



目 录

1	绪论	(1)
1.1	互换性与标准化概念	(1)
1.2	优先数与优先数系	(4)
1.3	本课程的任务	(6)
2	极限与配合	(8)
2.1	概述	(8)
2.2	极限与配合的基本术语及定义	(9)
2.3	公差与配合国家标准的构成	(17)
2.4	公差与配合的应用	(36)
3	测量技术基础	(52)
3.1	概述	(52)
3.2	测量长度尺寸的常用量具	(57)
3.3	常用机械式量仪	(70)
3.4	测量角度的常用计量器具	(78)
3.5	其他计量器具简介	(83)
3.6	光滑极限量规	(89)
3.7	量具的维护和保养	(93)
3.8	测量误差	(94)
3.9	量具和量仪的选择原则	(97)
4	形位公差与检测	(103)
4.1	概述	(103)
4.2	形状公差与误差	(111)
4.3	位置公差与误差	(117)
4.4	形位公差与尺寸公差的相关性要求	(124)
4.5	形位公差的选择	(132)
4.6	形位公差的检测原则	(138)
5	表面粗糙度	(145)
5.1	表面结构	(145)
5.2	表面粗糙度概述	(146)
5.3	表面粗糙度的评定	(148)



5.4	表面粗糙度评定参数及数值的选用	(153)
5.5	表面粗糙度符号、代号及其标注	(158)
5.6	表面粗糙度的检测	(162)
6	圆锥的公差配合及测量	(165)
6.1	基本术语及定义	(165)
6.2	圆锥配合	(170)
6.3	圆锥公差	(174)
6.4	圆锥角和锥度的测量	(178)
7	渐开线圆柱齿轮的公差与检测	(181)
7.1	对齿轮传动的使用要求	(181)
7.2	齿轮传递运动准确性的误差根源、评定指标和公差	(183)
7.3	齿轮传动平稳性的误差根源、评定指标和公差	(188)
7.4	齿轮载荷分布均匀性的误差根源、评定指标和公差	(192)
7.5	齿轮侧隙的评定指标及其检测和极限偏差	(194)
7.6	渐开线圆柱齿轮精度	(196)
8	螺纹结合的公差与检测	(201)
8.1	概述	(201)
8.2	螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响	(206)
8.3	普通螺纹的公差与配合	(211)
8.4	螺纹的检测	(218)
9	键连接的公差与检测	(225)
9.1	概述	(225)
9.2	平键联接的公差与检测	(226)
9.3	矩形花键联接的公差与检测	(232)
	参考文献	(241)



1 绪论



1.1 互换性与标准化概念

1.1.1 互换性的基本概念

在工厂的装配车间经常看到这样的情况,装配工人任意从一批相同规格的零件中取出其中一个装配到机器上,装配后机器就能正常工作。在日常生活中也有不少这样的例子,如轿车、自行车、手表的某个零件损坏后,买一个相同规格的零件,装好后就能照常使用,显得十分方便快捷。这些都是零件互换性的具体体现。互换性就是指机器零部件相互之间可以替换,而且保证使用要求的一种特性。

互换性在现代化大规模生产中有着十分重要的意义。在设计方面,按互换性进行设计,可以最大限度地采用标准件和通用件,从而减少设计绘图的工作量,也有利于计算机辅助设计;在制造方面,有利于组织大规模专业化生产;在使用方面,便于维修和售后服务。

互换性可以分为广义互换性和狭义互换性。广义互换性是指机器的零件在各种性能方面都具有互换性,如零件的几何参数、力学性能、抗腐蚀性、热变形、电导性等。狭义互换性是指机器的零部件只满足几何参数方面的要求,如尺寸、形状、位置和表面粗糙度的要求。本课程只研究零件几何参数方面的互换性。

按互换性的程度又可把互换性分为完全互换和有限互换。对于同一规格的零件,若不加挑选和修配就能装配到机器上去,并且能满足使用要求,这种互换就成为完全互换。有时虽然是同一规格的零件,但在装配时需要进行挑选或修配才能满足使用要求,这种互换称为有限互换。

完全互换一般用于大批量生产的标准零部件,如普通紧固螺纹制件、滚动轴承等。



这种生产方式效率高,同时也有利于各生产单位和部门之间的协作。

有限互换多用于生产批量小和装配精度要求高的情况。当装配精度要求很高时,每个零件的精度也势必要求很高,这样会给零件的制造带来一定的困难。为了解决这一矛盾,在生产中经常采用分组装配和修配法。分组装配法的具体方法是,将零件的制造公差适当扩大到方便加工的程度,完工后按实际尺寸的大小把被装配的零件分成若干组,按对应组进行装配。分组越细,装配精度就越高,但应以满足装配精度为依据。分组太细将会降低装配效率,提高制造成本;分组太粗将不能保证装配精度要求。

对于单件小批量生产的高精度产品,在装配时往往采用修配法或调整法。这种生产方式效率低,但能获得高精度的产品。因此,在精密仪器和精密机床的生产中被广泛采用。

只有同一规格的零件才能够实现互换性,但规格相同的零件其实际尺寸或形状并不完全一致,在生产实际中不可避免地会产生加工误差。为了达到预定的互换性要求,必须将零部件的几何参数控制在一定的变动范围内,这个允许零件几何参数的变动范围称为公差。因此,为了使零部件具有互换性,首先必须对几何要素提出公差要求,只有在公差要求范围内的合格零件才能实现互换性。为了实现互换性的生产,对各种各样的公差要求还必须具有统一的术语、协调的数据及合适的标注方式,使从事机械设计或加工人员具有共同的技术术语和技术依据,并且设计生产过程较为方便、合理和经济,故必须制订公差标准。公差标准是对零件的公差和相互配合所制订的技术标准。

公差标准是实现互换性的基础,但仅有公差标准而无相应的检测措施还不足以保证实现互换性。只有通过技术测量,才能知道零件的几何参数误差是否在公差要求的范围内,零件是否合格,是否满足互换性要求。检测的目的不仅在于判断零件是否合格,而且还要根据检测的结果,分析产生废品的原因,以便采取改进措施。

1.1.2 标准化概念

标准化是社会生产的产物,反过来它又能推动社会生产的发展。标准是对重复性事物和概念所做的同一规定。标准化包含了标准制订、贯彻和修订标准的全部过程。

在机械制造中,标准化是实现互换性的必要前提。

技术标准(简称标准)即技术法规,是从事生产、建设工作以及商品流通等的一种共同技术依据,它以生产实践、科学试验及可靠经验为基础,由有关方面协调制订,由主管



部门批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。

标准可以按不同级别颁布。我国技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准 4 级。此外,从世界范围看,还有国际标准和区域性标准。

标准化是组织现代化大生产的重要手段,是实现专业化协作生产的必要前提,是科学管理的重要组成部分,是使整个社会经济合理化的技术基础,也是发展贸易、提高产品在国际市场竞争能力的技术保证。搞好标准化,对于快速发展国民经济、提高产品和工程建设质量、提高劳动生产率以及改善人民生活等都有着重要的作用。

1.1.3 公差标准发展概况

公差配合的标准化是标准化的一个重要组成部分,公差与配合等互换性标准是重要的基础标准,它是随着机械制造业的发展而产生和完善起来的。

19 世纪初,资本主义机器化大工业迅速发展。由于需要扩大互换性生产的规模和控制机器备件供应,需要在工厂内部制订统一的公差与配合标准。20 世纪初英国一家生产剪羊毛机的公司制订了最初的公差标准。1924 年和 1925 年英国和美国分别发布了各自的公差标准。1926 年成立了国际标准化协会 (ISA)。二次世界大战后,于 1947 年国际标准化协会重新建立并改称为国际标准化组织 (ISO)。其后由它陆续制订了一些国际公差标准。现在世界上发达国家都有各自的公差标准。

我国公差标准的建立和发展也是随着我国机械制造业的发展而逐步完善的。1944 年,我国曾颁布过中国工业标准 (CIS),但实际上并未执行。1955 年由第一工业机械部颁布了第一个公差与配合的部标准。1959 年由国家科委正式颁布了公差与配合的国家标准。1960 年由第一工业机械部颁布了圆柱齿轮公差部标准。以后又陆续颁布了表面粗糙度 (GB/T 1031—1995)、形状和位置公差 (GB/T 1182—1996)、普通螺纹公差与配合 (GB/T 197—1981)、键与花键公差 (GB/T 1095~1099—1979、GB/T 1144—1987) 等国家标准。

随着我国对外开放的深入和发展,世界制造业向中国转移的趋势越来越明显,中国必将成为世界制造业的中心。因此,我们应特别重视加强我国标准化工作,尽量使我国标准与国际标准融为一体,以发展国际贸易,参与国际市场的竞争。



1.2 优先数与优先数系

工程上各种技术参数的简化、协调和统一,是标准化的重要内容。

在机械设计中,常常需要确定很多参数,而这些参数往往不是孤立的,一旦选定,这个数值将会按照一定的规律向一切有关参数传播。例如,螺栓的尺寸一旦确定,将会影响螺母的尺寸、丝锥板牙的尺寸、螺栓孔的尺寸以及加工螺栓孔钻头的尺寸等;复印机的规格与复印纸的尺寸有关,复印纸的尺寸则取决于书刊杂志的尺寸,复印机的尺寸又影响造纸机械、包装机等的尺寸等等。这种技术参数的传播扩散在生产实际中是极为普遍的现象。

由于数值如此不断关联、不断传播,所以,机械产品中的各种技术参数不能随意确定,否则会出现规格品种恶性膨胀的混乱局面,给生产组织、协调配套以及使用维护带来极大的困难。

为使产品的参数选择能遵守统一的规律,使参数选择一开始就纳入标准化轨道,必须对各种技术参数的数值做出统一的规定。国家标准 GB/T321—1980《优先数和优先数系》就是其中最重要的一个标准,要求工业产品技术参数尽可能采用它。

GB/T321—1980 中规定以十进制等比数列为优先数系,并规定了 5 个系列,它们分别用系列符号 R5, R10, R20, R40, R80 表示,其中,前 4 个系列作为基本系列, R80 为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。各系列的公比为:

$$R5 \text{ 的公比: } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60;$$

$$R10 \text{ 的公比: } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25;$$

$$R20 \text{ 的公比: } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12;$$

$$R40 \text{ 的公比: } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06;$$

$$R80 \text{ 的公比: } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

优先数系的 5 个系列中任一个项值均为优先数。按公比计算得到的优先数的理论值,除 10 的整数幂外,都是无理数,工程技术上不能直接应用。实际应用的都是经过圆整后的近似值。根据圆整的精确度可分为:

- 1) 计算值:取 5 位有效数字,供精确计算用。
- 2) 常用值:即经常使用的通常所称的优先数,取 3 位有效数字。



表 1-1 优先数基本系列(摘自 GB/T 321—1980)

基本系列(常用值)				计算值	
R5	R10	R20	R40		
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000	
		1.25	1.12	1.06	1.0593
			1.25	1.12	1.1220
			1.40	1.18	1.1885
	1.50		1.25	1.2589	
	1.60	1.60	1.60	1.32	1.3335
			1.80	1.40	1.4125
			2.00	1.50	1.4962
2.24			1.60	1.5849	
2.00		2.00	1.70	1.6788	
		2.24	1.80	1.7783	
		2.50	1.90	1.8836	
		2.80	2.00	1.9953	
2.50	2.50	2.50	2.12	2.1135	
		2.80	2.24	2.2387	
		3.15	2.36	2.3714	
		3.55	2.50	2.5119	
	3.15	3.15	2.65	2.6607	
		3.55	2.80	2.8184	
		4.00	3.00	2.9854	
		4.50	3.15	3.1623	
4.00	4.00	4.00	3.35	3.3497	
		4.50	3.55	3.5481	
		5.00	3.75	3.7581	
		5.60	4.00	3.9811	
	5.00	5.00	4.25	4.2170	
		5.60	4.50	4.4668	
		6.00	4.75	4.7315	
		6.30	5.00	5.0119	
5.60	5.60	5.30	5.3088		
	6.00	5.60	5.6234		
	6.30	6.00	5.9566		



基本系列(常用值)				计算值
R5	R10	R20	R40	
6.30	6.30	6.30	6.30	6.3096
		7.10	7.10	6.6834
		8.00	8.00	7.0795
		9.00	9.00	7.4980
	8.00	8.00	8.00	7.9433
		9.00	9.00	8.4140
		10.00	10.00	8.9125
		11.22	11.22	9.4405
10.00	10.00	10.00	10.00	

表 1-1 所示列出了 1~10 范围内基本系列的常数值。如将表中所列优先数乘以 10, 100, …, 或乘 0.1, 0.01, …, 即可得到所有 >10 或 <1 的优先数。

标准还允许从基本系列和补充系列中隔项取值组成派生系列。如在 R10 系列中每隔两项取值得到 R10/3, 如 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, …, 即是常用的倍数系列。

国家标准规定的优先数系分档合理, 疏密均匀, 简单易记, 便于使用, 有广泛的实用性。常见的量值, 如长度、直径、转速及功率等分级, 基本上都是按一定的优先数系进行的。本课程所涉及的有关标准中, 诸如尺寸分段、公差分级及表面粗糙度的参数系列等基本上采用优先数系。

1.3 本课程的任务

本课程是机械类各专业的一门重要技术基础课, 是联系设计课程与工艺课程的纽带, 是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。

本课程是从保证产品的高质量和如何实现互换性的角度出发, 围绕误差与公差这两个基本概念, 研究如何解决使用要求与制造要求的矛盾。

学生在学习本课程之前, 应具有一定的理论知识和初步的生产实践知识, 能读图并懂得图样的注法, 学生完成本课程的学习任务之后, 初步达到:

- 1) 建立几何参数互换性与标准化的基本概念。
- 2) 了解各种几何参数有关公差标准的基本内容和主要规定。
- 3) 会初步选用公差和配合, 对常见的公差要求会正确标注和解释, 并能查用有关



表格。

4) 会正确选择、使用生产现场的常用量具和仪器,能对一般几何量进行综合检测和数据处理。

5) 会设计光滑极限量规。

总之,本课程的任务在于使学生获得机械工艺技术人员所必须具备的几何量公差与检测方面的基本知识和技能。

习题一

1. 什么是互换性?它在机械制造中有何重要意义?并举例说明。
2. 试述完全互换与有限互换的区别,各用于何种场合?
3. 公差、检测、标准化与互换性有什么关系?
4. 什么是优先数系?为什么要采用优先数系?我国的国家标准采用了哪些优先数系?



2 极限与配合



2.1 概述

任何机械零件都是由若干个点、线、面等几何要素所构成的。机械零件的大小及形状则取决于几何要素的尺寸,是经不同的机械制造工艺形成的。零件在制造过程中,受机床精度、刀具磨损和工艺系统误差等因素的影响,使得制造出的零件的实际尺寸与其理想尺寸存在一定的差异。为了满足零件的功能要求和加工的经济性,当设计零件时,就必须对其公称尺寸规定合理的精度要求。尺寸精度要求以公差的形式标注在零件的设计图样上,作为制造、检测和验收的依据。

极限用于协调机器零件的使用要求与制造工艺及经济性之间的矛盾,配合反映了组成机器的零件之间的相互关系。极限与配合直接影响到产品的精度、性能和使用寿命,是评定产品质量的重要技术指标。极限与配合的标准化具有十分重要的意义。

为此,参照国际标准,我国对尺寸的极限与配合进行了标准化。1979年,颁布了有关几何量精度设计的《公差与配合》(GB 1800~1804—1979)国家标准。1997年后,按照采用国际标准的原则,又进行了全面的修订,更名为《极限与配合》,并将修订后的标准用代号“GB/T”替代“GB”,以示区别。现行的有关几何量精度设计国家标准由以下标准组成:

《产品几何技术规定(GPS) 极限与配合第1部分:公差、偏差和配合的基础》GB/T1800.1—2009;

《产品几何技术规范(GPS) 极限与配合第2部分:标准公差等级和孔、轴极限偏差表》GB/T 1800.2—2009;

《产品几何技术规范(GPS) 极限与配合公差带和配合的选择》GB/T1801—2009;

《极限与配合 尺寸至18mm 孔、轴公差带》GB/T1803—2003;

《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》GB/T1804—2000。



2.2 极限与配合的基本术语及定义

为了正确地理解和应用《极限与配合》国家标准,首先必须统一术语和定义。本章以最新国家标准为依据来介绍极限与配合的有关术语。

2.2.1 有关“孔”“轴”的定义

机械工业是我国的支柱产业之一。孔、轴的配合又是机械工程中应用最多的结构,一般用作相对转动或移动副,也用作固定连接或可拆卸定心连接副,在实际生产中广泛应用。采用孔和轴这两个术语是为了确定零件的尺寸极限和相互的配合关系。在极限与配合中,孔和轴的关系表现为包容与被包容的关系。

(1)孔。孔通常指工件的圆柱形内表面,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)。

(2)轴。轴通常指工件的圆柱形外表面,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)。

由上述定义可知,这里所说的孔、轴与通常的概念不同,具有更广泛的含义。它们不仅仅表示圆柱形的内、外表面,而且也包括由单一尺寸确定的非圆柱形的内、外表面。单一尺寸是指两点之间的直线或弧线的距离。

当由单一尺寸确定的两平行表面相对,其间没有紧邻材料,形成包容面时,称为孔;由单一尺寸确定的两平行表面相对,其外没有紧邻材料,形成被包容面时,称为轴。如果两表面同向,既不能形成包容面,也不能形成被包容面,则属于一般长度尺寸,用 L 表示。

如图 2-1(a)所示为孔,如图 2-1(b)所示为轴。如图 2-2 所示,由 D_1, D_2, D_3 和 D_4 各尺寸确定的包容面均称为孔;由 d_1, d_2, d_3 和 d_4 各尺寸确定的被包容面均称为轴; L_1, L_2 和 L_3 属于一般长度尺寸。

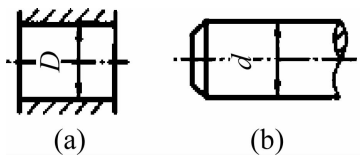


图 2-1 孔与轴

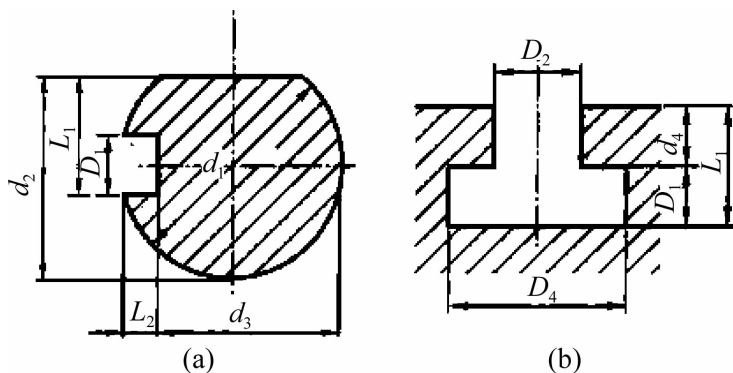


图 2-2 广义的孔与轴

2.2.2 与尺寸有关的术语和定义

1. 基本尺寸

设计给定的尺寸。它是根据零件的强度、刚度、结构和工艺性等要求确定的。设计时应尽量采用标准尺寸,以减少加工所用刀具、量具的规格。基本尺寸的代号:孔用 D 表示,轴用 d 表示。

2. 实际尺寸

通过测量所得的尺寸。由于存在测量误差,所以实际尺寸并非尺寸的真值。同时由于形状误差等影响,零件同一表面不同部位的实际尺寸往往是不等的。实际尺寸的代号:孔用 D_a 、轴用 d_a 表示。

3. 极限尺寸

允许尺寸变化的两个界限值。两个极限尺寸中较大的一个称最大极限尺寸,较小的一个称最小极限尺寸。

极限尺寸可大于、小于或等于基本尺寸。合格零件的实际尺寸应在两极限尺寸之间。极限尺寸的代号:孔用 D_{\max} 、 D_{\min} ,轴用 d_{\max} 、 d_{\min} 表示。

2.2.3 与公差偏差有关的术语和定义

1. 尺寸偏差

某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差,称为尺寸偏差,简称偏差。

实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差,称为实际偏差。极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差,称为极限偏差。极限偏差有两个:

最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差,称为上偏差。孔的上偏差以代号 ES 表

示,轴的上偏差以 es 表示,即:

$$ES = D_{\max} - D$$

$$es = d_{\max} - d$$

最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差,称为下偏差。孔的上偏差以代号 EI 表示,轴的上偏差以 ei 表示。以公式表示为:

$$EI = D_{\min} - D$$

$$ei = d_{\min} - d$$

为方便起见,通常在图样上标注极限偏差而不标极限尺寸。

偏差可以为正、负或零值。当极限尺寸大于、小于或等于基本尺寸时,其极限偏差便分别为正、负或零值。

2. 尺寸公差

允许尺寸的变动量,称为尺寸公差,简称公差。以代号 T 表示。

公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸的代数差。也等于上偏差与下偏差的代数差。

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

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

由上述可知,公差总为正值。

关于尺寸、公差与偏差的概念可用如图 2-3 所示的公差与配合示意图表示。

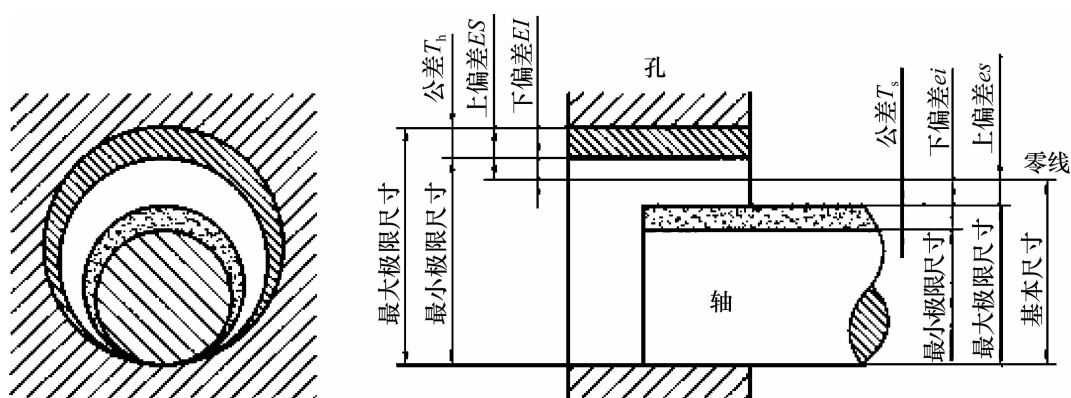


图 2-3 公差与配合示意图



例 2-1 计算如图 2-4 中所示孔、轴的极限尺寸和公差。

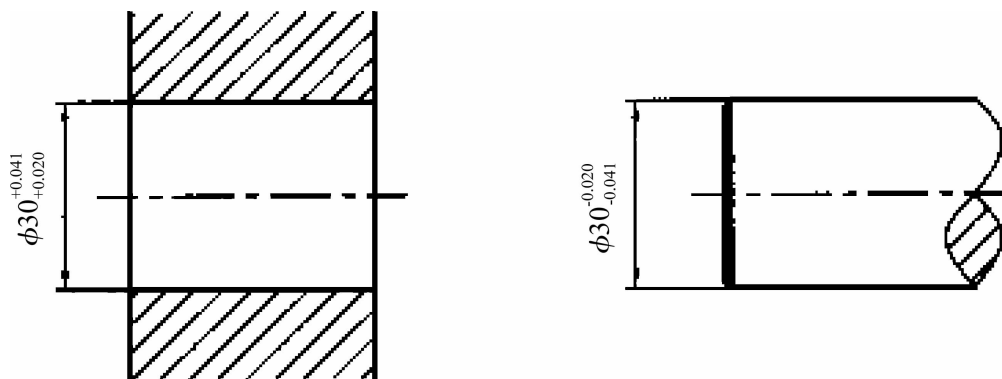


图 2-4

解:孔、轴基本尺寸: $D=d=30\text{mm}$

孔的上偏差: $ES=+0.041\text{mm}$

孔的下偏差: $EI=+0.020\text{mm}$

孔的最大极限尺寸: $D_{\max}=D+ES=30+0.041\text{mm}=30.041\text{mm}$

孔的最小极限尺寸: $D_{\min}=D+EI=30+0.020\text{mm}=30.020\text{mm}$

孔公差: $T_h=|ES-EI|=|0.041-0.020|\text{mm}=0.021\text{mm}$

轴的上偏差: $es=-0.020\text{mm}$

轴的下偏差: $ei=-0.041\text{mm}$

轴的最大极限尺寸: $d_{\max}=d+es=30+(-0.020)\text{mm}=29.980\text{mm}$

轴的最小极限尺寸: $d_{\min}=d+ei=30+(-0.041)\text{mm}=29.959\text{mm}$

轴公差: $T_s=|es-ei|=|-0.020-(-0.041)|\text{mm}=0.021\text{mm}$

3. 公差带

在分析公差与配合时,需要作图。但因公差数值与尺寸数值相差甚远,不使用同一比例。因此,在作图时,只画出放大的孔和轴的公差图形,这种图形称为公差带图。也称为公差与配合图解。

如图 2-3 所示的公差与配合示意图可做成如图 2-5 所示的公差与配合图解。在作图时,先画一条横坐标代表基本尺寸的界限,作为确定偏差的基准线,称为零线。再按给定比例画两条平行于零线的直线,代表上偏差和下偏差。这两条直线所限定的区域称为公差带,线间距即为公差。正偏差位于零线之上,负偏差位于零线之下。



在零线处注出基本尺寸,在公差带的边界线旁注出极限偏差值,单位用 μm 或 mm 皆可。

公差带由“公差带大小”和“公差带位置”两个要素组成。

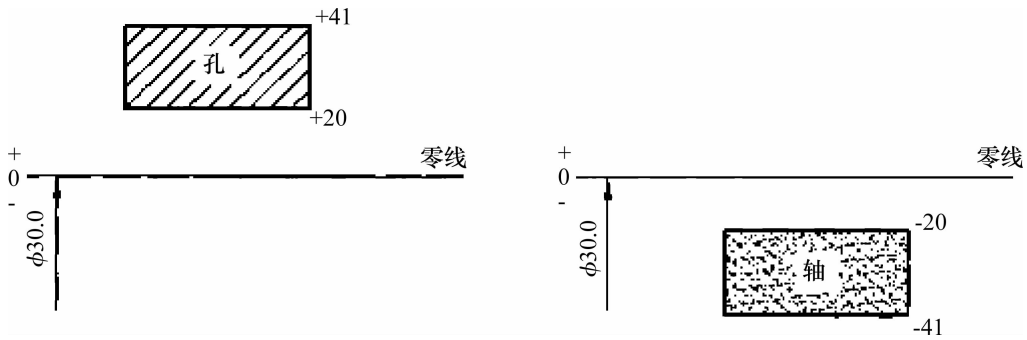


图 2-5 公差带图

2.2.4 与配合有关的术语和定义

配合是指基本尺寸相同的相互结合的孔轴公差带之间的关系。这种关系决定着配合的松紧程度。而这松紧程度是用间隙和过盈来描述的。

1. 间隙或过盈

在孔与轴的配合中,孔的尺寸减去轴的尺寸所得的代数差称为间隙或过盈。当差值为正时是间隙,用 X 表示,为负时是过盈,用 Y 表示。

配合按其出现间隙或过盈的不同分为间隙配合、过盈配合和过渡配合。

2. 间隙配合

对于一批孔、轴,任取其中一对相配,具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合,称为间隙配合。此时,孔的公差带完全在轴的公差带之上,如图 2-6(a)所示。

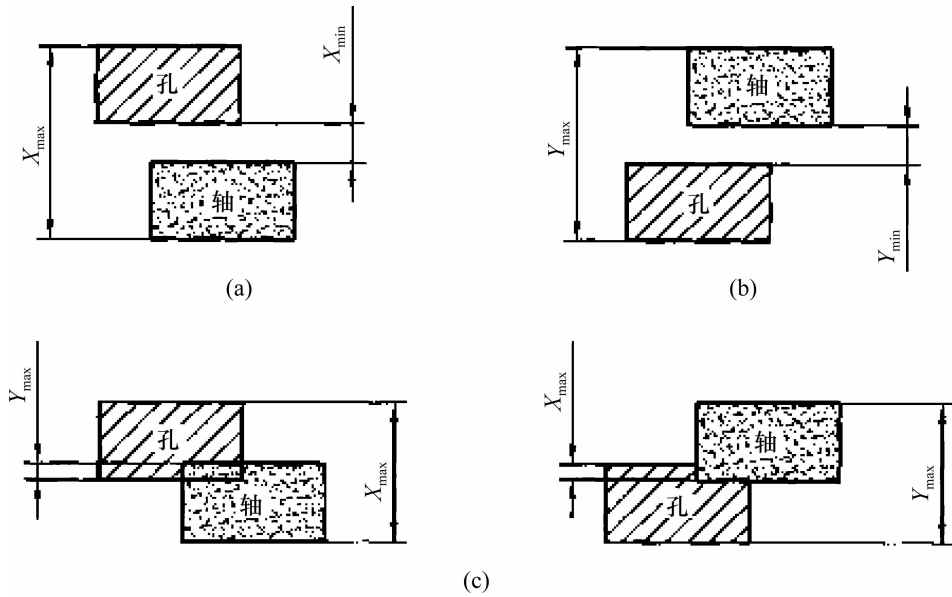


图 2-6 配合种类

(a) 间隙配合; (b) 过盈配合; (c) 过渡配合

由于孔和轴的实际尺寸在各自的公差带内变动,因此,装配后各对孔、轴间的间隙也是变动的。当孔制成最大极限尺寸,轴制成最小极限尺寸时,装配后得到最大间隙(X_{\max});反之,得到最小间隙(X_{\min}),即

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

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

间隙配合的平均松紧程度用平均间隙描述,它是最大间隙与最小间隙的平均值,即:

$$X_e = \frac{1}{2}(X_{\max} + X_{\min})$$

3. 过盈配合

对于一批孔、轴,任取其中一对相配,具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合,称为过盈配合。此时,孔的公差带完全在轴的公差带之下,如图 2-6(b)所示。同样,各对孔、轴间的过盈也是变化的。

当孔制成最大极限尺寸,轴制成最小极限尺寸时,装配后得到最小过盈(Y_{\min});孔制成最小极限尺寸、轴制成最大极限尺寸,装配后得到最大过盈(Y_{\max})。

平均过盈为最大过盈和最小过盈的平均值,即

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

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



$$Y_e = \frac{1}{2}(Y_{\max} + Y_{\min})$$

4. 过渡配合

对于一批孔、轴,任取其中一对相配,可能具有间隙也可能具有过盈的配合。此时,孔的公差带与轴的公差带相互交叠,如图 2-6(c)所示。过渡配合中,各对孔、轴间的间隙或过盈也是变化的。当孔制成最大极限尺寸,轴制成最小极限尺寸时,装配后的到最大间隙;当孔制成最小极限尺寸,轴制成最大极限尺寸时,装配后得到最大过盈。

过渡配合的平均松紧程度,可能是平均间隙,也可能是平均过盈。当相互交叠的孔公差带高于轴公差带时,为平均间隙;当相互交叠的孔公差带低于轴公差带时,为平均过盈。在过渡配合中,平均间隙或平均过盈为最大间隙与最大过盈的平均值,所得值为正时,则为平均间隙,为负时则为平均过盈。即

$$X_e(Y_e) = \frac{1}{2}(X_{\max} + Y_{\max})$$

5. 配合公差

允许间隙或过盈的变动量称为配合公差,以 T_f 表示。其计算公式为:

$$\text{间隙配合: } T_f = |X_{\max} - X_{\min}|$$

$$\text{过盈配合: } T_f = |Y_{\min} - X_{\max}|$$

$$\text{过渡配合: } T_f = |X_{\max} - Y_{\max}|$$

上述三式中间隙配合可写成

$$T_f = |(D_{\max} - d_{\min}) - (D_{\min} - d_{\max})| = |(D_{\max} - D_{\min}) + (d_{\max} - d_{\min})| = T_h + T_s$$

同理,过盈、过渡配合也可写成:

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

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

各类配合的配合公差均为孔公差与轴公差之和,即

$$T_f = T_h + T_s$$

这一结论说明配合件的装配精度与零件的加工精度有关,若要提高装配精度,使配合后间隙或过盈的变化范围减小,则应减小零件的公差,即需要提高零件的加工精度。

例 2-2 计算孔 $\phi 30_0^{+0.033}$ 与轴 $\phi 30_{-0.041}^{-0.020}$ 配合的极限间隙、平均间隙、配合公差。

解:作出公差带图,如图 2-7 所示。

$$X_{\max} = ES - ei = 0.033 - (-0.041)\text{mm} = +0.074\text{mm}$$

$$X_{\min} = EI - es = 0 - (-0.020)\text{mm} = +0.020\text{mm}$$



$$X_e = \frac{1}{2}(X_{\max} + X_{\min}) = \frac{1}{2}(0.074 + 0.020)\text{mm} = +0.047\text{mm}$$

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = |0.074 - 0.020|\text{mm} = 0.054\text{mm}$$

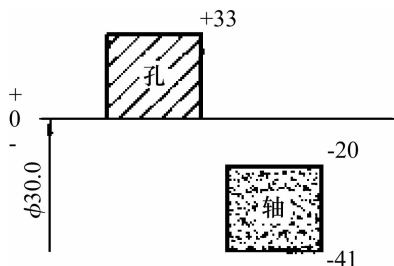


图 2-7

例 2-3 计算孔 $\phi 30_0^{+0.033}$ 与轴 $\phi 30_{+0.048}^{+0.069}$ 配合的极限过盈、平均过盈、配合公差。

解:作出公差带图,如图 2-8 所示。

$$Y_{\min} = ES - ei = +0.033 - 0.048\text{mm} = -0.015\text{mm}$$

$$Y_{\max} = EI - es = 0 - 0.069\text{mm} = -0.069\text{mm}$$

$$Y_e = \frac{1}{2}(Y_{\min} + Y_{\max}) = \frac{1}{2}(-0.015 - 0.069)\text{mm} = -0.042\text{mm}$$

$$T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}| = |-0.015 - (-0.069)|\text{mm} = 0.054\text{mm}$$

$$\text{或 } T_f = T_h + T_s = 0.033 + 0.021\text{mm} = 0.054\text{mm}$$

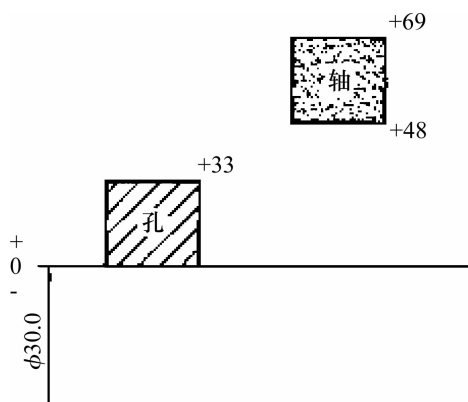


图 2-8

2.3 公差与配合国家标准的构成

公差与配合国家标准是确定光滑圆柱体零件尺寸公差与配合的依据,也适用于其他光滑表面和相应结合尺寸的公差与配合,如花键外径等的配合。它的基本结构是由“标准公差系列”和“基本偏差系列”组成的,前者确定公差带的大小,后者确定公差带的位置。两者结合构成不同的孔、轴公差带,而孔、轴公差带之间的不同相互位置又组成不同松紧程度的配合。同时,在此基础上,规定了一定数量的孔、轴公差带及具有一定间隙或过盈的配合,以实现互换性和满足各种使用要求。

2.3.1 标准公差系列

在公差与配合国家标准 GB/T1800.3—1998 中所列出的,用以确定公差带大小的任一公差,称为标准公差,用 IT 表示。它是依据基本尺寸和公差等级确定的。

(1) 公差单位

机械零件尺寸的加工误差,与加工方法及零件基本尺寸大小有关,通过对完工后零件尺寸的检测,据统计分析表明,尺寸误差与加工方法和零件的基本尺寸的关系如图2-9所示的曲线。

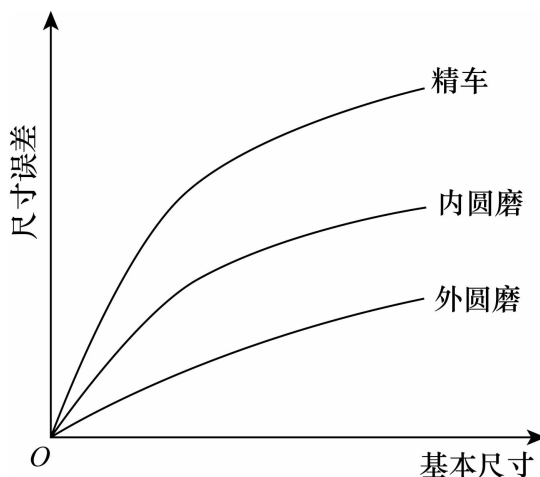


图 2-9 尺寸误差与基本尺寸的关系

生产实践表明,相同工艺条件,尺寸大的零件其加工误差也大。公差是用以限制误



差的,所以对同一精度概念来说,基本尺寸大,公差相应也大。因此,不能单从公差大小来判断工件尺寸精度的高低。例如,一根轴的直径为 $\phi 25\text{mm}$,公差为 $33\mu\text{m}$,另一根轴直径为 $\phi 150\text{mm}$,公差为 $40\mu\text{m}$,虽然后者比前者公差大,但因基本尺寸不同,后者的精度比前者高。因而需采用一种合理的计算单位——公差单位来确定精度的高低。

公差单位是计算标准公差的基本单位,是制订标准公差系列的基础。公差单位与基本尺寸之间呈一定的函数关系。

根据大量试验结果与统计分析得知,对于 $\leq 500\text{mm}$ 的工件尺寸,用各种加工方法所得的误差(少数高精度除外),都是按基本尺寸的立方根抛物线关系变化的。因此,公差与基本尺寸亦应按立方根抛物线关系变化较合适。另外考虑到温度对测量误差的影响,对基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的公差单位 i 采用以下计算公式:

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D \mu\text{m} \quad (2-1)$$

式中 D ——基本尺寸(mm)。

式2-1中第一项主要反映加工误差;第二项用以补偿由于测量偏离标准温度时,以及量规的变形等引起的测量误差。国家标准规定标准温度为 20°C 。当基本尺寸较小时,第二项影响很小;较大时,则影响较大,如基本尺寸为 $400\sim 500\text{mm}$ 时,它约占公差单位全量的 $13\%\sim 14\%$ 。

(2) 公差等级

为了将公差数值标准化,以减少量具和刀具的规格,同时又能满足各种机器所需的不同精度要求,国家标准 GB/T1800.3—1998 将公差值划分为 01,0,1,⋯,18 等 20 个公差等级,其相应的标准公差代号为 IT01,IT0,IT1,⋯,IT18,其中,01 级精度最高,18 级精度最低。IT5~IT18 以等级系数 a 的大小作为分级的唯一指标,它可以用来表示工件制造精度的高低。如前述直径为 $\phi 25\text{mm}$,公差为 $33\mu\text{m}$,和直径为 $\phi 150\text{mm}$,公差为 $40\mu\text{m}$ 的两根轴,可以计算得出前者的公差等级系数 a 为 25,后者为 16,故前者虽然公差值小,但公差等级为 8 级;后者公差虽大,但其公差等级却为 7 级。等级系数 a 采用优先数系 R5 系列如表 2-1 所示。

(3) 公差值得计算

基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时,IT5~IT18 的公差采用公差等级系数 a 与公差单位 i 乘积来确定,公差等级系数按 R5 优先数系递增,如表 2-1 所示。

表 2-1 基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时 IT5~IT8 的公差

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

对 IT01, IT0, IT1 的 3 个高等级, 考虑到在高精度测量中, 测量误差常是误差的主要成分, 故计算公差时采用线性关系式, 如表 2-2 所示。

表 2-2 基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时 IT01~IT1 的公差

公差等级	IT01	IT0	IT1
公差值/ μm	$0.3+0.008D$	$0.5+0.012D$	$0.8+0.020D$

IT2~IT4 级的公差在 IT1 和 IT5 之间, 呈几何级数分布, 如表 2-3 所示。

表 2-3 基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时 IT2~IT4 的公差

公差等级	IT2	IT3	IT4
公差值/ μm	$(IT1)\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{\frac{1}{4}}$	$(IT1)\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{\frac{1}{2}}$	$(IT1)\left(\frac{IT5}{IT1}\right)^{\frac{3}{4}}$

由此可知, 各公差等级的公差值有严格的规律性, 这可便于向高低等级延伸或插入中间级。例如, 延伸 $IT19 = IT18 \times 1.6$, 或插入中间级 $IT5.5 = \sqrt{IT5 \times IT6}$, 以满足特殊需要。

(4) 尺寸分段

根据公差值计算式, 在每一公差等级中, 不同的基本尺寸会有不同的公差数值, 这将会使公差数值表格非常庞大, 既不适用, 也无必要。为了减少公差值的数目, 统一公差值, 简化表格, 便于应用, 国家标准对基本尺寸进行了分段。尺寸分段后, 对同一尺寸分段内所有基本尺寸, 在公差等级相同情况下, 规定相同的标准公差如表 2-4 所示。

考虑到有些配合对尺寸变化很敏感, 国家标准中又将 10~3150mm 范围内配合的各尺寸分段, 并细分为 2~3 个中间段, 如基本偏差数值表 2-5 所示。

尺寸分段后, 计算公差单位或公差值时, 采用分段首尾两尺寸的几何平均值作为计算直径代入, 并将计算结果圆整后得出标准公差值。

由表 2-4 可知, 公差等级相同, 基本尺寸相同或在同一尺寸分段内孔公差和轴公差是相等的。



表 2-4 标准公差数值(摘自 GB/T1800.3—1998)

基本尺寸		公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm												mm							
~	3	0.30	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
3	6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.5	3.0
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	180	280	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7

2.3.2 基本偏差系列

(1) 基本偏差的概念

基本偏差是用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差,一般为靠近零线的那个偏差。当整个公差带位于零线上方时,基本偏差为下偏差;反之,则为上偏差。

为了满足机器中各种配合性质的需要,减少配合种类,以便互换,必须把孔和轴的公差带位置标准化。标准规定了孔和轴各 28 种公差带位置,分别由 28 个基本偏差来确定。基本偏差代号用拉丁字母及其顺序表示。大写表示孔,小写表示轴。单写字母 21 个,双写字母 7 个。在 26 个字母中,I,L,O,Q,W(i,l,o,q,w)未用,以避免混淆,如图 2-10 所示。其中, H (或 h)的基本偏差等于零;而 JS (或 js)为对称于零线分布,其上下偏差为 $\pm IT/2$; J (或 j)的公差带也跨零线两侧,但不对称。

由图 2-10 可知,基本偏差仅决定了公差带的一个极限偏差,另一个极限偏差则由公差等级决定。当公差带在零线上方时,基本偏差是孔或轴的下偏差(EI 或 ei),另一极限偏差即孔或轴的上偏差(ES 或 es)由下式决定:

$$ES = EI + IT$$

$$es = ei + IT$$

当公差带在零线下方时,基本偏差为孔或轴的上偏差(ES 或 es),另一极限偏差,即孔或轴的下偏差(EI 或 ei)由下式决定:

$$EI = ES - IT$$

$$ei = es - IT$$

因此,通常基本偏差与公差等级无关,而另一极限偏差才与公差等级有关。

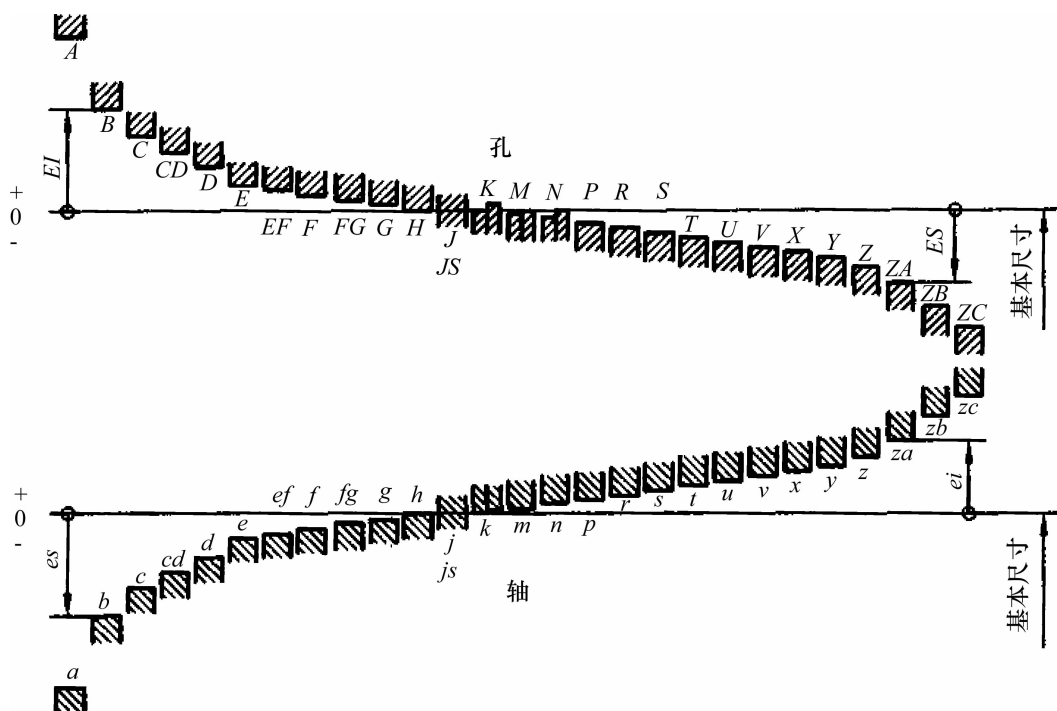


图 2-10 基本偏差系列

(2) 基准制

为了使配合种类进一步简化,国家标准规定了两种基准制:基孔制和基轴制。

① 基孔制

基孔制是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 2-11(a)所示。

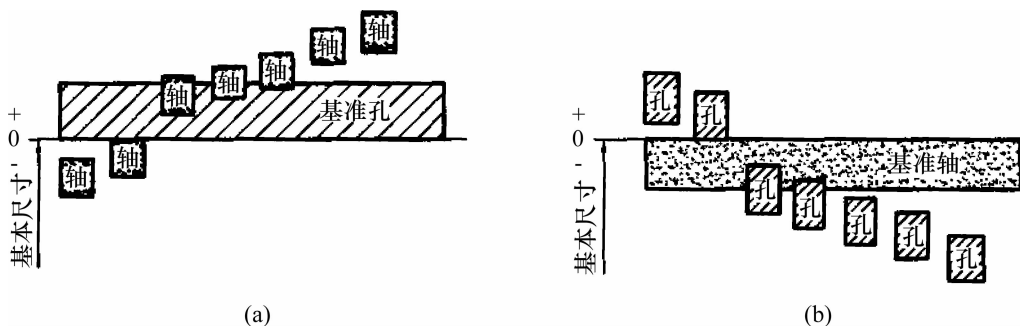


图 2-11 基准制

(a) 基孔制; (b) 基轴制

在基孔制中,孔是基准件,称为基准孔,基准孔的基本偏差为下偏差,数值规定为零,其代号为 H 。

② 基轴制

基轴制是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 2-11(b) 所示。

在基轴制中,轴是基准件,称为基准轴,基准轴的基本偏差为上偏差,数值也规定为零,其代号为 h 。

(3) 基本偏差的构成规律

当基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时,可根据理论分析结合经验和统计结果得到轴的基本偏差计算式,并据此确定轴的基本偏差,然后再按一定换算原则确定孔的基本偏差。

① 轴的基本偏差

轴的基本偏差计算式在国家标准中已有规定。其中, $a \sim h$ 用于间隙配合,基本偏差的绝对值恰为配合后的最小间隙要求,故以最小间隙考虑; $j \sim n$ 主要用于过渡配合 (m, n 在少数情况下出现过盈配合),其间隙和过盈都不大,以保证孔、轴配合时能较好地对中或定心,拆卸也不困难。其基本偏差按统计方法和经验数据来确定; $p \sim zc$ 主要用于过盈配合 (p, r 在少数情况下出现过渡配合),其基本偏差的确定是按过盈配合的使用要求,以最小过盈考虑,使与一定等级的基准孔形成过盈配合,且大多以 $H7$ 为基础。如 p 与 $H7$ 配合时,要求有 $0 \sim 5\mu\text{m}$ 的最小过盈值,故其基本偏差计算式为 $e_i = IT7 + (0 \sim 5)\mu\text{m}$,而 p 与 $H8$ 配合,实际上成为过渡配合。轴的基本偏差值如表 2-5 所示。



②孔的基本偏差

基孔制和基轴制是两种并行等效的配合基准制。所以两者中由同名基本偏差代号表示非基准件组成的同名配合,在孔轴公差等级分别相同的条件下,如 $H9/d9$ 与 $D9/h9$, $H7/m6$ 与 $M7/h6$, $H6/t5$ 与 $T6/h5$ 等,其配合性质对应相同。因此,孔的基本偏差可由轴的基本偏差换算得到。

孔的基本偏差由同一字母代号轴的基本偏差换算时,采用如下两种换算规则:

a. 通用规则:同一代号表示的孔轴基本偏差的绝对值相等而符号相反。适用于通用规则换算的孔有:所有公差等级的 $A\sim H$,标准公差 $>IT8$ (不包括 $IT8$)的 K, M, N ;标准公差 $>IT7$ (不包括 $IT7$)的 $P\sim ZC$ 。

对于 $A\sim H$,其基本偏差为下偏差 EI ,按下式换算。即

$$EI = -es$$

对于 $K\sim ZC$,基本偏差为上偏差 ES ,按下式换算。即

$$ES = -ei$$

特殊的是,标准公差 $>IT8$,基本尺寸 $>3\text{mm}$ 的 N ,其基本偏差等于零。

b. 特殊规则:同一代号表示的孔、轴的基本偏差符号相反,而绝对值相差一个 Δ 值。

适用特殊规则换算基本偏差的孔有:标准公差 $\leq IT8$ 的 J, K, M, N ;标准公差 $\leq IT7$ 的 $P\sim ZC$ 。

在较高公差等级中,一般采用孔的公差等级较轴低一级组成配合,并要求形成的基孔制与基轴制配合具有相同的配合性质。孔的基本偏差值如表 2-6 所示。



表 2-5 基本尺寸 ≤ 500mm

基本尺寸 /mm	基 本														
	上 偏 差 es											下			
	a^*	b^*	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j		
	所 有 公 差 等 级											5~6	7	8	
≤3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	偏 差 等 于 ± $\frac{IT}{2}$	-2	-4	-6
>3~6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	-
>6~10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	-
>10~14	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0		-3	-6	-
>14~18													-3	-6	-
>18~24	-300	-160	-110	-	-66	-40	-	-20	-	-6	0		-4	-8	-
>24~30													-4	-8	-
>30~40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0		-5	-10	-
>40~50	-320	-180	-130	-									-5	-10	-
>50~65	-340	-190	-140	-	-100	-60	-	-30	-	-10	0		-7	-12	-
>65~80	-360	-200	-150	-									-7	-12	-
>80~100	-380	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0		-9	-15	-
>100~120	-410	-240	-180	-									-9	-15	-
>120~140	-460	-260	-200	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0		-11	-18	-
>140~160	-520	-280	-210	-									-11	-18	-
>160~180	-580	-310	-230	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0		-13	-21	-
>180~200	-660	-340	-240	-									-13	-21	-
>200~225	-740	-380	-260	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0		-14	-26	-
>225~250	-820	-420	-280	-									-14	-26	-
>250~280	-920	-480	-300	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0		-18	-28	-
>280~315	-1 050	-540	-330	-								-18	-28	-	
>315~355	-1 200	-600	-360	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-	
>355~400	-1 350	-660	-400	-								-20	-32	-	
>400~450	-1 500	-760	-440	-	-20	-32	-								
>450~500	-1 650	-840	-480	-	-20	-32	-								

注:1. 基本尺寸小于 1mm 时,各级的 a 和 b 均不采用。

2. js 的数值:对 IT7~IT11,若 IT 的数值(μm)为奇数,则取 $is = \pm \frac{IT-1}{2}$



轴的基本偏差(GB/T1800.3~1998)

偏 差 / μm																			
偏 差 ei																			
k	m	n	p	r	s	i	u	v	x	y	z	za	zb	zc					
4~7	≤ 3 > 7	所 有 公 差 等 级																	
0	0	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60				
+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80				
+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97				
+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130				
									+39	+45	-	+60	+77	+108	+150				
+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188				
									+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218		
+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	-	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200				
									+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325		
+2	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
+3	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
+3	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
+4	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
+4	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
+4	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
+5	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



表 2-6 基本尺寸 ≤ 500mm 孔的基本

基本尺寸 /mm	基本偏差 /μm																		
	下 偏 差 EI												上 偏 差 ES						
	A*	B*	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J		K		M		
	所 有 公 差 等 级												6	7	8	≤8	>8	≤8	>8*
≤3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	偏 差 等 于 ± IT /2	+2	+4	+6	0	0	-2	-2
>3~6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1+Δ	-	-4+Δ	-4
>6~10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	-1+Δ	-	-6+Δ	-6
>10~14	+290	+150	+95	-	+50	+32	-	+16	-	+6	0		+6	+10	+15	-1+Δ	-	-7+Δ	-7
>14~18													+8	+12	+20	-2+Δ	-	-8+Δ	-8
>18~24	+300	+160	+110	-	+65	+40	-	+20	-	+7	0		+10	+14	+24	-2+Δ	-	-9+Δ	-9
>24~30													+13	+18	+28	-2+Δ	-	-11+Δ	-11
>30~40	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0		+16	+22	+34	-3+Δ	-	-13+Δ	-13
>40~50	+320	+180	+130										+18	+26	+41	-3+Δ	-	-15+Δ	-15
>50~65	+340	+190	+140	-	+100	+60	-	+30	-	+10	0		+22	+30	+47	-4+Δ	-	-17+Δ	-17
>65~80	+350	+200	+150										+25	+36	+56	-4+Δ	-	-20+Δ	-20
>80~100	+380	+220	+170	-	+120	+72	-	+36	-	+12	0		+29	+39	+60	-4+Δ	-	-21+Δ	-21
>100~120	+410	+240	+180										+33	+43	+66	-5+Δ	-	-23+Δ	-23
>120~140	+460	+260	+200	-	+145	+85	-	+43	-	+14	0		+39	+60	+90	-4+Δ	-	-21+Δ	-21
>140~160	+520	+280	+210										+43	+66	+99	-5+Δ	-	-23+Δ	-23
>160~180	+580	+310	+230	-	+170	+100	-	+50	-	+15	0		+43	+66	+99	-5+Δ	-	-23+Δ	-23
>180~200	+660	+340	+240										+43	+66	+99	-5+Δ	-	-23+Δ	-23
>200~225	+740	+380	+260	-	+190	+110	-	+56	-	+17	0		+47	+70	+105	-4+Δ	-	-21+Δ	-21
>225~250	+820	+420	+280										+47	+70	+105	-4+Δ	-	-21+Δ	-21
>250~280	+920	+480	+300	-	+210	+125	-	+62	-	+18	0		+51	+75	+111	-4+Δ	-	-21+Δ	-21
>280~315	+1 050	+540	+330									+51	+75	+111	-4+Δ	-	-21+Δ	-21	
>315~355	+1 300	+600	+360	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0	+55	+80	+117	-4+Δ	-	-21+Δ	-21	
>355~400	+1 350	+680	+400									+55	+80	+117	-4+Δ	-	-21+Δ	-21	
>400~450	+1 500	+760	+440	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0	+59	+85	+123	-4+Δ	-	-21+Δ	-21	
>450~500	+1 650	+840	+480									+59	+85	+123	-4+Δ	-	-21+Δ	-21	

注:1. 基本尺寸小于 1mm 时,各级的 A 和 B 及大于 8 级的 N 均不采用。

2. 特殊情况:当基本尺寸大于 250~315mm 时,M6 的 ES 等于 -9(不等于 -11)。



偏差 (GB/T1800.3—1998)

N		P~ ZC	上 偏 差 E_a											$\Delta/\mu\text{m}$								
			P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB							ZC		
≤ 8	$> 8^*$	≤ 7	> 7											3	4	5	6	7	8			
-4	-4	同 一 直 径 比 大 于 7 级 的 增 加 一 个 Δ 值	-6	-10	-14	-	-18	-	-20	-	-26	-32	-40	-60	$\Delta=0$							
-8+ Δ	0		-12	-15	-19	-	-23	-	-28	-	-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6		
-10+ Δ	0		-15	-19	-23	-	-28	-	-34	-	-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7		
-12+ Δ	0		-18	-23	-28	-	-33	-	-40	-	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9		
-15+ Δ	0		-22	-28	-35	-	-41	-47	-54	-65	-73	-98	-136	-188	1.5	2	3	4	8	12		
						-41	-48	-55	-64	-74	-88	-118	-160	-218								
-17+ Δ	0		-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								
-20+ Δ	0		-32	-41	-52	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-225	-300	-405	2	3	5	6	11	16		
						-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274							-360	-480
-23+ Δ	0		-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
-27+ Δ	0		-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
-31+ Δ	0		-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	-198	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1 000							-1 350	
-34+ Δ	0	-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	
-37+ Δ	0	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-550	-730	-900	-1 150	-1 500	-1 900	4	5	7	11	21	32			
					-114	-200	-294	-435	-530	-660	-820	-1 000	-1 300							-1 650	-2 100	
-40+ Δ	0	-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	



由于 $Y_{\min} = ES - ei$, 如图 2-12 所示: 基孔制配合中, 基准孔的上偏差等于孔公差 IT_n 正值, 故:

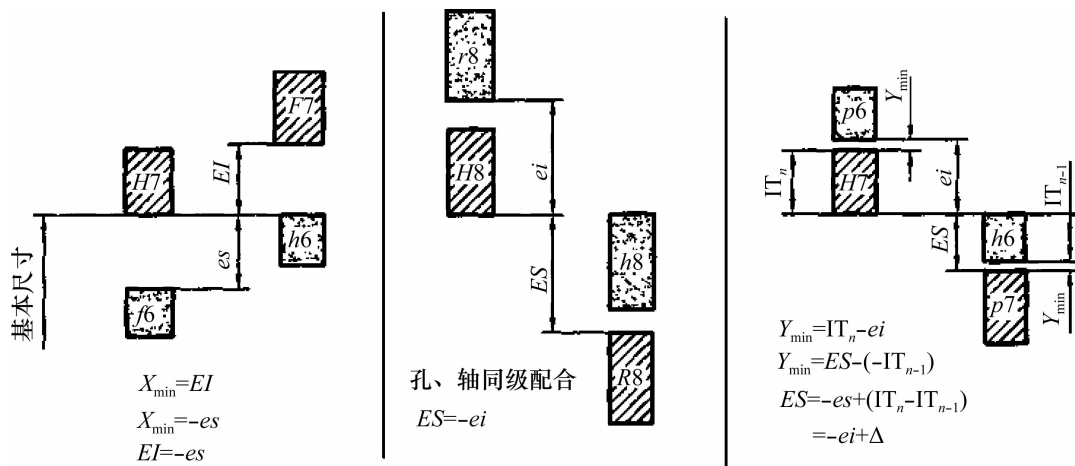


图 2-12 孔的基本偏差换算规则

(a)通用规则;(b)特殊规则

$$Y_{\min} = IT_n - ei$$

基轴制配合中, 基准轴的下偏差等于轴公差 IT_{n-1} 的负值。故

$$Y_{\min} = ES - (-IT_{n-1})$$

故

$$IT_n - ei = ES + IT_{n-1}$$

令

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

得

$$ES = -ei + \Delta$$

式中 IT_n 和 IT_{n-1} 分别为基准孔和基准轴的标准公差。

用公式计算出的孔的基本偏差按一定规则化整, 其值列于表 2-6 所示。

对基本尺寸 500~3150mm 的基本偏差, 因通常是孔轴同级组成配合, 故无特殊规则, 只有通用规则, 其基本偏差计算式和数值表都大为简化, 可参看公差与配合国家标准中有关部分。

例 2-4 如图 2-13(a) 所示, 确定 $\phi 25H7/f6$ 、 $\phi 25F7/h6$ 孔轴的极限偏差, 并计算极限间隙。

解: 1) 查表计算孔、轴的极限偏差

标准公差从表 2-4 查得

$$IT_6 = 13\mu\text{m}, IT_7 = 21\mu\text{m}$$

轴 f_6 的基本偏差由表 2-5 查得



$$es = -20\mu\text{m}$$

另一极限偏差

$$ei = es - IT6 = -20 - 13\mu\text{m} = -33\mu\text{m}$$

基准孔 $H7$ 的下偏差: $EI = 0$

$$\text{上偏差: } ES = EI + IT7 = 0 + 21\mu\text{m} = 21\mu\text{m}$$

孔 $F7$ 的基本偏差查表 2-6 查得: $EI = +20\mu\text{m}$

$$\text{另一极限偏差: } ES = EI + IT7 = 20 + 21\mu\text{m} = +41\mu\text{m}$$

基准轴 $h6$ 的上偏差: $es = 0$

$$\text{下偏差: } ei = es - IT6 = 0 - 13\mu\text{m} = -13\mu\text{m}$$

由此得到

$$\phi 25 H7 \left(\begin{smallmatrix} +0.021 \\ 0 \end{smallmatrix} \right) \quad \phi 25 f6 \left(\begin{smallmatrix} -0.020 \\ -0.033 \end{smallmatrix} \right)$$

$$\phi 25 F7 \left(\begin{smallmatrix} +0.041 \\ +0.020 \end{smallmatrix} \right) \quad \phi 25 h7 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.013 \end{smallmatrix} \right)$$

2) 计算配合的极限间隙

$$\phi 25 H7/f6 : X_{\max} = ES - ei = 21 - (-33)\mu\text{m} = +54\mu\text{m}$$

$$X_{\min} = EI - es = 0 - (-20)\mu\text{m} = +20\mu\text{m}$$

$$\phi 25 F7/h6 : X_{\max} = ES - ei = 41 - (-13)\mu\text{m} = +54\mu\text{m}$$

$$X_{\min} = EI - es = 20 - 0\mu\text{m} = +20\mu\text{m}$$

公差带图如图 2-13(a)。由此可见, $\phi 25 H7/f6$ 与 $\phi 25 F7/h6$ 属同名配合, 其配合性质相同。

例 2-5 如图 2-13(b)所示, 确定 $\phi 25 H7/k6$ 与 $\phi 25 K7/h6$ 孔、轴的极限偏差, 并极端极限间隙或极限过盈。

解: 1) 查表计算孔、轴的极限偏差。

标准公差从表 2-4 查得

$$IT7 = 21\mu\text{m}, IT6 = 13\mu\text{m}$$

轴 $k6$ 的基本偏差查表 2-5 得

$$ei = +2\mu\text{m}$$

$$\text{另一极限偏差: } es = ei + IT6 = +2 + 13\mu\text{m} = +15\mu\text{m}$$

基准孔 $H7$: $EI = 0$

$$\text{另一极限偏差: } ES = EI + IT7 = 0 + 21\mu\text{m} = +21\mu\text{m}$$

孔 $K7$ 的基本偏差查表 2-6 得



$$ES = -2 + \Delta\mu\text{m} = -2 + 8\mu\text{m} = +6\mu\text{m}$$

另一极限偏差: $EI = ES - IT7 = +6 - 21\mu\text{m} = -15\mu\text{m}$

基准轴 $h6$ 的上偏差: $es = 0$

下偏差: $ei = es - IT6 = 0 - 13\mu\text{m} = -13\mu\text{m}$

由此得到

$$\phi 25 H7 \left(\begin{smallmatrix} +0.021 \\ 0 \end{smallmatrix} \right) \quad \phi 25 k6 \left(\begin{smallmatrix} +0.015 \\ +0.002 \end{smallmatrix} \right)$$

$$\phi 25 K7 \left(\begin{smallmatrix} +0.006 \\ -0.015 \end{smallmatrix} \right) \quad \phi 25 h6 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.013 \end{smallmatrix} \right)$$

2) 计算配合的极限间隙或过盈:

$$\phi 25 H7/k6 : X_{\max} = ES - ei = 21 - 2\mu\text{m} = +19\mu\text{m}$$

$$X_{\min} = EI - es = 0 - 15\mu\text{m} = -15\mu\text{m}$$

$$\phi 25 K7/h6 : X_{\max} = ES - ei = 6 - (-13)\mu\text{m} = +19\mu\text{m}$$

$$X_{\min} = EI - es = 15 - 0\mu\text{m} = +15\mu\text{m}$$

例 2-6 确定 $\phi 25 H7/p6$ 与 $\phi 25 P7/h6$ 孔、轴的极限偏差, 并计算极限过盈。

解: 1) 查表计算孔、轴的极限偏差。

标准公差从表 2-4 查得

$$IT7 = 21\mu\text{m}, IT6 = 13\mu\text{m}$$

轴 $p6$ 的基本偏差查表 2-5 得

$$ei = +22\mu\text{m}$$

另一极限偏差: $es = ei + IT6 = 22 + 13\mu\text{m} = +35\mu\text{m}$

基准孔 $H7$: $EI = 0, ES = 21\mu\text{m}$

孔 $P7$ 的基本偏差从表 2-6 查得

$$ES = -22 + \Delta\mu\text{m} = -22 + 8\mu\text{m} = -14\mu\text{m}$$

$$EI = ES - IT7 = -14 - 21\mu\text{m} = -35\mu\text{m}$$

基准轴 $h6$ 的上偏差: $es = 0$

下偏差: $ei = es - IT6 = 0 - 13\mu\text{m} = -13\mu\text{m}$

由此得到

$$\phi 25 H7 \left(\begin{smallmatrix} +0.021 \\ 0 \end{smallmatrix} \right) \quad \phi 25 p6 \left(\begin{smallmatrix} +0.035 \\ +0.022 \end{smallmatrix} \right)$$

$$\phi 25 P7 \left(\begin{smallmatrix} -0.014 \\ -0.035 \end{smallmatrix} \right) \quad \phi 25 h6 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.013 \end{smallmatrix} \right)$$

2) 计算配合的极限过盈:

$$\phi 25 H7/p6 : Y_{\max} = EI - es = 0 - 35\mu\text{m} = -35\mu\text{m}$$