寸之内，并具有材料量最少时的状态，称为最小实体状态。实际要素在最小实体状态下的极限尺寸，称为最小实体尺寸。孔和轴的最小实体尺寸分别用 D_L 、 d_L 表示。对于孔， $D_L = D_{\max}$ ；对于

轴, $d_L = d_{\min}$ 。

二、孔和轴的定义

广义的孔与轴: 孔为包容面(尺寸之间无材料), 在加工过程中, 尺寸越加工越大; 而轴是被包容面(尺寸之间有材料), 尺寸越加工越小。

1. 孔

孔主要指工件圆柱形的内表面, 也包括其他由单一尺寸确定的非圆柱形的内表面部分(由二平行平面或切面形成的包容面)。

2. 轴

轴主要指工件的圆柱形外表面, 也包括其他由单一尺寸确定的非圆柱形外表面部分(由二平行平面或切面形成的被包容面)。

在公差与配合标准中, 孔是包容面, 轴是被包容面, 孔与轴都是由单一的主要尺寸构成, 例如: 圆柱形的直径、轴的键槽宽和键的键宽等。孔和轴不仅表示通常的概念, 即圆柱体的内、外表面, 而且也表示由二平行平面或切面形成的包容面、被包容面。由此可见, 除孔、轴以外, 类似键连接的公差与配合也可直接应用公差与配合国家标准。如图 2-4 所示的各表面, 如 ϕD 、 B 、 B_1 、 L 、 L_1 所形成的包容面都称为孔; 如 ϕd 、 l 、 l_1 所形成的被包容面都称为轴。因而孔、轴分别具有包容和被包容的功能。

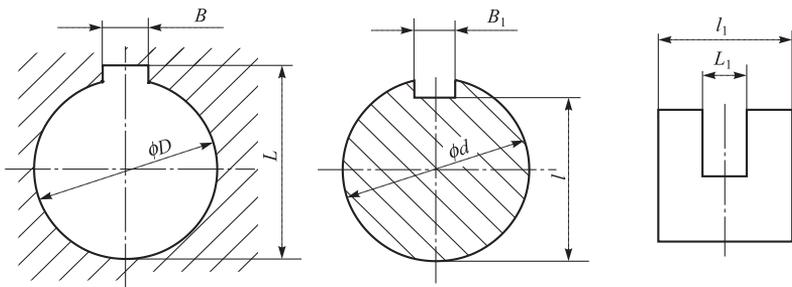


图 2-4 孔和轴的定义

对于形状复杂的孔和轴可以按照以下的方法进行判断。从装配关系上看: 零件装配后形成包容与被包容的关系, 凡包容面统称为孔, 被包容面统称为轴。从加工过程看: 在切削过程中尺寸由小变大的为孔, 而尺寸由大变小的为轴。

三、偏差、公差的术语及其定义

1. 尺寸偏差(简称偏差)

某一尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为尺寸偏差, 简称偏差。偏差包括实际偏差和极限偏差, 而极限偏差又包括上偏差和下偏差。

(1) 实际偏差。

实际尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为实际偏差。实际偏差可以为正值、负值或零。合格零件的实际偏差应在上、下偏差之间。

$$\text{孔的实际偏差为:} \quad E_a = D_a - D \quad (2-1)$$

$$\text{轴的实际偏差为:} \quad e_a = d_a - d \quad (2-2)$$

(2) 极限偏差。

极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为极限偏差。最大极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为上偏差。孔的上偏差用 ES 表示, 轴的上偏差用 es 表示。最小极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为下偏差。孔的下偏差用 EI 表示, 轴的下偏差用 ei 表示, 如图 2-5 所示。极限偏差可由下列公式表示:

$$\text{孔的上偏差为:} \quad ES = D_{\max} - D \quad (2-3)$$

$$\text{孔的下偏差为:} \quad EI = D_{\min} - D \quad (2-4)$$

$$\text{轴的上偏差为:} \quad es = d_{\max} - d \quad (2-5)$$

$$\text{轴的下偏差为:} \quad ei = d_{\min} - d \quad (2-6)$$

注意: 标注和计算偏差时前面必须加注“+”或“-”号(零除外)。

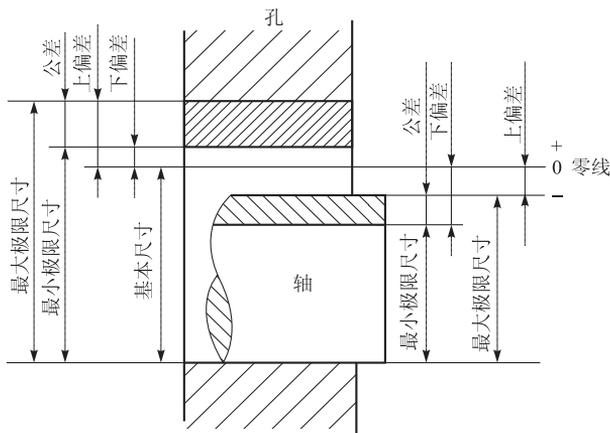


图 2-5 极限与配合示意图

偏差是代数差, 由于实际尺寸和极限尺寸可能大于、小于或等于公称尺寸, 所以偏差可能是正值、负值或零。合格的孔和轴, 其实际偏差应位于极限偏差范围之内。即:

$$\text{孔的合格条件} \quad EI \leq E_a \leq ES \quad (2-7)$$

$$\text{轴的合格条件} \quad ei \leq e_a \leq es \quad (2-8)$$

2. 尺寸公差 (简称公差)

尺寸公差是最大极限尺寸减最小极限尺寸之差, 或上偏差减下偏差之差。由定义可以看出, 尺寸公差是允许尺寸的变动量。尺寸公差简称公差, 用 T 表示。

公差是设计时根据零件要求的精度并考虑加工时的经济性能,对尺寸的变动范围给定的允许值。由于合格零件的实际尺寸只能在最大极限尺寸与最小极限尺寸之间的范围变动,而变动只涉及到大小,因此用绝对值定义,所以公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值。孔和轴的公差分别以 T_h 和 T_s 表示,则其表达式为:

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| \quad (2-9)$$

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| \quad (2-10)$$

由公式(2-3)可得:

$$D_{\max} = D + ES \quad D_{\min} = D + EI$$

代入公式(2-9)中可得:

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |(D + ES) - (D + EI)|$$

$$\text{所以:} \quad T_h = |ES - EI| \quad (2-11)$$

同理可推导出:

$$T_s = |es - ei| \quad (2-12)$$

以上两式说明:公差又等于上偏差与下偏差的代数差的绝对值。

由此可以看出,尺寸公差是用绝对值定义的,没有正、负之分;因此在公差值的前面不能标出“+”号或“-”号;同时因加工误差不可避免,即零件的实际尺寸总是变动的,故公差不能取零值。这两点与偏差是不相同的。

从加工的角度看,公称尺寸相同的零件,公差值越大表示精度越低,加工就越容易。反之,公差值越小表示精度越高,加工就越困难。

例 2-1 孔的公称尺寸 $D = 50 \text{ mm}$, 极限尺寸 $D_{\max} = 50.025 \text{ mm}$, $D_{\min} = 50 \text{ mm}$; 轴的公称尺寸 $d = 50 \text{ mm}$, 极限尺寸 $d_{\max} = 49.950 \text{ mm}$, $d_{\min} = 49.934 \text{ mm}$ 。现测得孔、轴的实际尺寸分别为 $D_a = 50.010 \text{ mm}$, $d_a = 49.946 \text{ mm}$, 求孔、轴的极限偏差和实际偏差,判断零件是否合格,并求孔和轴的尺寸公差。

解: 孔的极限偏差为:

$$ES = D_{\max} - D = 50.025 - 50 = +0.025 \text{ (mm)}$$

$$EI = D_{\min} - D = 50 - 50 = 0 \text{ (mm)}$$

轴的极限偏差为:

$$es = d_{\max} - d = 49.950 - 50 = -0.050 \text{ (mm)}$$

$$ei = d_{\min} - d = 49.934 - 50 = -0.066 \text{ (mm)}$$

孔的实际偏差为:

$$E_a = D_a - D = 50.010 - 50 = +0.010 \text{ (mm)}$$

轴的实际偏差为:

$$e_a = d_a - d = 49.946 - 50 = -0.054 \text{ (mm)}$$

因为 $0 \leq +0.010 \leq 0.025$, $-0.066 \leq -0.054 \leq -0.050$,
即 $EI \leq E_a \leq ES$, $ei \leq e_a \leq es$, 所以孔和轴都是合格的。

孔的尺寸公差为:

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |50.025 - 50| = 0.025 \text{ (mm)}$$

轴的尺寸公差为:

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |49.950 - 49.934| = 0.016 \text{ (mm)}$$

四、公差带图

公称尺寸、极限偏差及公差等概念可通过图 2-5 说明。但该图形较繁琐,且无法按比例关系进行画图。可见,由于公差数值比公称尺寸的数值小得多,故不使用同一比例表示。由于尺寸是毫米级,而公差则是微米级,显然图中的公差部分被放大了。为了使用方便,在实际应用中一般不画出孔和轴的全形,而是将截面图中有关公差部分按适当比例(一般选取 500:1,偏差值较小时可选取 1 000:1)放大画出,如图 2-6 所示。该图称为极限与配合示意图,简称公差带图。图中用尺寸公差带的高度和相互位置表示公差大小和配合性质,它由零线和公差带组成。

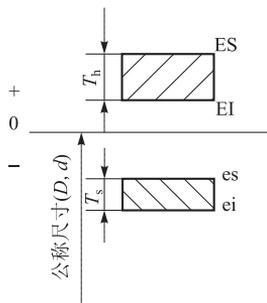


图 2-6 公差带图

1. 零线

零线是确定偏差的基准线。它所指的尺寸为公称尺寸,是极限偏差的起始线。零线上方表示正偏差,零线下方表示负偏差,画图时一定要标注相应的符号“0”、“+”、“-”。零线下方的单箭头必须与零线靠紧(“紧贴”),并注出公称尺寸的数值,如 $\phi 40$ 、55 等。

2. 公差带

公差带是指由代表上偏差和下偏差或最大极限尺寸与最小极限尺寸的两条直线所限定的区域。沿零线垂直方向的宽度表示公差值,代表公差带的大小。沿零线长度方向可适当选取。

3. 公差带图

公差带有两个要素:一是公差带的大小,它取决于公差数值的大小;二是公差带的位置,它取决于极限偏差的大小。为了区别,一般在同一图中,孔和轴的公差带的剖面线的方向应该相反,且疏密程度不同(或孔的公差带用剖面线,而轴的公差带用网点或空白表示)。

例 2-2 已知孔 $\phi 40^{+0.025}_0$, 轴 $\phi 40^{-0.010}_{-0.026}$, 求孔、轴的极限偏差与公差。

解: 1) 公差带图解法

孔的极限尺寸如图: $D_{\max} = 40.025 \text{ mm}$ $D_{\min} = 40 \text{ mm}$

轴的极限尺寸如图: $d_{\max} = 39.990 \text{ mm}$ $d_{\min} = 39.974 \text{ mm}$

其孔、轴公差为: $T_h = 0.025 \text{ mm}$ $T_s = 0.016 \text{ mm}$

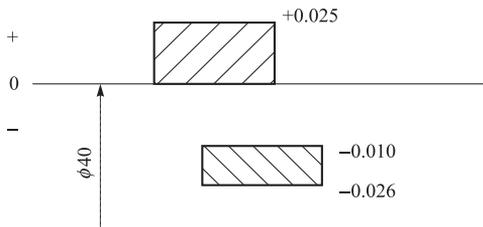


图 2-7 公差带图解法

① 作零线、纵坐标，并标注“0”、“+”、“-”，然后画单箭头，其上标注公称尺寸 $\phi 40$ 。

② 选择适当比例，然后按比例放大画出公差带，标注极限偏差，如图 2-7 所示。

2) 公式法

$$D_{\max} = D + ES = 40 + 0.025 = 40.025 \text{ (mm)}$$

$$D_{\min} = D + EI = 40 + 0 = 40 \text{ (mm)}$$

$$d_{\max} = d + es = 40 - 0.01 = 39.990 \text{ (mm)}$$

$$d_{\min} = d + ei = 40 - 0.026 = 39.974 \text{ (mm)}$$

$$T_h = D_{\max} - D_{\min} = 40.025 - 40 = 0.025 \text{ (mm)}$$

$$T_s = es - ei = -0.01 - (-0.026) = 0.016 \text{ (mm)}$$

五、配合的术语及其定义

1. 配合

公称尺寸相同、相互结合的孔和轴公差带之间的位置关系称为配合。

上述定义说明，相互配合的孔和轴的公称尺寸应该是相同的。孔、轴装配后的松紧程度即装配的性质，取决于相互配合的孔和轴公差带之间的关系。

2. 间隙与过盈

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸为正时是间隙，一般用 X 表示；孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸为负时是过盈，一般用 Y 表示。间隙数值前应标“+”号；过盈数值前应标“-”号。在孔和轴的配合中，间隙的存在是配合后能产生相对运动的基本条件，而过盈的存在是使配合零件位置固定或传递载荷。

3. 配合的种类

根据孔、轴公差带相对位置的不同，配合可分为 3 大类，即间隙配合、过渡配合和过盈配合，如图 2-8 所示。

(1) 间隙配合。

具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合称为间隙配合。

某一规格的一批孔和某一规格的一批轴（孔、轴的公称尺寸相同），任选其中的一对孔、轴，则孔的尺寸总是大于或等于轴的尺寸，其代数差为正值或零，则这批孔与这批轴的配合为间隙配合。当其代数差为零时，则是间隙配合中的一种形式——零间隙。间隙配合时，孔的公差带在轴的公差带之上，如图 2-8 (a) 所示。

由于孔、轴的实际尺寸允许在其公差带内变动，因而其配合的间隙是变动的。当孔为最大极限尺寸而与其相配的轴为最小极限尺寸时，配合处于最松状

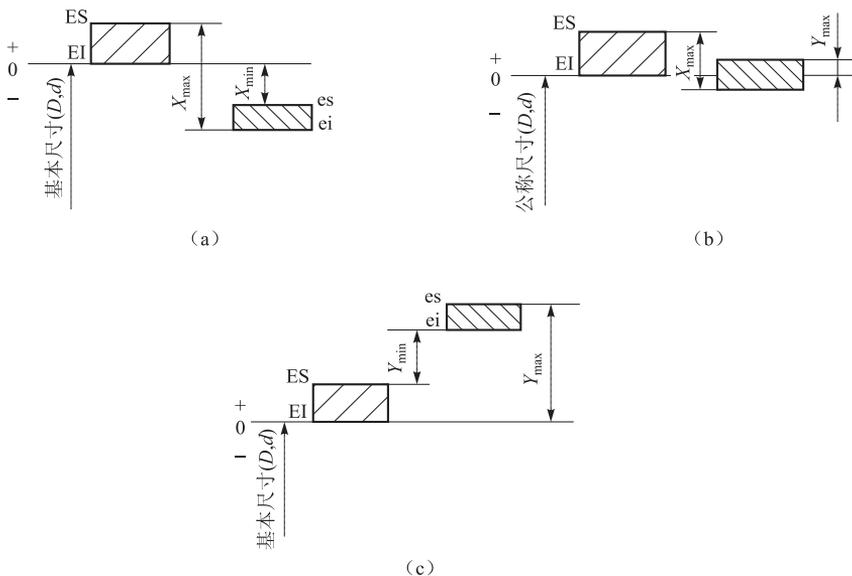


图 2-8 配合的类型

(a) 间隙配合; (b) 过渡配合; (c) 过盈配合

态, 此时的间隙称为最大间隙, 用 X_{max} 表示。在间隙配合中, 最大间隙等于孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸之差, 即:

$$X_{max} = D_{max} - d_{min} = (D + ES) - (d + ei) = ES - ei \quad (2-13)$$

当孔为最小极限尺寸, 而与其相配的轴为最大极限尺寸时, 配合处于最紧状态, 此时的间隙称为最小间隙, 用 X_{min} 表示。在间隙配合中, 最小间隙等于孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸之差, 即:

$$X_{min} = D_{min} - d_{max} = (D + EI) - (d + es) = EI - es \quad (2-14)$$

以上两式说明: 对间隙配合, 最大间隙等于孔的上偏差减去轴的下偏差所得的代数差; 最小间隙等于孔的下偏差减去轴的上偏差所得的代数差。

最大、最小间隙统称为极限间隙, 它是允许间隙的两个极端。在正常的生产中, 两者出现的机会很少。

(2) 过盈配合。

具有过盈 (包括最小过盈等于零) 的配合称为过盈配合。

某一规格的一批孔和某一规格的一批轴 (两者公称尺寸相同), 任取其中一对孔、轴, 则孔的尺寸总是小于或等于轴的尺寸, 其代数差为负值或零, 则这批孔与这批轴的配合为过盈配合。当其代数差为零时, 则是过盈配合中的一种形式——零过盈。过盈配合时, 孔的公差带在轴的公差带之下, 如图 2-8 (c) 所示。

同样, 由于孔、轴的实际尺寸允许在其公差带内变动, 因而其配合的过盈是

变动的。当孔为最小极限尺寸而与其相配的轴为最大极限尺寸时，配合处于最紧状态，此时的过盈称为最大过盈，用 Y_{\max} 表示。在过盈配合中，最大过盈等于孔的最小极限尺寸与轴的最大极限尺寸之差，即：

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = (D + EI) - (d + es) = EI - es \quad (2-15)$$

当孔为最大极限尺寸而与其相配的轴为最小极限尺寸时，配合处于最松状态，此时的过盈称为最小过盈，用 Y_{\min} 表示。在过盈配合中，最小过盈等于孔的最大极限尺寸与轴的最小极限尺寸之差，即：

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = (D + ES) - (d + ei) = ES - ei \quad (2-16)$$

以上两式说明：对过盈配合，最大过盈等于孔的下偏差减去轴的上偏差所得的代数差；最小过盈等于孔的上偏差减去轴的下偏差所得的代数差。

最大过盈与最小过盈统称为极限过盈，它们表示过盈配合中允许过盈变动的两个极端。在正常的生产中，两者出现的机会也是很少的。

零间隙和零过盈都是孔的尺寸减去轴的尺寸所得的代数差等于零时的状态。判断是零间隙还是零过盈，需要看此批孔与轴的配合是属于间隙配合还是过盈配合。如 $EI - es = 0$ ，而 $ES - ei > 0$ ，此时为间隙配合，为零值的代数差表示最小间隙为零，即为零间隙；如 $ES - ei = 0$ ，而 $EI - es < 0$ ，此时为过盈配合，为零值的代数差表示最小过盈为零，即为零过盈。

(3) 过渡配合。

可能具有间隙或过盈的配合称为过渡配合。某一规格的一批孔和某一规格的一批轴（两者公称尺寸相同），任取其中一对孔、轴，则孔的尺寸可能大于、也可能小于或等于轴的尺寸，其代数差可能为正值，也可能为负值或零，则这批孔与这批轴的配合为过渡配合。可以说过渡配合是介于间隙配合与过盈配合之间的一种配合。过渡配合时，孔的公差带与轴的公差带相互交叠，如图 2-8 (b) 所示。

同样，孔、轴的实际尺寸是允许在其公差带内变动的。当孔的尺寸大于轴的尺寸时，具有间隙。当孔为最大极限尺寸，而轴为最小极限尺寸时，配合处于最松状态，此时的间隙为最大间隙。过渡配合中的最大间隙也可用式 (2-13) 计算。当孔的尺寸小于轴的尺寸时，具有过盈。当孔为最小极限尺寸，而轴为最大极限尺寸时，配合处于最紧状态，此时的过盈为最大过盈。过渡配合中的最大过盈也可用式 (2-15) 计算。

过渡配合中也可能出现孔的尺寸减轴的尺寸为零的情况。这个零值可称为零间隙，也可称为零过盈，但它不能代表过渡配合的性质特征，代表过渡配合松紧程度的特征值是最大间隙和最大过盈。

如何根据图样上标注的孔、轴的极限偏差来判断配合的性质是一个比较重要的问题。在配合中只要保证孔下偏差大于或等于轴的上偏差，就必然保证孔的上偏差大于轴的下偏差，即可保证此配合为间隙配合。同样，在配合中只要保证孔

的上偏差小于或等于轴的下偏差，也就必然保证孔的下偏差小于轴的上偏差，即可保证此配合为过盈配合。所以得出，在配合中，孔的下偏差大于或等于轴的上偏差，该配合即为间隙配合；而当孔的上偏差小于或等于轴的下偏差，该配合即为过盈配合，即判断表达式如下： $EI \geq es$ 时，为间隙配合； $ES \leq ei$ 时，为过盈配合；以上两条件均不成立时，为过渡配合。

4. 配合公差

配合公差是指允许间隙或过盈的变动量，用 T_f 表示。

不论是间隙配合、过渡配合或过盈配合，配合公差都等于孔公差与轴公差之和，即：

$$T_f = T_h + T_s \quad (2-17)$$

配合公差一般根据零部件配合部位的配合松紧变动的大小给出。某一配合，其配合公差越大，则配合时形成的间隙或过盈可能出现的差别越大，也就是配合后产生的松紧差别的程度也越大，即配合的精度越低。反之，配合公差越小，间隙或过盈可能出现的差别也越小，其松紧差别的程度也越小，即配合的精度越高。

由于配合公差是允许间隙或过盈的变动量，因而对间隙配合，配合公差等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值；对过盈配合，配合公差等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值；对过渡配合，配合公差等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值。用公式表示如下：

$$\text{间隙配合} \quad T_f = |X_{\max} - X_{\min}| \quad (2-18)$$

$$\text{过盈配合} \quad T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}| \quad (2-19)$$

$$\text{过渡配合} \quad T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| \quad (2-20)$$

式(2-17)与式(2-18)、式(2-19)和式(2-20)之间存在一定的关系，现以间隙配合为例说明：

$$\begin{aligned} T_f &= |X_{\max} - X_{\min}| = |(ES - ei) - (EI - es)| \\ &= |(ES - EI) + (es - ei)| = T_h + T_s \end{aligned}$$

与尺寸公差相似，配合公差也是用绝对值定义的，因而没有正、负的含义，而且其值也不可能为零。式(2-17)说明，配合公差和尺寸公差一样，总是大于零的，配合精度（配合公差）的高低是由相互配合的孔和轴的尺寸精度（尺寸公差）决定的。配合精度要求越高，孔和轴的精度要求也越高，加工越困难，加工成本越高；反之，孔和轴的加工越容易，加工成本越低。设计时，可根据配合公差来确定孔和轴的尺寸公差。

5. 配合公差带

与尺寸公差带相似，在配合公差带图中，由代表极限间隙或极限过盈的两条直线所限定的区域，称为配合公差带。

配合公差带图是以零间隙（零过盈）为零线，用适当比例画出极限间隙或

极限过盈，以表示间隙或过盈允许变动范围的图形，如图 2-9 所示。通常，零线水平放置，零线以上表示间隙，零线以下表示过盈。因此，配合公差带完全在零线之上为间隙配合；完全在零线以下为过盈配合；跨在零线上、下两侧则为过渡配合。

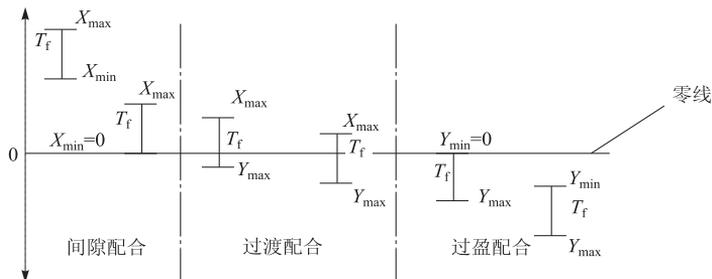


图 2-9 配合公差带图

配合公差带的大小取决于配合公差的大小，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。前者表示配合精度，后者表示配合的松紧。

一对具体孔、轴所形成的结合是否满足使用要求，即是否合用，就看其装配以后的实际间隙 (X_a) 或实际过盈 (Y_a) 是否在配合公差带之内。结合的合用条件表示如下：

对间隙配合： $X_{\max} > X_a > X_{\min}$ 。

对过盈配合： $Y_{\max} > Y_a > Y_{\min}$ 。

对过渡配合： $X_a < X_{\max}$ 或 $Y_a < Y_{\max}$ 。

由合格的孔、轴组成的结合一定合用，且具有互换性；而不合格的孔、轴也可能组成合用的结合，满足使用要求，但不具有互换性。

这样由三类配合可知：

最小间隙，即在间隙配合中，孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸之差。

最大间隙，即在间隙配合或过渡配合中，孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸之差。

最小过盈，即在过盈配合中，孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸之差。

最大过盈，即在过盈配合或过渡配合中，孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸之差。

例 2-3 若已知某配合的公称尺寸为 $\phi 60$ 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 $T_h = 30 \mu\text{m}$ ，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，说明配合类别。

解：求孔和轴的极限偏差

由 $T_f = T_h + T_s$ 得：

$$T_s = T_f - T_h = 49 - 30 = 19 \quad (\mu\text{m})$$

由 $T_s = es - ei$ 得:

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

由 $X_{\max} = ES - ei$ 得:

$$ES = ei + X_{\max} = 11 + 19 = 30 \quad (\mu\text{m})$$

由 $T_h = |ES - EI|$ 得:

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

由于 $EI \geq es$ 与 $ES \leq ei$ 两个条件均不成立, 故此配合为过渡配合。

$$Y_{\max} = X_{\max} - T_f = 19 - 49 = -30 \quad (\mu\text{m})$$

其配合的尺寸公差带图和配合公差带图如图 2-10 所示。

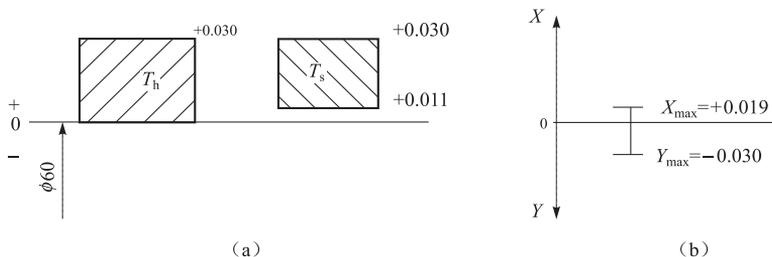


图 2-10

(a) 尺寸公差带图; (b) 配合公差带图

拓展知识

平均盈隙

所谓“平均盈隙”, 举例说明, 是指在制造的一批零件中, 任取一件齿轮轴的轴颈与任取的一件泵盖孔相配合时, 均能获得接近平均间隙的间隙值。如果产品上所有的结合零件副都能实现“平均盈隙”的互换性装配, 便可大大提高产品的质量, 而且还可以稳定地进行生产。要实现一批产品零件的“平均盈隙”装配, 唯一的办法就是在制造时, 要求设备和工装能够按照齿轮轴轴颈与泵盖孔各自公差所确定的平均尺寸进行快速的调整和控制。

实际生产中, 平均盈隙更能体现配合性质。三种配合的平均盈隙的计算公式分别为:

1. 间隙配合

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

2. 过盈配合

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

3. 过渡配合

实际生产中, 其平均松紧程度可能是平均间隙, 也可能是平均过盈。

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

课后练习

1. 简述公称尺寸、实际尺寸和极限尺寸的区别和联系。
2. 什么是孔、轴？它们有何区别？
3. 简述尺寸公差与极限偏差之间的区别和联系。
4. 何谓公差带？它由哪两个要素组成？
5. 什么叫配合？配合分哪几类，各是如何定义的？各类配合中其孔、轴的公差带相互位置怎么样？
6. 什么叫配合公差？试写出几种配合公差的计算式。
7. 计算下表中空格处数值，并按规定填写在表中（单位 mm）。

公称尺寸	最大极限尺寸	最小极限尺寸	上偏差	下偏差	公差	尺寸标注
孔 $\phi 12$	12.050	12.032				
轴 $\phi 60$			+0.072		0.019	
孔 $\phi 30$		20.959			0.021	
轴 $\phi 80$			-0.010	-0.056		
孔 $\phi 50$				-0.034	0.039	
孔 $\phi 40$						$\phi 40 \begin{smallmatrix} +0.014 \\ -0.011 \end{smallmatrix}$
轴 $\phi 70$	69.970				0.074	

8. 计算下列孔和轴的尺寸公差，并分别绘出尺寸公差带图解。
 - (1) 孔 $\phi 50 \begin{smallmatrix} +0.025 \\ 0 \end{smallmatrix}$ 。
 - (2) 轴 $\phi 45 \begin{smallmatrix} -0.050 \\ -0.089 \end{smallmatrix}$ 。
 - (3) 孔 $\phi 125 \begin{smallmatrix} +0.041 \\ -0.022 \end{smallmatrix}$ 。
 - (4) 轴 $\phi 80 \begin{smallmatrix} +0.015 \\ +0.059 \end{smallmatrix}$ 。
9. 下列各组配合，已知表中的数值（单位 mm），用计算法解算空格中的数值，并填入表中。

基本尺寸	孔			轴			X_{\max} 或 Y_{\min}	X_{\min} 或 Y_{\max}	T_f
	ES	EI	T_h	es	ei	T_s			
$\phi 50$		0				0.039	+0.103		0.078
$\phi 25$			0.021	0			-0.014	-0.048	
$\phi 65$		0				0.019		-0.039	0.049
$\phi 80$	+0.005		0.046	0			+0.035		
$\phi 45$			0.025	0			-0.009	-0.050	

10. 绘出下列三对孔、轴配合的尺寸公差带图，并分别计算它们的极限间隙或极限过盈及配合公差，指出配合的种类，画出配合公差带图。

(1) 孔 $\phi 20^{+0.033}_0$ ，轴 $\phi 20^{-0.065}_{-0.086}$ 。

(2) 孔 $\phi 35^{+0.007}_{-0.018}$ ，轴 $\phi 35^0_{-0.016}$ 。

(3) 孔 $\phi 55^{+0.030}_0$ ，轴 $\phi 55^{+0.060}_{+0.041}$ 。

课题三 极限制与配合制

学习目标

1. 熟悉标准公差系列、基本偏差系列、公差及配合代号，并能熟练进行查表计算。
2. 理解极限制与配合制的概念。
3. 理解规定基准制的意义，掌握基孔制与基轴制的概念。

知识学习

为实现互换性生产和满足一般的使用要求，在机械制造业中常用的尺寸大多都小于 500 mm（最常用的是光滑圆柱体的直径），该尺寸段在一般工业中应用得最为广泛。本书仅对常用尺寸为小于或等于 500 mm 的尺寸段进行介绍。

极限与配合的国家标准是由标准公差系列和基本偏差系列两部分构成。标准公差用于确定公差带的大小，基本偏差用于确定公差带的位置。

一、标准公差系列（公差带的大小）

公差值的大小确定了尺寸允许变化的变动量即公差带的宽窄，它反映了尺寸的精度和加工难易程度。《极限与配合》标准已对公差值进行标准化，标准中所规定的任一公差称为标准公差。由若干标准公差所组成的系列称为标准公差系列，它以表格形式列出，称为标准公差数值表，标准公差的数值与两个因素有关：标准公差等级和公称尺寸分段。

1. 公差等级是确定尺寸精确程度的等级

国家标准将公称尺寸至 500 mm 的公差等级分为 20 级，由公差代号 IT 和公差等级数字 01, 0, 1, 2, …, 18 组成。例如，IT8 表示 8 级标准公差。从 IT01 至 IT18 等级精度依次降低，相应的公差数值依次增大，加工越容易。

公差等级高，零件的精度高，使用性能提高，但加工难度大，生产成本低；公差等级低，零件精度低，使用性能低，但加工难度减小，生产成本降

低。因而要同时考虑零件的使用要求和加工的经济性能这两个因素，合理确定公差等级。

2. 标准公差因子 i

标准公差因子(单位: μm)是制定标准公差数值表的基础, 在尺寸 $\leq 500 \text{ mm}$ 时

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D \quad (2-21)$$

式中 D 为公称尺寸段的几何平均值, mm 。

3. 标准公差值

标准公差值是指允许尺寸误差变动的范围。与加工方法、零件的公称尺寸等有关。

其公式为:

$$IT = ai = a (0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D) \quad (2-22)$$

式中 D 为公称尺寸, mm ;

i 为标准公差因子;

a 为公差等级系数。

标准公差的公差值主要是测量误差等影响, 通过标准公差计算公式(表 2-1)求得; 除了 IT5 的公差等级系数 $a = 7$ 以外, 从 IT6 开始, 公差等级系数采用 R5 系列, 每隔 5 级, 公差数值增加 10 倍。

表 2-1 标准公差计算式 (GB/T 1800.1—2009)

公差等级	IT01			IT0			IT1		IT2		IT3		IT4	
公差值	$0.3 + 0.008D$			$0.5 + 0.012D$			$0.8 + 0.020D$		$IT1 \left(\frac{IT5}{IT1} \right)^{\frac{1}{4}}$		$IT1 \left(\frac{IT5}{IT1} \right)^{\frac{1}{2}}$		$IT1 \left(\frac{IT5}{IT1} \right)^{\frac{3}{4}}$	
公差等级	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
公差值	$7i$	$10i$	$16i$	$25i$	$40i$	$64i$	$100i$	$160i$	$250i$	$400i$	$640i$	$1\ 000i$	$1\ 600i$	$2\ 500i$

4. 尺寸分段

根据标准公差计算式, 每有一个公称尺寸就应该有一个相对应的公差值。但在实际生产中公称尺寸很多, 因而就会形成一个庞大的公差数值表, 给企业的生产带来不少麻烦, 同时不利于公差值的标准化、系列化。为了减少标准公差数目, 统一公差值, 简化公差表格, 便于生产实际的应用, 国家标准对公称尺寸进行了分段, 见表 2-2。在同一尺寸分段内, 公差等级相同的所有尺寸, 其标准公差因子都相同。尺寸分段后按首尾两个尺寸 (D_1 和 D_2) 的几何平均值作为 D 值 ($D = \sqrt{D_1 \times D_2}$) 代入式 (2-21) 和式 (2-22) 中来计算公差值。

表 2-2 公称尺寸分段 (GB/T 1800.1—2009)

mm

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			200	225
6	10	—	—	50	80	50	65	250	315	250	280
10	18	10	14			65	80			280	315
		14	18	80	100	315	400	355	400		
18	30	18	24	120	180	120	140	400	500	400	450
						140	160			450	500
						160	180				

在表 2-2 中,一般使用的是主段落,对于间隙或过盈比较敏感的配合,可以使用分段比较密的中间段落。在常用尺寸段中主段有 13 段,其中有些主段中还有中间段落。

例 2-4 求公称尺寸为 $\phi 30$, IT6、IT7 的公差值。

解: 由表 2-2 可知 30 处于 18~30 尺寸段:

$$D = \sqrt{D_1 \times D_2} = \sqrt{18 \times 30} = 23.24$$

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D = 0.45 \sqrt[3]{23.24} + 0.001 \times 23.24 = 1.31 \text{ (}\mu\text{m)}$$

查表 2-1 得

$$\text{IT6} = 10i \quad \text{IT7} = 16i$$

$$\text{IT6} = 10i = 10 \times 1.31 = 13.1 \approx 13 \text{ (}\mu\text{m)}$$

$$\text{IT7} = 16i = 16 \times 1.31 = 20.96 \approx 21 \text{ (}\mu\text{m)}$$

由上例可知,计算得出公差数值的尾数要经过科学地圆整,从而编制出标准公差数值表,见表 2-3。

表 2-3 标准公差数值表 (GB/T 1800.3—2009)

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	100	140	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
$>3 \sim 6$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	0.30	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	60	150	220	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2

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
>10 ~18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
>18 ~30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	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	250	390	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	300	460	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	350	540	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
>120 ~180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	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	460	720	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	520	810	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	570	890	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	630	970	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7

注：1 mm 以下无 IT14 ~ IT18。尺寸大于 500 mm 的 IT1 至 IT5 的标准公差值为试行。

二、基本偏差系列（公差带的位置）

在对公差带的大小进行了标准化后，还需对公差带相对于零线的位置进行标准化。

1. 基本偏差

基本偏差是国家标准表格中所列的用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差，一般是指靠零线最近的那个偏差。也就是说，当公差带在零线以上时，规定下偏差（EI 或 ei）为基本偏差；当公差带在零线以下时，规定上偏差（ES 或 es）为基本偏差。为了满足各种不同配合的需要，满足生产标准化的要求，必须设置若干基本偏差并将其标准化，标准化的基本偏差组成基本偏差系列。

2. 基本偏差的代号

GB/T 1800.1—2009 对孔和轴分别规定了 28 种基本偏差，其代号用拉丁字母表示。大写代表孔，小写代表轴。在 26 个字母中，除去易混淆的 I、L、O、Q、W (i、l、o、q、w) 等 5 个字母，国家标准规定采用 21 个，再加上 7 个双写字母 CD、EF、FG、JS、ZA、ZB、ZC (cd、ef、fg、js、za、zb、zc)，共有 28 种基本偏差代号。构成孔（或轴）的基本偏差系列，反映 28 种公差带相对于零线的位置。如图 2-11 所示。

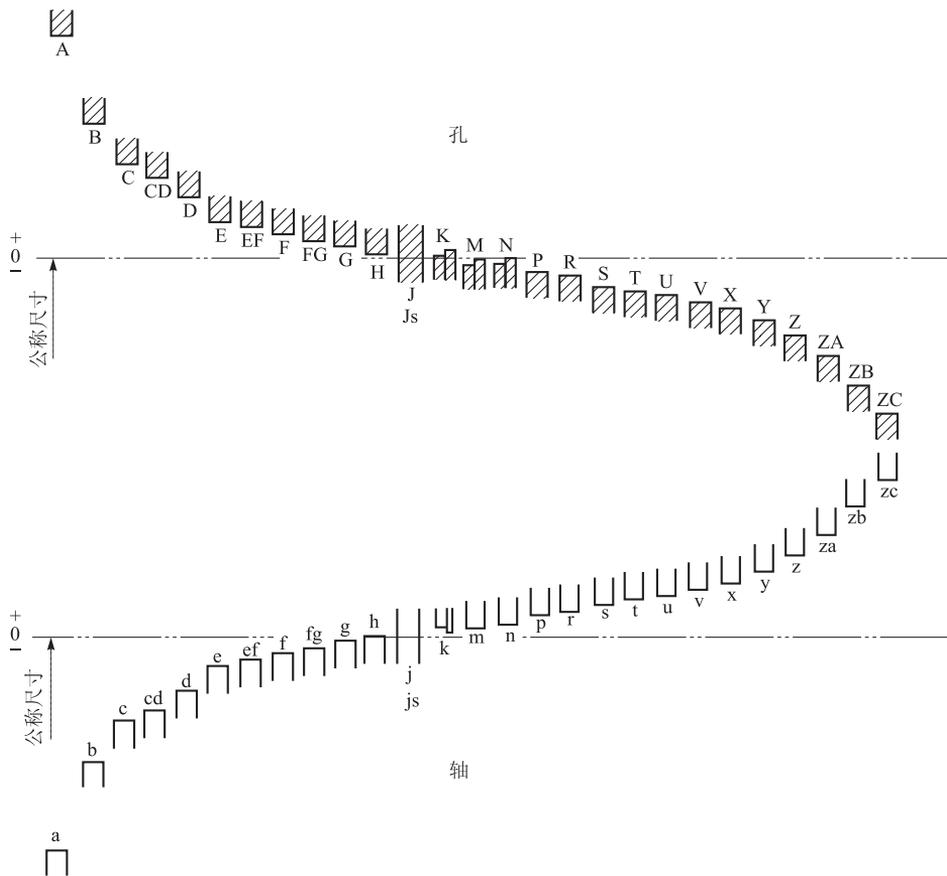


图 2-11 基本偏差系列图

3. 基本偏差系列的特点

(1) H 的基本偏差为 $EI = 0$ ，公差带位于零线之上；h 的基本偏差为 $es = 0$ ，公差带位于零线之下；J (j) 与零线近似对称；JS (js) 与零线完全对称。

(2) 对于孔：A ~ H 的基本偏差为下偏差 EI，其绝对值依次减小；J ~ ZC 的基本偏差为上偏差 ES，其绝对值依次增大 (J、JS 除外)。

对于轴：a ~ h 的基本偏差为上偏差 es，其绝对值依次减小；j ~ zc 的基本偏

差为下偏差 e_i (j 、 js 除外), 其绝对值依次增大。

由图 2-11 可知, 公差带一端是封闭的, 而另一端是开口的, 其封闭开口公差带的长度取决于公差等级的高低 (或公差值的大小), 这正体现了公差带包含标准公差和基本偏差这两个因素。从图 2-11 还可以看出, 孔的基本偏差分布与轴的基本偏差成倒影关系。

(3) JS 和 js 为完全对称偏差, 在各个公差等级中完全对称于零线分布, 因此其基本偏差可为上偏差 $+IT/2$, 也可为下偏差 $-IT/2$ 。

(4) 在基本偏差系列图中只画出了公差带属于基本偏差的一端, 另一端是开口的, 它取决于各级标准公差的宽窄。当基本偏差确定后, 按公差等级确定标准公差 IT , 另一极限偏差即可按下列关系式计算:

$$\text{轴} \quad es = ei + IT \quad \text{或} \quad ei = es - IT$$

$$\text{孔} \quad ES = EI + IT \quad \text{或} \quad EI = ES - IT$$

这是极限偏差和标准公差的关系式。

例 2-5 确定 $\phi 35H7$ 的极限偏差。

解: 由表 2-3 查得标准公差 $IT7 = 25 \mu\text{m}$, 因为孔 H 的基本偏差 $EI = 0$, 则另一偏差 $ES = EI + IT = 0 + 25 = +25 (\mu\text{m})$, 故可表达为 $\phi 35H7 (+0.025)$ 。

4. 基本偏差的数值

1) 轴的基本偏差数值

公称尺寸 $\leq 500 \text{ mm}$ 的基本偏差是以基孔制配合为基础, 按照各种配合要求, 再根据生产实践经验和统计分析结果得出的一系列公式经计算后圆整成尾数而得出列表值, 如表 2-4 所列。

2) 孔的基本偏差数值

公称尺寸 $\leq 500 \text{ mm}$ 孔的基本偏差数值都是由相应代号轴的基本偏差数值按一定规则换算得到的。

通用规则: 同一字母表示的孔、轴的基本偏差的绝对值相等, 而符号相反, 即对于所有公差等级的 A ~ H, $EI = -es$; 对于标准公差大于 $IT8$ 的 K、M、N 和大于 $IT7$ 的 P ~ ZC, $ES = -ei$ 。但其中也有例外, 对于标准公差大于 $IT8$ 、公称尺寸大于 3 mm 的 N 孔, 其基本偏差 $ES = 0$ 。

特殊规则: 对于标准公差小于等于 $IT8$ 的 K、M、N 和小于等于 $IT7$ 的 P ~ 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 ——孔的标准公差;

$IT_{(n-1)}$ ——比孔高一级的轴的标准公差。

按照两个规则换算的孔的基本偏差数值见表 2-5。

三、极限制与配合制的概念

1. 极限制

孔、轴的配合是否满足使用要求，主要看是否可以保证极限间隙或极限过盈的要求。显然，满足同一使用要求的孔、轴公差带的大小和位置是无限多的，如果不对满足同一使用要求的孔轴公差带的大小和位置作出统一规定，将会给生产过程带来混乱，不利于工艺过程的经济性，也不便于产品的使用和维修。因此，应该对孔、轴尺寸公差带的大小和公差带的位置进行标准化。

极限制是指经标准化的公差与偏差制度。它是一系列标准的孔轴公差数值和极限偏差数值。

2. 配合制

配合制是指同一极限制的孔和轴组成配合的一种制度。

根据配合的定义和三类配合的公差带图解可以知道，配合的性质由孔、轴公差带的相对位置决定，因而改变孔和（或）轴的公差带位置，就可以得到不同性质的配合。从理论上讲任何一种孔的公差带和任何一种轴的公差带都可以形成一种配合，但实际上并不需要同时变动孔、轴的公差带，只要固定一个，改变另一个，既可得到满足不同使用性能要求的配合，又便于生产加工。因此，国标对孔和轴公差带之间的相互位置关系，规定了两种基准制，即基孔制和基轴制。

(1) 基孔制配合。

基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度，称为基孔制，如图 2-12 所示。

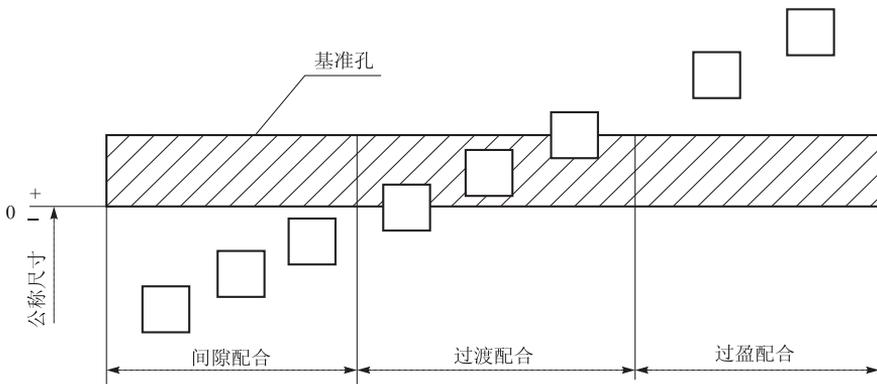


图 2-12 基孔制中孔和轴的公差带位置

从图 2-12 可知，基孔制是将孔的公差带位置固定不变，而变动轴的公差带位置。基孔制的孔称为基准孔，也称为配合中的基准件，用 H 表示。标准规定基准孔的公差还位于零线的上方，其基本偏差为下偏差，数值为零，即 $EI = 0$ 。

(2) 基轴制配合。

基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度，称为基轴制，如图 2-13 所示。

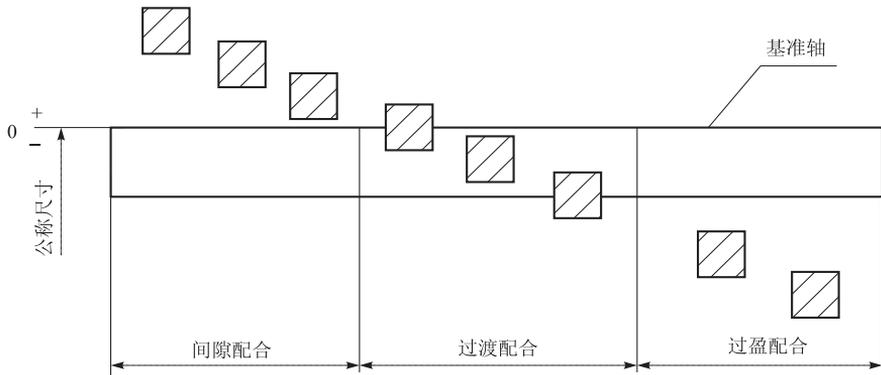


图 2-13 基轴制中轴和孔的公差带位置

从图 2-13 可知，基轴制是将轴的公差带位置固定不变，而变动孔的公差带位置。基轴制的轴称为基准轴，也称为配合中的基准件，用 h 表示。标准规定基准轴的公差带位于零线的下方，其基本偏差为上偏差，数值为零，即 $es = 0$ 。

基孔制配合和基轴制配合是规定配合系列的基础。按照孔、轴公差带相对位置的不同，基孔制和基轴制配合是规定配合系列的基础。按照孔、轴公差带相对位置的不同，基孔制和基轴制都有间隙配合、过渡配合和过盈配合三类配合。

四、极限与配合在图样上的标注

1. 公差带代号

对于公称尺寸一定的孔和轴，若给定基本偏差代号和公差等级，则其公差带的位置和大小即可完全确定。标准规定，在基本偏差之后加注公差等级代号（数字），称为公差带代号，如 $H8$ 、 $F8$ 、 $D9$ 等为孔的公差带代号； $h7$ 、 $f7$ 、 $k6$ 等为轴的公差带代号。若指某一确定尺寸的公差带，则公称尺寸标在公差代号之前，如 $\phi 20F8$ 、 $\phi 20h7$ 等。

2. 配合代号

将配合的孔、轴公差带代号写成分数形式，分子为孔的公差带代号，分母为轴的公差带代号，称为配合代号，如 $H8/f7$ 、 $K7/h6$ 、 $\frac{H9}{h9}$ 等。若指某一确定公称尺寸的配合，则公称尺寸在配合代号之前，如 $\phi 50H8/f7$ 或 $\phi 50 \frac{H8}{f7}$ 。

3. 极限与配合在图样上的标注

(1) 孔和轴的公差带在零件图上的标注如图 2-14 所示，主要标注上下偏

差数值，也可附注基本偏差代号及公差等级。

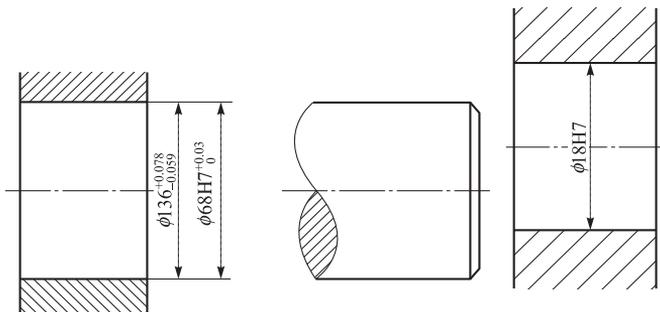


图 2-14 零件图上的标注

(2) 孔和轴的公差带在装配图上标注如图 2-15 所示，主要标注配合代号，即标注孔、轴的基本偏差代号及公差等级，也可附注上下偏差数值。

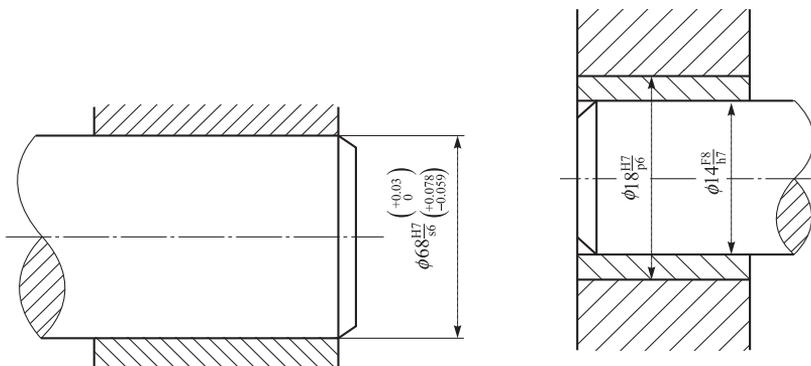


图 2-15 装配图上的标注

拓展知识

(1) 孔、轴的各种基本偏差与极限偏差的关系，可参看图 2-16。

(2) 查极限偏差数值的步骤和方法：

① 根据基本偏差的代号确定是查孔（或轴）的基本偏差数值表。

② 在基本偏差数值表中找到基本偏差代号，再从基本偏差代号下找到公差等级数字所在的列。

③ 根据公称尺寸段所在的行，则行和列的相交处，就是所要查的极限偏差数值。

例 2-6 查 $\phi 70f8$ 的极限偏差。

解：第一步： f 为小写字母，应查轴的基本偏差数值表（表 2-4）。

第二步：找到基本偏差 f 下公差等级为 8 的一列。

② 标注极限偏差值，在公称尺寸后面标注极限偏差，如图 2-18 (b) 所示。

③ 标注与标准件（如滚动轴承）配合的零件（轴或孔）的配合要求时，可只标注零件的公差带代号，如图 2-18 (c) 所示。

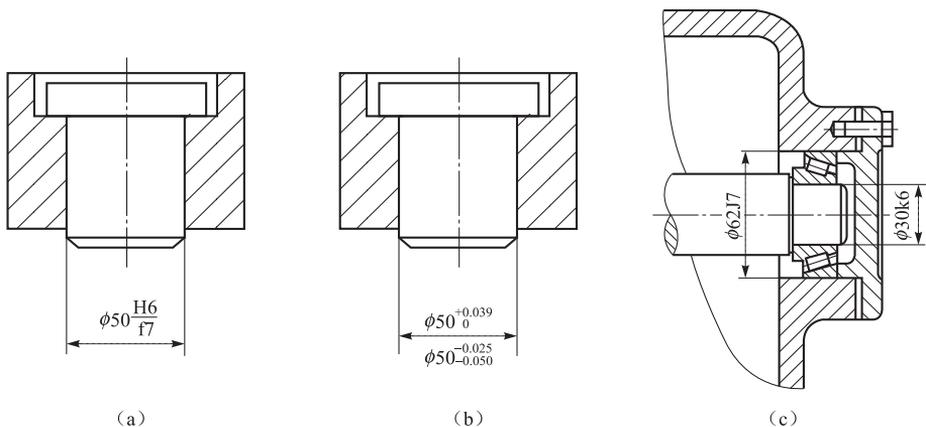


图 2-18 配合代号的三种标注方法

课后练习

1. 极限与配合的国家标准是由哪两部分组成的？分别用于确定公差带的大小和位置。

2. 简述极限制和配合制的概念。

3. 什么是基孔制配合与基轴制配合？为什么要规定基准制？

4. 更正下列标注的错误：

$$\phi 60 \begin{matrix} -0.052 \\ -0.033 \end{matrix}; \phi 30 \begin{matrix} -0.021 \\ 0 \end{matrix}; \phi 50 \frac{f7}{H8}; \phi 60H8 \begin{matrix} +0.032 \\ 0 \end{matrix}.$$

5. 查表计算下列配合的极限间隙或极限过盈，并画出孔、轴的公差带图，说明各属于哪种配合？

$$\phi 20H8/f7; \phi 18H7/r6; \phi 45K/h6; \phi 50H7/js6; \phi 25H7/h6; \phi 20H7/p6.$$

课题四 孔、轴公差带与配合的标准化

学习目标

1. 了解优先、常用和一般用途公差带。
2. 初步掌握优先和常用配合。

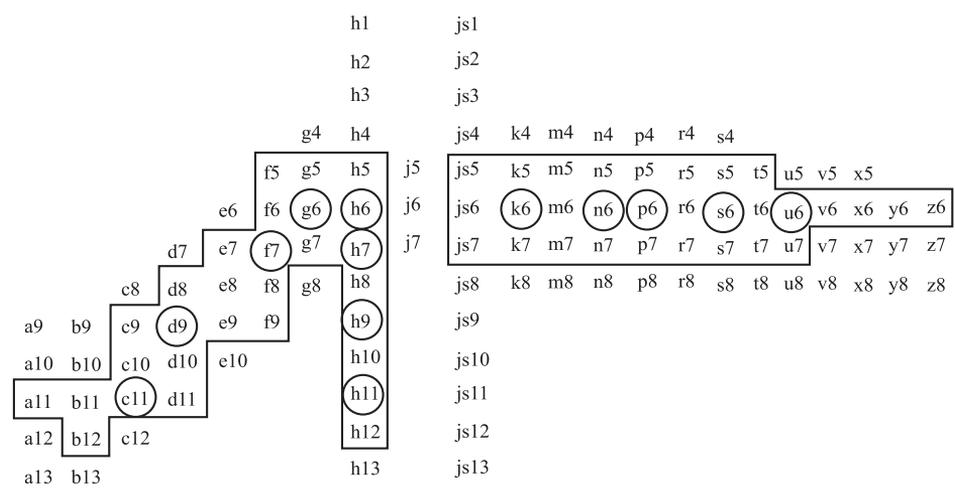


图 2-20 尺寸不大于 500 mm 轴的一般、常用和优先公差带

表 2-6 基孔制常用、优先配合

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					$\frac{H8}{e7}$	$\frac{H8}{f7}$	$\frac{H8}{g7}$	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{js7}$	$\frac{H8}{k7}$	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$	$\frac{H8}{p7}$	$\frac{H8}{r7}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H8}{t7}$	$\frac{H8}{u7}$				
				$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$	$\frac{H8}{g8}$	$\frac{H8}{h8}$													
H9			$\frac{H9}{c9}$	$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$	$\frac{H9}{g9}$	$\frac{H9}{h9}$													
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		$\frac{H12}{b12}$						$\frac{H12}{h12}$													

注：(1) $\frac{H6}{n5}$ 、 $\frac{H7}{p6}$ 在公称尺寸 ≤ 3 mm 和 $\frac{H8}{r7}$ 的公称尺寸 ≤ 100 mm 时，为过渡配合。
 (2) 标注 \blacktriangledown 符号者为优先配合。

表 2-7 基轴制常用、优先配合

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						$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{JS6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{R6}{h5}$	$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$						
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					$\frac{E8}{h7}$	$\frac{F8}{h7}$		$\frac{H8}{h7}$	$\frac{JS8}{h7}$	$\frac{K7}{h7}$	$\frac{M7}{h7}$	$\frac{N7}{h7}$										
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：标注 \blacktriangledown 符号者为优先配合。

课后练习

1. 国家标准对孔和轴分别规定了多少种公差带？
2. 国标在規定孔、轴公差带选用的基础上，规定了公称尺寸不大于 500 mm 的基孔制优先配合多少种，规定了基轴制常用配合多少种？

课题五 极限与配合的应用原则

学习目标

1. 初步掌握公差与配合的选用原则及方法，为合理选用尺寸公差与配合、进行尺寸精度设计打下基础。
2. 明确极限与配合的选择就是配合制、公差等级和配合种类的选择。

知识学习

在机械制造业中，合理地选择极限与配合是非常重要的，它对提高产品的性能、质量，以及降低制造成本都有重大的作用。极限与配合的选择就是配合制、公差等级和配合种类的选择。

一、配合制的选择

前面讲过，用同一字母的大小写分别表示孔和轴的基本偏差所形成的公差带，按基孔制组成的配合与按基轴制组成的配合，其配合性质是相同的，因而从满足配合性质这点讲，基孔制和基轴制是完全等效的。但从加工工艺、经济性能、零件结构、采用标准件等方面考虑，选择不同的配合制，情况是不相同的。

1. 优先选用基孔制配合

因中小尺寸的孔多采用定值刀具（如钻头、铰刀、拉刀等）加工，用定值量具（如极限量规）检验，所以一种规格的定值刀具、量具只能加工或检测一种规格的孔，而轴的加工却不存在此类问题。若采取基孔制，可大大减少孔的极限尺寸的种类，从而减少定值刀具、量具的规格，有利于刀具和量具的标准化和系列化，从而降低生产成本，获得显著的经济效益。

2. 特殊场合采用基轴制配合

(1) 在纺织机械、农业机械、仪器仪表中，经常直接采用一些精度较高的 (IT8 ~ IT11) 冷拉钢材做轴，不必加工。此时选用基轴制配合，只需对孔进行加工，因而较为经济合理。

(2) 有些零件由于结构或工艺上的原因，必须采用基轴制。例如，发动机的活塞连杆机构，如图 2-21 所示，活塞销与活塞的两个销孔的连接要求定位准确，为此采用过渡配合 (M6/h5)；而活塞销与连杆衬套孔之间有相对运动（相对摆动），为此采用间隙配合 (H6/h5)。如采用基孔制配合，如图 2-22 (a) 所示，则活塞的两个销孔和连杆衬套孔的公差带相同，而为了满足两种不同的配合要求，必须把活塞销按两种公差带加工成“阶梯轴”，这给加工和装配造成很大的困难。若改用基轴制，则活塞销按一种公差带加工，制成如图 2-22

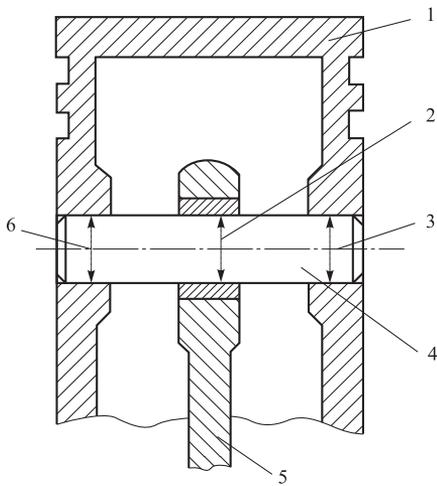


图 2-21 活塞与活塞及连杆头衬套孔的配合

1—活塞；2—间隙配合；3，6—过渡配合；

4—活塞销；5—连杆

(b) 所示的光轴，而活塞的两个销孔和连杆衬套孔按不同的公差带加工，从而获得两种不同的配合。这样即保证装配的质量，又不会给加工带来困难，所以，在这种情况下应采用基轴制。

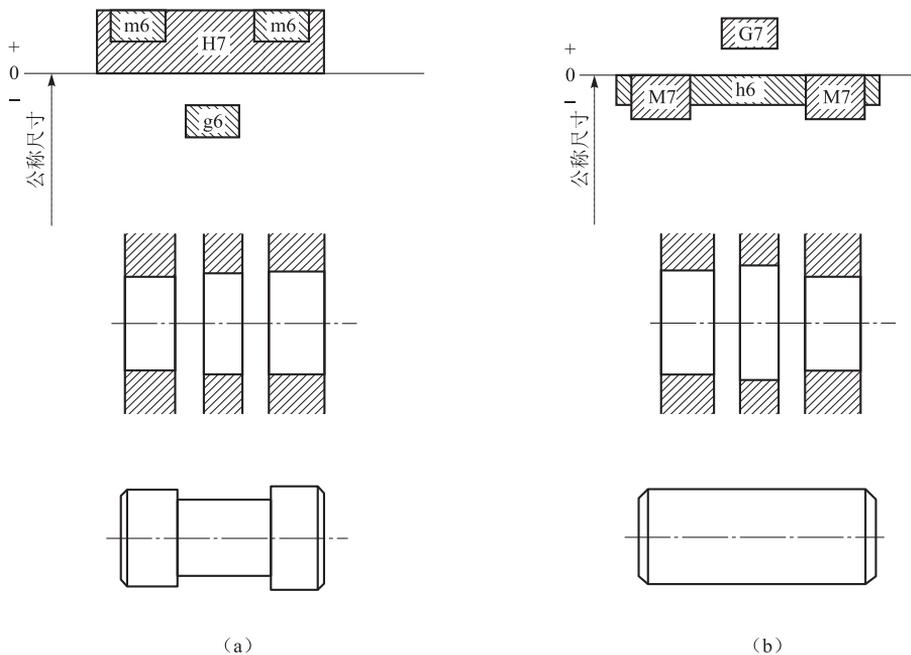


图 2-22 活塞销配合基准的选用

(a) 采用基孔制；(b) 采用基轴制

3. 与标准件配合时，必须按标准件的规定选择基准制

如滚动轴承外圈与壳体孔的配合时，因滚动轴承为标准件，故必须采用基轴制。同理滚动轴承内圈与轴配合时，应采用基孔制。

4. 需要时可选择非基准制混合配合

非基准制混合配合是指相配合的两个零件既不是基准孔，也不是基准轴。当一个孔与几个轴相配合，或一个轴与几个孔相配合，其配合性质又各不相同，有的配合采用非基准制的配合较为合理。如图 2-23 (a) 所示的隔套是将两个滚动轴承隔开，以提高刚性，作轴身定位用，为使安装方便，隔套与齿轮轴的配合应选用间隙配合。由于齿轮轴与滚动轴承的配合已按基孔制选定 js6 公差带，因此隔套内孔公差带只有选用非基准配合，如图 2-23 (b) 所示，才能获得间隙配合。

又如图 2-24 所示轴承端盖与孔的配合为 $\phi 110J7/\text{f9}$ ，挡环孔与轴的配合 $\phi 50F8/k6$ 两处皆为非基准制混合配合。原因是此二处从功能分析，定心要求低，为方便装配应选用间隙配合，而选用基轴制的孔是不能满足上述要求的。

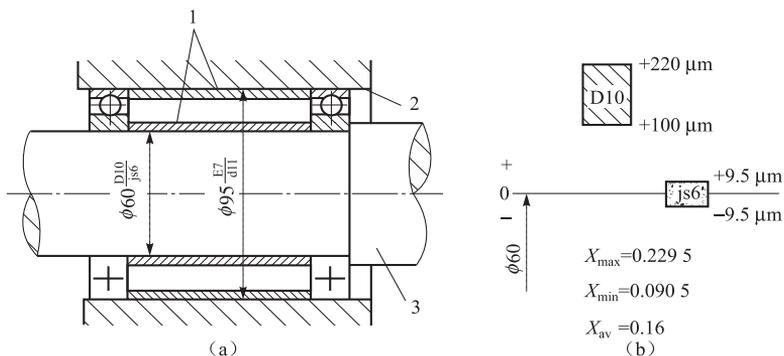


图 2-23 非基准制混合配合

1—隔套；2—主轴箱孔；3—齿轮轴轴

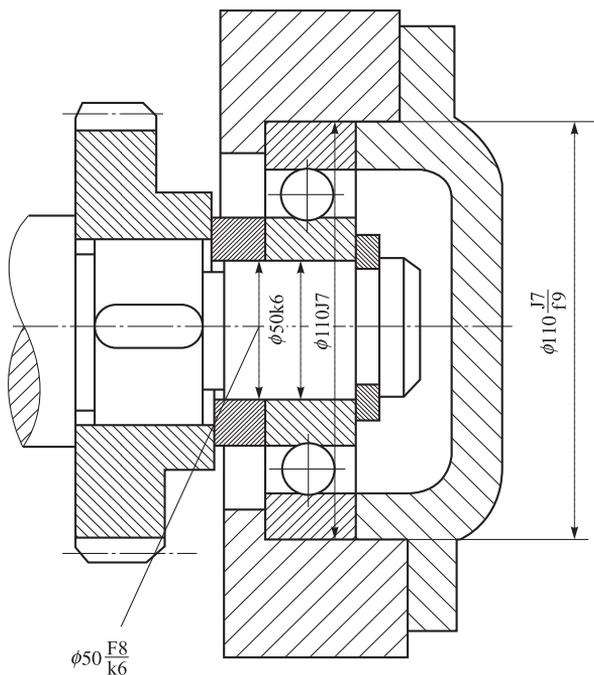


图 2-24 非基准制混合配合

二、公差等级的选择

选择标准公差等级就是要正确处理零件的使用要求与制造工艺的复杂程度及成本之间的矛盾。公差等级选择过低，零件加工容易，生产成本低，但零件的使用性能也较差；公差等级选择过高，零件的使用性能虽好，但零件加工困难，且生产成本低。所以，必须综合考虑使用性能和经济性能两方面的因素，正确合理地选择公差等级。

选择公差等级的基本原则是在满足使用要求的前提下, 尽量选取低的公差等级。

公差等级的选用, 目前大多数情况下采用类比的方法, 即参考经过实践证明是合理的典型产品的公差等级, 结合待定零件的配合、工艺和结构等特点, 经分析对比后确定公差等级。用类比法选择公差等级时, 应掌握各个公差等级的应用范围、配合尺寸公差等级的选择和各种加工方法所能达到的公差等级, 具体见表 2-8、表 2-9 和表 2-10。

表 2-8 公差等级的主要应用范围

应用	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			√	√	√	√	√	√	√												
配合尺寸							√	√	√	√	√	√	√	√							
特别精密的配合				√	√	√	√														
非配合尺寸														√	√	√	√	√	√	√	√
原材料尺寸										√	√	√	√	√	√	√					

表 2-9 配合尺寸公差等级的应用范围

公差等级	应用
IT5	用于配合公差、形状公差要求很小的地方, 其配合性质稳定, 一般用在机床、发动机、仪表等重要部位, 如机床主轴与精密滚动轴承的配合、发动机活塞销与连杆和活塞孔的配合
IT6	配合性能可达到较高的均匀性, 主要用在与滚动轴承相配合的孔、轴、齿轮、蜗轮、联轴器、皮带轮、凸轮等连接的轴径、机床丝杠轴径、6 级精度齿轮的基准孔、7 和 8 级精度齿轮基准轴径
IT7	IT7 精度比 IT6 稍低、应用条件与 IT6 基本相似, 在一般机械中应用较为广泛, 如联轴器、皮带轮、凸轮等孔径、夹具中固定钻套、7 和 8 级齿轮基准孔、9 和 10 级齿轮基准轴
IT8	IT8 在机械制造中属于中等精度, 在一般机械中应用也较广泛, 如 9 ~ 12 级齿轮基准孔、11 和 12 级齿轮基准轴等

续表

公差等级	应用
IT9 ~ IT10	用于一般要求, 或长度精度要求较高的配合, 如轴套的外径与内孔、轴、单键与花键等
IT11 ~ IT13	用于各种没有严格要求, 只要求便于连接的配合。例如, 螺栓和螺孔、铆钉和孔等的配合

表 2-10 各种加工方法所能达到的公差等级

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							√	√	√											
拉销							√	√	√	√										
铰孔								√	√	√	√	√								
车									√	√	√	√	√							
镗									√	√	√	√	√							
铣										√	√	√	√							
刨、插												√	√							
钻孔												√	√	√	√					
滚压、挤压												√	√							
冲压												√	√	√	√	√				
压铸													√	√	√	√				
粉末冶金烧结									√	√	√	√								
砂型铸造、气割																		√	√	√
锻造																	√	√		

用类比法选择公差等级时，还应考虑以下几个方面。

1. 工艺等价原则

工艺等价原则是指使相配合的孔、轴加工难易程度相当。对于间隙配合和过渡配合，公称尺寸 ≤ 500 mm，且孔的公差等级 $\leq IT8$ 时，由于孔的加工成本比同级的轴加工成本高，所以轴应比孔高一级；若孔的公差等级大于 $IT8$ ，由于孔、轴加工难易程度相当，孔和轴的公差等级应取同级。

对于过盈配合，公称尺寸 ≤ 500 mm，且孔的公差等级 $\leq IT7$ 时，轴应比孔高一级；若孔的公差等级大于 $IT7$ 时，孔和轴的公差等级应取同级。若公称尺寸大于 500 mm，孔和轴的公差等级也可取同一等级。

2. 相互配合零件的精度

例如，与滚动轴承、齿轮等配合的孔和轴的公差等级与滚动轴承，齿轮的精度等级有关。

3. 配合性质

由于孔、轴公差等级的高低直接影响配合间隙或过盈的变动量，即影响配合的稳定性。因此，对过渡配合和过盈配合一般不允许其间隙或过盈的变动量太大，应选较高的公差等级。推荐孔 $\leq IT8$ ，轴 $\leq IT7$ 。对于间隙配合，一般来说，间隙小，应选较高的公差等级，反之可以低一些。

4. 主、次配合表面

对于一般机械而言，主要配合表面的孔和轴选 $IT5 \sim IT8$ ；次要配合表面的孔和轴选 $IT9 \sim IT12$ ；非配合表面的孔和轴一般选 $IT12$ 以下。

三、配合种类的选择

在确定配合制和公差等级之后，就确定基准孔或基准轴的公差带以及相应的非基准件公差带的大小，因此配合种类的选择实际上就是要确定非基准件公差带的位置，即确定非基准件的基本偏差代号。

选择配合种类的主要根据是使用要求，应该按照工作条件要求的松紧程度，在保证机器正常工作的情况下来选择适当的配合。

采用类比法选择配合时，应从以下几个方面入手。

1. 确定配合的类别

配合共分间隙、过渡和过盈配合三大类。设计时究竟应选择哪一种配合类别，主要取决于使用要求。表2-11给出了配合类别选择的基本原则，供选择时参考。

2. 按工作条件确定配合的松紧

配合的类别确定后，若待定的配合部位与供类比的配合部位在工作条件上存在一定的差异，应对配合的松紧程度（即间隙或过盈量的大小）作适当的调整。表2-12列出在不同工作条件时，对配合松紧进行调整的趋势，供选择时参考。

表 2-11 配合类别选择的基本原则

无相对运动	需传递扭矩	要精确同轴	不可拆卸	过盈配合
			可拆卸	过渡配合或基本偏差为 H (h) 的间隙配合加紧固件
		无需精确同轴		间隙配合或小过盈配合
	不传递扭矩			过渡配合或小过盈配合
有相对运动	只有移动			基本偏差为 H (h)、G (g) 的间隙配合
	转动、转动和移动复合运动			基本偏差为 A ~ F (a ~ f) 的间隙配合
注：(1) 紧固件指键、销钉和螺钉等。 (2) (h)、(g) 等指非基准件的基本偏差代号。				

表 2-12 不同工作条件影响配合松紧的趋势

工作条件	过盈应增大或减小	间隙应增大或减小
材料强度小	减	—
经常拆卸	减	—
有冲击载荷	增	减
工作时，孔温高于轴温	增	减
工作时，轴温高于孔温	减	增
配合长度增大	减	增
配合面形位误差增大	减	增
装配时可能歪斜	减	增
旋转速度增高	增	增
有轴向运动	—	增
润滑油黏度增大	—	增
表面趋向粗糙	增	减
单件生产相对于大批量生产	减	增

3. 了解各配合的特征与应用

表 2-13 给出轴和孔各种基本偏差的特征及应用实例，表 2-14 给出优先配合的特征及应用说明，供选择时参考。

表 2-13 轴和孔各种基本偏差的特征及应用实例

配合	基本偏差	特点及应用实例
间隙配合	a (A) b (B)	可得到特别大的间隙, 应用很少。主要用于工作时温度很高、热变形大的零件的配合, 如发动机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不好的零件的配合, 也适用于高温工作的间隙配合, 如内燃机排气阀杆与导管的配合为 H8/c7
	d (D)	与 IT7 ~ IT11 对应, 适用于较松的间隙配合 (如滑轮、空转的带轮与轴的配合以及大尺寸滑动轴承与轴颈的配合 (如涡轮机、球磨机等) 的滑动轴承)。活塞环与活塞销的配合可用 H9/d9
	e (E)	与 IT6 ~ IT9 对应, 具有明显的间隙, 用于大跨距及多点的转轴轴颈与轴承的配合, 以及高速、重载的大尺寸轴颈与轴承的配合, 如大型电机、内燃机的主要轴承处的配合为 H8/e7
	f (F)	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, 如齿轮箱、小电动机、泵等的转轴轴颈与滑动轴承的配合为 H7/f6
	g (G)	与 IT5、IT6、IT7 对应, 形成的配合间隙较小, 用于轻载精密装置中的转动配合, 用于插销的定位配合、滑阀、连杆销等处的配合, 钻套多用 G6
	h (H)	与 IT4 ~ IT11 对应, 广泛用于无相对转动的配合, 一般的定位配合。若没有温度、变形的影响, 也可用于精密滑动轴承, 如车床尾座孔与滑动套筒的配合为 H6/h5
过渡配合	js (JS)	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, 如联轴器、齿圈与轮毂的配合, 滚动轴承外圈与外壳孔的配合多用 JS7。一般用手或木槌装配
	k (K)	多用于 IT4 ~ IT7 平均间隙接近零的配合, 用于定位配合, 如滚动轴承内、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, 应用精密的定位配合, 如涡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。用于键传递较大扭矩的配合, 如冲床上齿轮的孔与轴的配合, 用槌子或压力机装配

续表

配合	基本偏差	特点及应用实例
过盈配合	p (P)	用于小过盈配合, 与 H6 或 H7 的孔形成过盈配合, 而与 H8 的孔形成过渡配合。碳钢和铸铁零件形成的配合为标准压入配合, 如绞车的绳轮与齿圈的配合为 H7/p6。合金钢零件的配合需要小过盈时可用 p (或 P)
	r (R)	用于传递大扭矩或受冲击负荷而需要加键的配合, 如蜗轮与轴的配合为 H7/r6。H8/r8 配合在公称尺寸小于 100 mm 时, 为过渡配合
	s (S)	用于钢和铸铁零件的永久性和半永久性结合, 可产生相当大的结合力, 如套环压在轴、阀座上用 H7/t6 配合
	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, 用热套法或冷轴法装配, 如联轴器与轴的配合为 H7/t6
	u (U)	用于大过盈配合, 最大过盈需要验算。用热套法进行装配, 如火车轮毂和轴的配合为 H6/u5
	v (V), x (X), y (Y), z (Z)	用于特大过盈配合, 使用极少, 需经验算后才能应用, 一般不推荐

表 2-14 优先配合的特征及应用说明

优先配合		特征及应用说明
基孔制	基轴制	
$\frac{H11}{c11}$	$\frac{C11}{h11}$	间隙非常大, 用于很松的、转动很慢的动配合; 要求大公差与大间隙的外露组件; 要求装配方便得配合; 高温工作和很松的转动配合
$\frac{H9}{d9}$	$\frac{D9}{h9}$	间隙很大的自由转动配合, 用于精度非主要要求时, 或有大的温度变动、高速或大的轴颈压力时
$\frac{H8}{f7}$	$\frac{F8}{h7}$	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传递; 也用于装配较容易的中等定位配合
$\frac{H7}{g6}$	$\frac{G7}{h6}$	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确定位时; 也可用于要求明确的定位配合

续表

优先配合		特征及应用说明
基孔制	基轴制	
$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	均为间隙定位配合, 零件可自由拆装, 而工作时一般相对静止不动。用于具有缓慢轴向移动或摆动的配合; 同轴度和导向精度要求高的定位配合
$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{h7}$	
$\frac{H9}{h9}$	$\frac{H9}{h9}$	
$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H11}{h11}$	
$\frac{H7}{k6}$	$\frac{K7}{h6}$	过渡配合, 用于要求稍有过盈的精密定位配合。当传递扭矩较大时, 应加紧固件
$\frac{H7}{n6}$	$\frac{N7}{h6}$	过渡配合, 用于要求稍有过盈的精密定位配合。当传递扭矩较大时, 应加紧固件
$\frac{H7}{p6}$	$\frac{P7}{h6}$	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同轴精度要求。当传递扭矩较大时, 应加紧固件
$\frac{H7}{s6}$	$\frac{S7}{h6}$	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
$\frac{H7}{u6}$	$\frac{U7}{h6}$	压入配合, 适用于可以承受最大压力的零件或不宜承受大压力的冷缩配合

拓展知识

例 2-7 图 2-25 所示活塞 (铝合金) 与汽缸内壁 (钢制) 工件时作高速往复运动, 要求间隙在 0.1 ~ 0.2 mm 范围内, 若活塞与汽缸配合的直径为 $\phi 135$ mm, 汽缸工作温度 $t_H = 110$ °C, 活塞工作温度 $t_s = 180$ °C, 汽缸和活塞材料的线膨胀系数分别为 $\alpha_H = 12 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, $\alpha_s = 24 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 。试确定活塞与汽缸孔的尺寸偏差。

解: (1) 确定基准制。

因为一般情况下, 可选用基孔制。

(2) 确定孔、轴公差等级。

由于

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = (0.2 - 0.1) \text{ mm} = 100 \mu\text{m}$$

$$\text{又 } T_f = T_D + T_d = 100 \mu\text{m}$$

查表 2-3, 与计算的相近值为

孔: IT8 $T_D = 63 \mu\text{m}$

轴: IT7 $T_d = 40 \mu\text{m}$

则 $T_D = 63 \mu\text{m}$; $T_d = 40 \mu\text{m}$ (因为题意为 $(0.1 - 0.2) \text{mm}$, 故 $T_D + T_d$ 稍大于 $100 \mu\text{m}$ 是允许的)。

故基准孔 $ES = +63 \mu\text{m}$ $EI = 0$

(3) 计算热变形所引起的间隙变化量。

$$\begin{aligned}\Delta X &= 135 [12 \times 10^{-6} (110 - 20) - 24 \times 10^{-6} (180 - 20)] = -0.37 (\text{mm}) \\ &= -370 \mu\text{m}\end{aligned}$$

以上计算结果为负值, 说明由于活塞热膨胀系数大于汽缸孔的热膨胀系数, 会使工作时的间隙减小 -0.37mm , 为了保证使用要求 (即要求工作间隙为 $0.1 \sim 0.2 \text{mm}$), 应在确定轴的极限偏差时, 考虑热变形的补偿值。

(4) 确定非基准件轴的基本偏差。

因基准孔 $ES = +63 \mu\text{m}$ $EI = 0$

$$X_{\min} = EI - es = 100 \mu\text{m}$$

$$es = -X_{\min} = -100 \mu\text{m}$$

$$ei = es - T_d = -100 - 40 = -140 (\mu\text{m})$$

为了补偿热变形, 在计算的轴的上下偏差中加入补偿值 ΔX , 即

$$es' = es + \Delta X = -100 - 370 = -470 (\mu\text{m})$$

$$ei' = ei + \Delta X = -140 - 370 = -510 (\mu\text{m})$$

故 汽缸孔的尺寸偏差应为 $\phi 135^{+0.063}_0 \text{mm}$, 活塞的尺寸偏差应为 $\phi 135^{+0.470}_{-0.510} \text{mm}$ 。

例 2-8 如图 2-26 所示为钻模的一部分。钻模板 4 上有衬套 2, 快换钻套 1 在工作中要求能迅速更换, 当快换钻套 1 以其铣成的缺边对正钻套螺钉 3 后可以直接装入衬套 2 的孔中, 再顺时针旋转一个角度, 钻套螺钉 3 的下端面就盖住钻套 1 的另一缺面。这样钻削时, 钻套 1 便不会因为切屑排出产生的摩擦力而使其退出衬套 2 的孔外, 当钻孔后更换钻套 1 时, 可将钻套 1 逆时针旋转一个角度后直接取下, 换上另一个孔径不同的快换钻套而不必将钻套螺钉 3 取下。钻模现需加工工件上的 $\phi 12 \text{mm}$ 孔时, 试选择如图衬套 2 与钻模板 4 的公差配合、钻孔

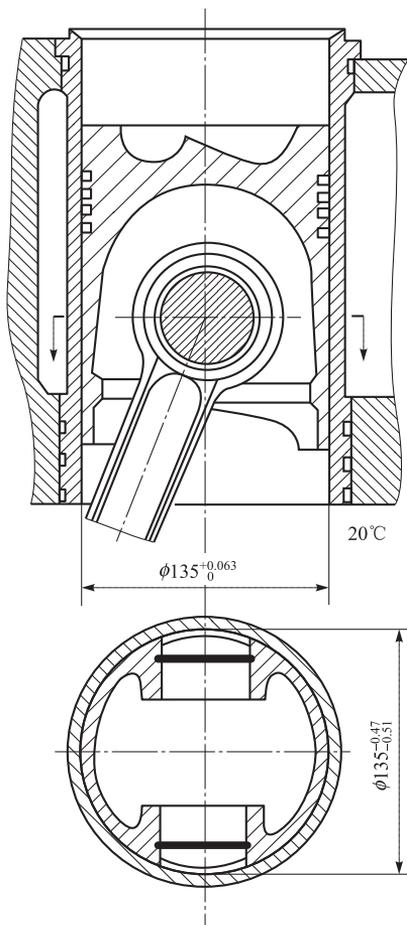


图 2-25 活塞与汽缸孔的配合

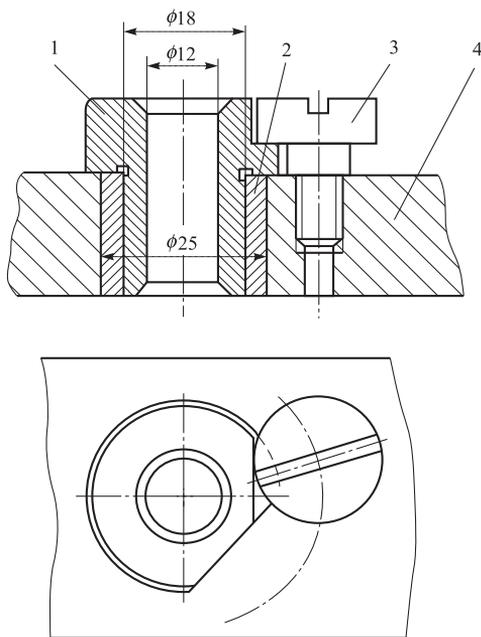


图 2-26 钻模上的钻模板、衬套与钻套

1—快换钻套；2—衬套；3—钻套螺丝；4—钻模板

钻套 2 的孔、钻套的孔统一按照 IT7 选用。而衬套 2 的外圆、钻套 1 的外圆则按照 IT6 选用。

(3) 配合种类的选择：衬套 2 与钻模 4 的配合，要求连接牢靠，在轻微冲击和负荷下不用连接件也不会发生松动，即使衬套内孔磨损了，需要更换时拆卸的次数也不多。因此选择平均过盈量大的过渡配合 n，本例配合选为 $\phi 25 \frac{H7}{n6}$ 。

钻套 1 与衬套 2 的配合，经常用手更换，故需要一定间隙保证更换迅速，但是因为又要求有准确的定心，间隙不能过大，为此精密手动移动的配合选定为 g。本例中选为 $\phi 18 \frac{H7}{g6}$ 。

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，为此选取的配合为 F（本例选择为 $\phi 12F7$ ）。

必须指出：对于钻套 1 配合的衬套 2 内孔，根据上面分析本应该选择 $\phi 18$ ，考虑到 GB 2804—2008（夹具标准），为了统一钻套内孔与衬套内孔的公差带，规定了统一选用 F7，以利于制造。所以，在衬套 2 内孔公差带为 F7 的前提下，选用相当于 H7/g6 类配合的 F7/k6 非基准制配合。具体对比见图 2-27。

时快换钻套 1 与衬套 2 以及内孔与钻头的公差配合。

解：（1）基准制的选择：对衬套 2 与钻模板 4 的配合以及钻套 1 与衬套 2 的配合，因为结构无特殊要求，按国际规定，应优先选用基孔制。

对钻头与钻套 1 内孔的配合，因钻头属于标准刀具，可以视为标准件，故与钻套 1 的内孔配合应该采用基轴制。

（2）公差等级的选择：参看表 2-8，钻模夹具各元件的连接，可以按照用于配合尺寸的 IT5 ~ IT8 级选用。

参看表 2-9，重要的配合尺寸，对轴可以选 IT6，对孔可以选择 IT7。本例中钻模板 4 的孔、衬套 2 的孔、钻套的孔统一按照 IT7 选用。而衬套 2 的外圆、钻套 1 的外圆则按照 IT6 选用。

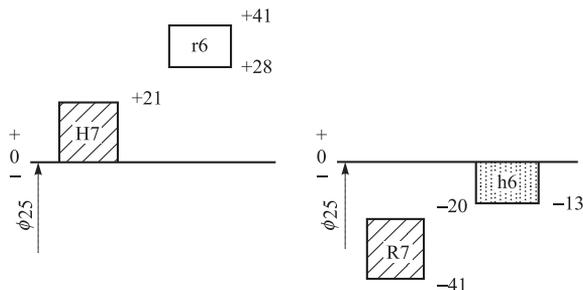


图 2-27

课后练习

- 何种情况下采用基轴制配合？
- 根据已知条件，求孔、轴极限偏差与配合公差，画出尺寸公差带图。
 - 孔与轴的公称尺寸为
 $\phi 45 \text{ mm}$ ， $es = 0$ ， $T_D = 25 \mu\text{m}$ ， $Y_{\max} = -50 \mu\text{m}$ ， $X_{\max} = +29.5 \mu\text{m}$ 。
 - 孔与轴的公称尺寸为
 $\phi 25 \text{ mm}$ ， $EI = 0$ ， $T_d = 13 \mu\text{m}$ ， $X_{\max} = +74 \mu\text{m}$ ， $X_{\min} = +40 \mu\text{m}$ 。
 - 孔与轴的公称尺寸为
 $\phi 15 \text{ mm}$ ， $EI = 0$ ， $T_d = 11 \mu\text{m}$ ， $Y_{\max} = -12 \mu\text{m}$ ， $Y_{\min} = +2.5 \mu\text{m}$ 。
- 设三个配合的公称尺寸和允许的极限间隙或极限过盈如下：
 - $D(d) = \phi 40 \text{ mm}$ ， $X_{\max} = +70 \mu\text{m}$ ， $X_{\min} = +20 \mu\text{m}$ 。
 - $D(d) = \phi 95 \text{ mm}$ ， $Y_{\max} = -130 \mu\text{m}$ ， $Y_{\min} = -20 \mu\text{m}$ 。
 - $D(d) = \phi 10 \text{ mm}$ ， $X_{\max} = +10 \mu\text{m}$ ， $Y_{\max} = -20 \mu\text{m}$ 。
 若均选用基孔制，试确定各孔、轴的公差等级及配合种类，并画出尺寸公差带图、配合公差带图。

课题六 线性尺寸的一般公差

学习目标

- 了解线性尺寸一般公差的概念。
- 熟悉线性尺寸一般公差的国家标准规定。
- 掌握线性尺寸一般公差的标注。

知识学习

一、一般公差的概念

设计时，对机器零件上各部位提出的加工中的尺寸、形状和相对位置等精度

要求, 取决于它们的使用功能要求。在实际使用中, 有些零件上的某些部位在使用功能上无特殊要求时, 则可给出一般公差。

一般公差是指在车间普通加工工艺条件下, 加工设备可以保证的公差, 是机床设备在正常维护和操作情况下可以达到的加工精度。一般公差等级的公差数值符合通常的车间精度, 主要用于较低精度的非配合尺寸。例如, 零件图中未注公差的尺寸通常均应按一般公差来处理。

采用一般公差的尺寸, 在车间正常生产能保证的条件下, 一般可不检验, 而主要由工艺装备和加工者自行控制。应用一般公差可简化制图, 节省图样设计时间, 明确可由一般工艺水平保证的尺寸, 突出图样上注出公差的尺寸。

二、线性尺寸一般公差的概念

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

线性尺寸的一般公差主要用于较低精度的非配合尺寸。国标规定, 当从使用功能上考虑, 所允许的公差等于或大于一般公差时, 原则上均应采用一般公差, 只有当零件某部位的功能要求允许一个比图样上注明的一般公差大的公差, 而采用该公差比采用一般公差的加工经济性能更好时(如不通孔的钻孔深度), 可不采用一般公差而采用该公差, 其相应的极限偏差要在尺寸后面注出。国标还规定, 当零件的两个表面分别由不同类型的工艺(例如切削和铸造)完成时, 它们之间线性尺寸(确定两个表面相对位置的尺寸)的一般公差, 应取按规定的两个一般公差数值中较大的一个。采用一般公差时, 在正常的生产条件下, 尺寸一般可以不进行检验, 而由工艺上保证。如冲压件的一般公差由模具保证; 短轴端面对轴线的垂直度, 由机床的精度保证。

零件图样上采用线性尺寸一般公差后, 可带来以下好处: 一般零件上的多数尺寸属于一般公差不予注出, 这样可简化制图, 使图样清晰易读; 使图样上突出了标有公差要求的部位, 以便在加工和检验时引起重视, 还可简化零件上某些部位的检验。

三、有关国家标准

1. 适用范围

GB/T 1804—2000 主要适用金属切削加工的尺寸, 也适用于一般的冲压加工的尺寸。非金属材料或其他工艺方法加工的尺寸可参照采用。

2. 公差等级与数值

GB/T 1804—2000 规定了线性尺寸的一般公差等级和相应的极限偏差数值, 如表 2-15 所列, 倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值见表 2-16。由表可见, 线性尺寸的一般公差分为: f (精密级)、m (中等级)、c (粗糙级) 和 v

(最粗级) 4 个等级, 在公称尺寸 0.5 mm ~ 4 000 mm 范围内分为 8 个尺寸段。各公差等级和尺寸分段内的极限偏差数值为对称分布, 即上、下偏差大小相等, 符号相反。

表 2-15 线性尺寸一般公差等级及其极限偏差数值 (摘自 GB/T 1804—2000)

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
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

表 2-16 倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值

mm

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

在确定图样上线性尺寸的未注公差时, 应考虑车间的一般加工精度, 选取标准规定的公差等级, 由相应的技术文件或技术标准作出具体规定。

3. 线性尺寸的一般公差的表示方法

可在图样上、技术文件或技术标准中用线性尺寸的一般公差标准号和公差等级符号表示。例如, 当选用 m (中等级) 时, 可在零件图样上 (标题栏上方) 标明: 未注公差尺寸按 GB/T 1804—m。

拓展知识

例 2-9 试分析确定图 2-28 所示 C6132 车床尾座有关部位的配合选择。

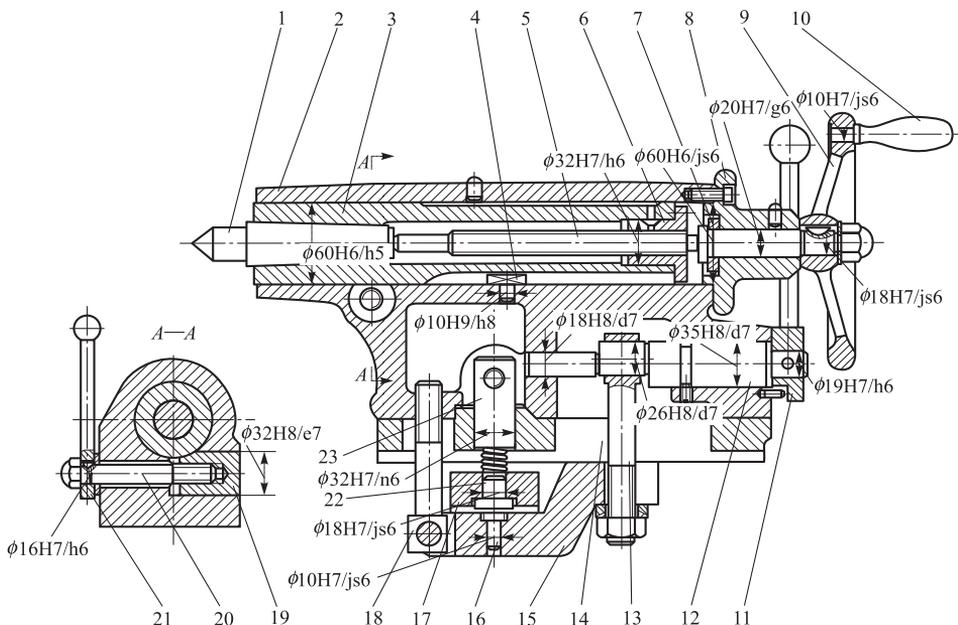


图 2-28 车床尾座装配图

- 1—顶尖；2—尾座体；3—顶尖套筒；4—定位块；5—丝杠；6—螺母；7—挡圈；8—后盖；9—手轮；
10—手柄；11—扳手；12—偏心轴；13—拉紧螺钉；14—底板；15—杠杆；16—小压块；
17—压板；18—螺钉；19—夹紧套；20—螺杆；21—小扳手；22—压块；23—柱

该车床属中等精度、多属小批量生产的机械。尾座的作用主要是以顶尖顶持工件或安装钻头、铰刀等，并承受切削力。尾座与主轴要求严格的同轴度。

尾座应能沿床身导轨移动，移动到定位可扳动扳手 11，通过偏心轴 12 使拉紧螺钉 13 上提，使压板 17 紧压床身，从而固定尾座位置。转动手轮 9，通过丝杠 5，推动螺母 6、顶尖套筒 3 和顶尖 1 沿轴向移动，顶紧工件。最后扳动小扳手 21，由螺杆 20 拉紧夹紧套 19，使顶尖的位置固定。

极限与配合选用如下：

(1) 套筒顶尖 3 的外圆柱面与尾座体 2 上孔的配合选用 $\phi 60H6/h5$ 。这是因为套筒要求能在孔中沿轴向移动，且不能晃动，故应选高精度的小间隙配合。

(2) 螺母 6 与套筒顶尖 3 上 $\phi 32$ mm 内孔的配合选用 $\phi 32H7/h6$ 。因 $\phi 32$ mm 尺寸起径向定位作用，为装配方便，宜选用间隙不大的间隙配合，保证螺母同心和丝杠转动灵活性。

(3) 后盖 8 凸肩与尾座体 2 上 $\phi 60$ mm 孔的配合选用 $\phi 60H6/js6$ 。后盖 8 要

求能沿径向挪动, 补偿其与丝杠轴装配后可能产生的偏心误差, 从而保证丝杠的灵活性, 需用小间隙配合。

(4) 后盖 8 与丝杠 5 上 $\phi 20$ mm 轴颈的配合选用 $\phi 20H7/g6$ 。要求能在低速转动, 间隙比轴向移动时稍大即可。

(5) 手轮 9 与丝杠 5 右端 $\phi 18$ mm 轴颈的配合选 $\phi 18H7/js6$ 。手轮由半圆键带动丝杠转动, 要求装卸方便且不产生相对晃动。

(6) 手柄 10 与手轮 9 上 $\phi 10$ mm 孔的配合, 可选 $\phi 10H7/js6$ 或 $\phi 10H7/k6$ 。因手轮为铸铁件, 过盈不能太大, 装后无拆卸要求。

(7) 定位块 4 与尾座体 2 上 $\phi 10$ mm 孔的配合, 选 $\phi 10H9/h8$ 。为使定位块装配方便, 轴在 $\phi 10$ mm 孔内稍作回转, 选精度不高的间隙配合。

(8) 偏心轴 12 与尾座体 2 上 $\phi 18$ mm 和 $\phi 35$ mm 两支承孔的配合分别选 $\phi 18H8/d7$ 和 $\phi 35H8/d7$ 。应使偏心轴能顺利回转且能补偿偏心轴两轴颈与两支承孔的同轴度误差, 故分别应选间隙较大的配合。

(9) 偏心轴 12 与拉紧螺钉 13 上 $\phi 26$ mm 孔的配合。选用 $\phi 26H8/d7$, 功能要求与上条相近。

(10) 偏心轴 12 与扳手 11 的配合选用 $\phi 19H7/h6$ 。装配时销与偏心轴配合, 需调整手柄处于紧固位置时, 偏心轴也处于偏心向上位置, 因此不能选有过盈的配合。

(11) 杠杆 15 上 $\phi 10$ mm 孔与小压块 16 的配合选 $\phi 10H7/js6$ 。为装配方便, 且装拆时不易掉出, 故选过盈很小的过渡配合。

(12) 压板 17 上 $\phi 18$ mm 孔与压块 22 的配合选 $\phi 18H7/js6$, 其要求同上条。

(13) 底板 14 上 $\phi 32$ mm 孔与柱 23 的配合选 $\phi 32H7/n6$ 。因要求在有横向力时不松动, 装配时可用锤击。

(14) 夹紧套 19 与尾座体 2 上 $\phi 32$ mm 孔的配合选 $\phi 32H8/e7$ 。要求当小扳手 21 松开后, 夹紧套能很容易地退出, 故选间隙较大的配合。

(15) 小扳手 21 上 $\phi 16$ mm 孔与螺杆 20 的配合选 $\phi 16H7/h6$ 。因二者用半圆键连接, 功能与第 5 条相近, 但间隙可稍大于第 5 条。

课后练习

1. 线性尺寸的一般公差有什么特点? 它主要用于什么场合?
2. 线性尺寸的一般公差分为哪几个等级?
3. 采用线性尺寸的一般公差有什么好处?

小结

1. 公称尺寸是指设计给定的尺寸、实际尺寸是通过测量获得的尺寸、极限尺寸是允许尺寸变动的最大或最小尺寸的两个极限值。

2. 公差是尺寸允许的变动范围，其值无正负，且不能为零。
3. 偏差是实际尺寸减其公称尺寸的代数差，其值可为正、负或零。
4. 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。配合的种类有三种：有间隙的配合称间隙配合；有过盈的配合称过盈配合；可能具有间隙或过盈的配合称为过渡配合。

配合公差是允许间隙或过盈的变动量，是配合部位松紧程度的允许值。