

第 1 章

互换性与测量技术概述

【学习目标】

了解互换性的意义、标准化的概念、优先数的定义和优先数系的构成;明确机械精度设计的基本原则及主要方法;激发学生对本课程的学习兴趣。

【学习重点】

掌握互换性和标准化的概念、优先数的定义和优先数系的构成。

【学习导航】

自行车(见图 1-1)由导向系统、驱动系统、制动系统等组成,包括车架、轮胎、脚踏、刹车、链条等部件,这些基本部件缺一不可。请思考这些零件维修时的相互替换是如何实现的,其中机械零件如何进行设计、生产才能实现快速维修或更换。



图 1-1 自行车

在日常生活中经常看到这样一种情况:汽车、自行车上的零件坏了,维修人员将同样规格的零件换上,就能恢复汽车、自行车的功能而使之继续使用。无须选配,零件有这种规格尺寸和功能上的一致性与替代性,就认为这些零件具有互换性。

1.1 课程的性质、任务、特点及教学目标

本课程由互换性与测量技术两个联系密切的部分组成,是机械工程技术人员和管理人员必备的基本知识与技能。

1.1.1 课程性质和课程任务

和互换性与测量技术密切相关的前导课程有机械制图、金属工艺学、机械原理等,后续课程有机械设计、机械制造、质量控制等,特别是公差与配合的选用这一部分内容,更有待后续课程和课程设计及毕业设计去实践与提高。

1. 课程性质

互换性与测量技术是高等学校机械类和近机类专业一门重要的专业技术基础课,是系统介绍精度设计的一门课程,是教学计划中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。本课程由公差配合与几何量检测两部分组成。公差配合的内容主要通过课堂教学和课外作业来完成,几何量检测的内容主要通过实验课来完成。

2. 课程任务

本课程的主要任务是从互换性的角度出发,围绕误差与公差这两个概念研究产品使用要求与制造要求之间的矛盾,培养学生正确应用国家标准和检测方法的习惯。

通过学习本课程,学生应达到下列要求:

- (1)掌握与标准化和互换性相关的基本概念、基本理论和原则。
- (2)熟练掌握课程中涉及的几何量公差标准的主要内容、特点和应用原则。
- (3)初步学会根据机器和零件的功能要求,选用几何量公差与配合。
- (4)学会查阅工具书,如设计手册、标准等,能够熟练查、用本书中介绍的公差表格,能正确标注图样。
- (5)熟悉各种典型几何量的检测方法,初步学会使用常用的计量器具。
- (6)初步具备公差设计及精度检测的基本能力。

1.1.2 课程特点

互换性与测量技术具有概念性强,符号、代号多,标准规定多,定义、术语多,涉及面广,实践性强,经验解法多等特点。学生在学习中应注意及时总结归纳,找出它们之间的关系和联系。本课程尽管概念很多,涉及面广,但各部分都是围绕着以保证互换性为主的精度设计问题,介绍各种典型零件几何精度的概念,分析各种零件几何精度的设计方法,论述各种零件的检测规定,等等。因此,学生要认真按时完成作业,认真做实验和写实验报告。学生在学习中要重视实验课,因为实验课是本课程验证基本知识、训练基本技能、理论联系实际的重要环节,对于理论的掌握有着重要意义。

基于本课程的特点,学习中要注意以下方法:

- (1)注意及时总结、归纳,找出各要领、各规定之间的区别和联系,并多做习题。
- (2)注意实践环节的训练,尽可能独立操作、独立思考,做到理论与实践相结合。
- (3)尽可能与相关课程的知识联系,使学到的公差配合理论得以举一反三,能达到实际应用的目的。

1.1.3 课程教学目标

本课程的教学目标是从互换性角度出发,系统、简练地介绍公差的有关标准、选用方法和误差检测的基本知识,使学生掌握有关精度设计和几何量检测的基础理论知识和基本

技能。

1. 知识教学目标

- (1)系统、简练地宣传、贯彻国家颁布的与公差有关的标准和选用方法。
- (2)从保证机械零件的互换性和几何精度出发,介绍测量技术的基本理论和测量的基本知识 with 技能。

2. 能力培养目标

- (1)掌握有关互换性、公差、检测及标准化的概念。
- (2)掌握极限与配合、几何公差、表面粗糙度标准的规定并能正确选用及标注,能查用有关表格。
- (3)基本掌握常用件的互换性规定及常用检测方法。
- (4)掌握尺寸传递的概念,理解计量器具的分类、常用度量指标和测量方法。
- (5)掌握尺寸链的计算方法。
- (6)会设计光滑极限量规。

1.2 互换性概述

在日常生活中互换性随处可见。如汽车、摩托车、家用电器、计算机等,若其中某一零件坏了,经维修人员用同样规格的零件换上,它们很快就能恢复原来的功能。这是因为合格的产品和零件具有在材料、性能、几何尺寸和使用功能上彼此互相替换的性能,即具有互换性。广义上说,互换性是指一种产品、过程或服务能够代替另一产品、过程或服务,且能满足同样要求的能力。

1.2.1 互换性的定义

互换性是指在同一规格的一批零件中任取其一,无须任何挑选或附加修配(如钳工维修)就能装在机器上,并达到规定的功能要求。这样的一批零件就称为具有互换性的零件。

制造业生产中经常要求产品的零件具有互换性。何谓零件的互换性呢?制造业的产品或机器由许多零件组成,而这些零件是由不同的工厂和车间制成的。零件的互换性是指在装配时从制成的同一规格的零件中任意取一件,无须任何挑选或修配,就能与其他零件安装在一起而组成一台机器,并且能达到规定的使用性能要求。因此,零件的互换性就是同一规格零件按规定的技术要求制造,能够彼此相互替换使用而效果相同的性能。

1.2.2 互换性的种类

从广义上讲,零件的互换性应包括几何量、力学性能和理化性能等方面的互换性。但本课程仅讨论零件几何量的互换性,即几何量方面的公差和检测。

1. 完全互换性和不完全互换性

按不同场合对零件互换的形式和程度的不同要求,互换性可以分为完全互换性和不完全互换性两类。

- (1)完全互换性。完全互换性是指对于同一规格的零件,装配前不经任何选择,装配时无须任何调整或修配就能装配到机器上,并能满足预定的使用要求的性能。完全互换以零

件装配或更换时不需要挑选或修配为条件。孔和轴加工后,只要符合设计的规定要求,就具有完全互换性。

(2)不完全互换性。不完全互换性是指对于同种零件加工好以后,在装配前需要经过挑选、调整或修配等才能满足使用要求的性能。具有不完全互换性的零件在装配时允许有附加条件的选择或调整,可以采用分组装配法、调整法等来实现互换。

2. 内互换性和外互换性

对于标准部件或机构来讲,其互换性又可分为内互换性和外互换性。

(1)内互换性。内互换性指部件或机构内部组成零件间的互换性。如滚动轴承内、外圈滚道与滚动体(滚珠或滚柱)间的配合。

(2)外互换性。外互换性指部件或机构与其配合件间的互换性。如滚动轴承内圈与传动轴的配合、滚动轴承外圈与壳体孔的配合。

1.2.3 互换性的重要性

互换性的重要性主要体现在设计、制造和使用 3 个方面。

(1)在设计方面,零件具有互换性能最大限度地使用标准件,便于简化绘图和计算等工作,使设计周期变短,有利于产品更新换代和 CAD 技术的应用。

(2)在制造方面,零件具有互换性有利于组织专业化大生产,而专业化大生产才有可能采用高科技和高生产率的先进工艺和装备,从而大大提高装配生产率和产品质量,降低生产成本。

(3)在使用方面,零件具有互换性可以及时更换那些已经磨损或损坏的零件,对于某些易损件可以提供备用件,方便维修,从而减少机器的维修时间和费用,延长机器的使用寿命。

总之,互换性是专业化协作生产的重要条件。互换性原则是组织现代化生产的极为重要的技术经济原则,也是现代机械制造业中普遍遵守的原则,在提高产品质量和可靠性、提高经济效益等方面具有重大的意义。

1.3 实现互换性的基础和条件

要使具有互换性的产品几何参数完全一致,是不可能的,也是不必要的。在此情况下,要使同种产品具有互换性,只能使其几何参数和功能参数充分近似,把几何参数的变动量控制在“一定的范围”。其近似程度可按产品质量要求的不同而不同。

标准化是组织现代化生产的重要手段,是实现互换性的必要前提。

1.3.1 公差与检测

只有合理地确定公差与正确地进行检测,才能保证产品质量,实现互换性生产。

1. 公差的概念

任何一台机器,无论结构复杂与简单,都是由最基本的若干个零件构成的。这些具有一定尺寸、形状和相互位置关系的零件,可以通过各种不同的连接形式而装配成为一个整体。如图 1-2 所示的圆柱齿轮减速器,它由箱体、齿轮轴、滚动轴承、端盖(轴承盖)、输出轴、平键、轴套、齿轮和挡油环、螺钉等许多零件通过各种形式而连接成一个整体。如果要满足圆

柱齿轮减速器的使用功能,保证装配质量,就必须控制零件的制造质量。

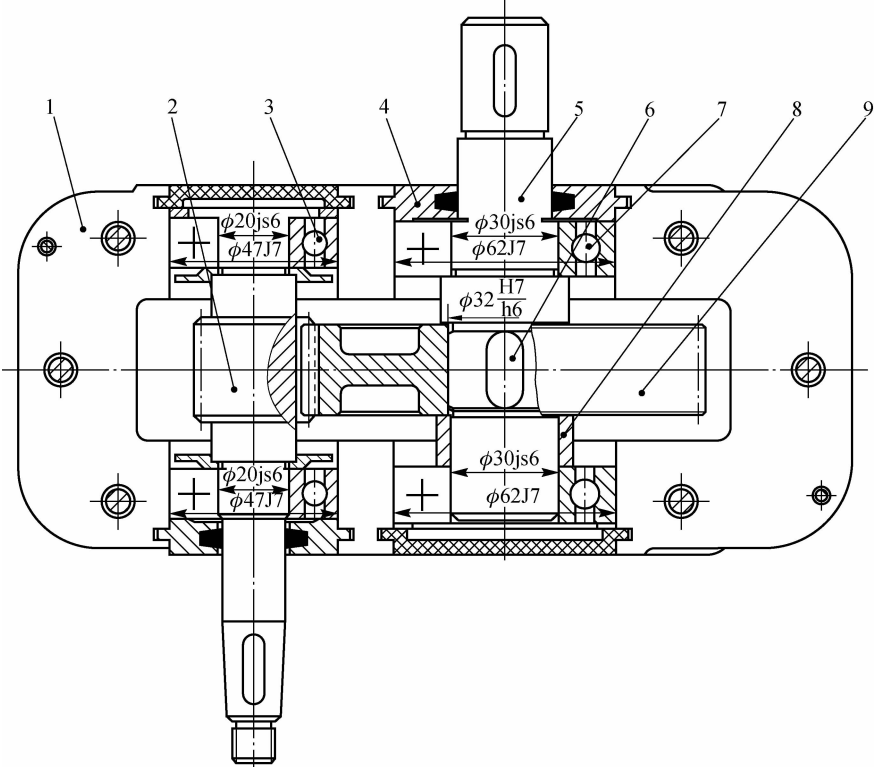


图 1-2 圆柱齿轮减速器

1—箱体；2—齿轮轴；3—滚动轴承；4—端盖；5—输出轴；6—平键；7—滚动轴承；8—轴套；9—齿轮

零件在加工过程中不可能做到绝对准确,不可避免地总会产生种种误差,这样的误差称为几何量误差。实际上,只要零件的几何量误差在图纸规定的范围内变动,加工所得的产品就能满足互换性要求。要使零件具有互换性,不仅要求决定零件特性的技术参数的公称值相同,而且要求其实际值的变动限定在一定范围内,以保证零件充分近似,即应按“公差”来制造零件,公差即允许实际参数值的最大变动量。

设计者的任务就是正确地确定公差,并将它在图样上明确地表示出来。在满足功能要求的前提下,公差值应尽量规定得大一些,以便获得最佳的经济效益。

公差包括尺寸公差、形状公差和位置公差等。公差用来控制零件加工中的误差,以保证互换性的实现。因此,建立各种几何参数的公差标准是实现对零件误差的控制和保证互换性的基础。

2. 检测的重要性

检测是检验和测量的统称。检验是指采取适当的方法和手段,判断工件的几何参数是否在图纸规定的合格范围内。检验仅能判断工件合格与否,不能给出具体的数值。测量是指将被测量与标准量进行比较,从而准确得到被测量的具体数值的过程。

零件的检测是组织互换性生产必不可少的重要措施。零件的加工误差不可避免,因此必须采用先进的公差标准对构成机械的零件的几何量规定合理的公差,用以实现零件的互换性。但如果不采用适当的检测措施,规定的公差就形同虚设,不能发挥作用。

检测不但可以用来评定产品的质量,而且可以根据检测的结果,分析不合格品的产生原因,监督制造工艺过程,及时指导调整生产,以便设法减少和防止废品。因此,检测是机械制造不可缺少的“眼睛”。无数事实证明,产品质量的提高,除依赖于设计和加工精度的提高外,往往更有赖于检测精度的提高。

由此可见,合理确定零件的公差并正确地进行检测,是保证产品质量、实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。本课程讨论的主要内容就是机械零件几何参数的互换性及其技术检测问题。

1.3.2 标准与标准化

现代化工业生产的特点是规模大、协作单位多、互换性要求高。为了正确协调各生产部门和准确衔接各生产环节,必须有一种协调手段使分散的、局部的生产部门和生产环节保持必要的技术统一,成为一个有机的整体,以实现互换性生产。标准与标准化正是实现这种关系的主要途径和手段。

1. 标准与标准化的概念

(1)标准。标准是指对重复性事物和概念所做的统一规定,它以科学技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。标准在一定范围内具有约束力。

(2)标准化。标准化是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制定、发布、实施和修订标准,达到协调统一,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。标准化是社会化生产的重要手段,是联系设计、生产和使用方面的纽带,是科学管理的重要组成部分。标准化对于改进产品、过程和服务的适用性,防止贸易壁垒,促进技术合作方面具有特别重要的意义。

标准化工作指包括制定标准、发布标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督的全部活动过程。这个过程从探索标准化对象开始,经调查、实验和分析,进而起草、制定和贯彻标准,而后修订标准。因此,标准化是一个不断循环而又不断提高其水平的过程。

2. 标准分类

标准化相关条文规定,我国的标准级别分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准 4 级,下一级标准不得与上级标准的有关内容相抵触。

(1)国家标准。国家标准就是对需要在全国范围内统一的产品和技术要求,代号为 GB。

(2)行业标准。行业标准就是对没有国家标准,而又需要在全国某行业范围内统一的产品和技术要求,如机械标准,代号为 JB。但在有了国家标准后,该项行业标准即行废止。

(3)地方标准。地方标准就是对没有国家标准和行业标准,而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的产品、安全、卫生等要求,代号为 DB。但在公布相应的国家标准或行业标准后,该地方标准废止。

(4)企业标准。企业标准是对企业生产的产品制定的作为组织生产依据的技术要求,代号为 QB。在没有国家标准和行业标准的情况下,生产产品需要制定企业标准。对于已有国家标准或行业标准的,企业为了提高产品质量,强化竞争力,制定出高于国家标准的“内控标准”在企业内部使用。所以,企业标准要高于国家标准。

1.4 优先数和优先数系

在制定技术标准和从事机械设计、制造时,经常要涉及很多技术参数。在选定某个数值作为产品的基本技术参数后,该数值将按照一定的规律向一切有关参数进行传播与扩散。技术参数的这种传播与扩散特性,称为数值的传播性。在制定公差标准与设计零件的结构参数时,都需要通过数值来表示。任何产品的参数值不仅与自身的技术特性有关,还直接或间接地影响与其配套的系列产品的参数值。

例如,某个螺栓的直径尺寸一旦确定,与之相配合的螺母尺寸、加工用的丝锥和板牙尺寸、检验用的塞规和环规尺寸等也就随之而定,继而又传向垫圈、扳手等专用件的尺寸,再进一步传向攻丝前的钻孔直径和钻头的尺寸,等等。

由于数值的相互关联、不断传播,机械产品的各种技术参数不能随意确定,否则会给生产组织、协作配套及使用维护带来极大的困难。因此必须把实际应用的数值限制在较小的范围内,并进行优选、协调、简化和统一。为了解决这一类问题,在生产实践的基础上,人们总结了一套科学而统一的数值标准——优先数和优先数系。

凡在科学数值分级制度中被确定的数值均称为优先数。按一定公比由优先数所形成的十进制几何级数系列,称为优先数系。

优先数和优先数系是一整套国际通用的科学、统一、经济、合理的数值分级制度,我国国家标准《优先数和优先数系》(GB/T 321—2005)规定了该数值分级制度的主要内容。国家标准指明:在确定产品的技术参数或参数系列时,必须最大限度地采用优先数和优先数系,以便使产品的参数选择及其后续工作一开始就纳入标准化的轨道。

1. 优先数系的基本系列

国家标准《优先数和优先数系》(GB/T 321—2005)中规定以十进制等比数列为优先数系,并规定了 5 个系列,分别用系列符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示。其中,前 4 个系列为基本系列,基本系列的公比分别为

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

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

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

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

$$R80 \text{ 为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。} R80 \text{ 系列的公比: } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03。$$

按照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,其在工程技术上不能被直接应用。而实际应用的数值都是经过化整处理后的近似值,根据取值的有效数字位数,优先数的近似值可以分为计算值(取 5 位有效数字,供精确计算用)、常用值(优先值,取 3 位有效数字,是经常使用的)和化整值(将常用值做化整处理后所得的数值,一般取 2 位有效数字)。

优先数系的 5 个系列中任一个项值均为优先数。优先数系的基本系列的常用值见表 1-1。

表 1-1 优先数系的基本系列的常用值

基本系列(常用值)				计 算 值
R5	R10	R20	R40	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.000
			1.06	1.059 3
		1.12	1.12	1.122 0
			1.18	1.188 5
	1.25	1.25	1.25	1.258 9
			1.32	1.333 5
		1.40	1.40	1.412 5
			1.50	1.496 2
1.60	1.60	1.60	1.60	1.584 9
			1.70	1.678 8
		1.80	1.80	1.778 3
			1.90	1.883 6
	2.00	2.00	2.00	1.995 3
			2.12	2.113 5
		2.24	2.24	2.238 7
			2.36	2.371 4
2.50	2.50	2.50	2.50	2.511 9
			2.65	2.660 7
		2.80	2.80	2.818 4
			3.00	2.985 4
	3.15	3.15	3.15	3.162 3
			3.35	3.349 7
		3.55	3.55	3.548 1
			3.75	3.758 4
4.00	4.00	4.00	4.00	3.981 1
			4.25	4.217 0
		4.50	4.50	4.466 8
			4.75	4.731 5
	5.00	5.00	5.00	5.011 9
			5.30	5.308 8
		5.60	5.60	5.623 4
			6.00	5.956 6

续表

基本系列(常用值)				计 算 值
R5	R10	R20	R40	
6.30	6.30	6.30	6.30	6.309 6
			6.70	6.683 4
		7.10	7.10	7.079 5
			7.50	7.498 9
	8.00	8.00	8.00	7.943 3
			8.50	8.414 0
		9.00	9.00	8.912 5
			9.50	9.440 6
10.00	10.00	10.00	10.00	10.000 0

表 1-1 中只给出了 1~10 区间的优先数,对大于 10 和小于 1 的优先数,均可用 10 的整数幂(10,100,1 000,⋯或 0.1,0.01,0.001,⋯)乘以表 1-1 中的优先数求得。

2. 优先数系的派生系列和复合系列

为了满足生产的需要,有时需要采用优先数系的派生系列和复合系列。

(1)派生系列。以 Rr/p 表示, r 为 5,10,20,40,80。例如,在派生系列 $R10/3$ 中, r 为 10, p 为 3,其含义为从 R10 系列中的某一项开始,每隔 3 项取一数值,若从 1 开始,就可以得到 1.00,2.00,4.00,8.00,16.00,32.00,64.00,⋯;若从 1.25 开始,就可得到 1.25,2.50,5.00,10.00,⋯数系。

(2)复合系列。习惯用数列,是由若干个公比不同的数列的几段复合而成的。如灯泡功率的复合系列 10 W、15 W、25 W、40 W、60 W、80 W、100 W,前 4 个型号为 R5 系列,后 3 个型号为 R10 系列圆整而成。

3. 优先数系的选择原则

优先数系的应用很广泛,它适用于各种尺寸、参数的系列化和质量指标的分级,对保证各种工业产品的品种、规格、系列的合理化分档和协调配套具有十分重要的意义。

如果没有特殊原因,只要能满足技术与经济上的要求,就应当选用优先数系,并且按照“先疏后密”的原则,先基本系列,后派生系列和复合系列,即按 R5、R10、R20、R40 的顺序选用;当基本系列不能满足要求时,可选用派生系列,注意应优先采用公比较大和延伸项含有项值 1 的派生系列;根据经济性和需要量等不同条件,还可分段选用最合适的系列,以复合系列的形式来组成最佳系列。

国家标准规定的优先数系分档合理,疏密适中,运算方便,有广泛的实用性。优先数系在各种公差标准中被广泛采用,公差标准表格中的数值都是按照优先数系选定的。例如,《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)中的标准公差值主要是由 R5 系列确定的,而尺寸分段则是由 R10 系列确定的。

由于优先数系中包含各种不同公比的系列,因而可以满足各种较密和较疏的分级要求。优先数系以其广泛的适用性,成为国际上通用的标准化数系。工程技术人员应在一切标准

化领域中尽可能地采用优先数系,以达到对各种技术参数协调、简化和统一的目的,促进国民经济更快、更稳地发展。

4. 优先数系的主要优点

(1)数值分级合理。优先数系中各相邻项的相对差相等,即系列中数值间隔相对均匀。因此选用优先数系,技术参数的分布经济、合理,能在产品品种规格的数量与用户实际需求之间达到理想的平衡。

(2)规律明确,利于数值的扩散。优先数系是等比数列,其各项的对数又构成等差数列;同时任意两优先数理论值的积、商和任一项的整次幂仍为同系列的优先数;依次从 R5、R10、R20、R40 到 R80,后一系列包含前一系列的全部项值。这些特点能方便设计与计算,同时有利于数值的扩散。

(3)是国际统一的分级数值制和共同的技术基础。优先数系是国际上统一的数值分级制,是各国共同采用的基础标准;它适用于不同领域各种技术参数的分级,为技术经济工作上的统一和简化,以及产品参数的协调提供了共同的基础。

(4)具有广泛的适应性。优先数系的项值可向两端无限延伸,因而优先数的范围是不受限制的。

另外,优先数系不仅广泛应用于技术标准的制定,还广泛用于尚未标准化的对象。这样可使各种技术参数数值的选择,从一开始就被纳入标准化的轨道,尽量减少非标准数据,为以后进行标准化奠定基础。

本章小结

1. 互换性的概述

互换性是指同一规格的零件具有彼此能够互相替换的性能。按不同场合对零件互换的形式和程度的不同要求,互换性可以分为完全互换性和不完全互换性两类。

2. 实现互换性的基础和条件

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

标准化是组织现代化生产的重要手段,是实现互换性的必要前提。

3. 优先数与优先数系

优先数系由一系列十进制等比数列构成,代号为 R_r 。在每个优先数系中,相隔 r 项的末项与首项相差 10 倍,每个十进制区间中各有 r 个优先数。

习 题

1. 什么是互换性? 互换性如何分类?
2. 完全互换与不完全互换有何区别? 它们各用于何种场合?
3. 公差的概念是什么?
4. 什么是标准和标准化?
5. 优先数系是一种什么数列? 优先数系的基本系列有哪些?

第 2 章

孔和轴的极限与配合

【学习目标】

掌握极限与配合标准中的术语定义,能够熟练地查表并计算极限尺寸、配合尺寸、极限间隙或过盈,并能正确地绘制公差带图;能够正确地选择基准制、公差等级和配合种类;掌握尺寸精度设计的原则和方法;具备尺寸精度设计的初步能力。

【学习重点】

基本偏差和标准公差的查表、极限与配合的选择原则和方法。

【学习导航】

在机械制造中,孔、轴配合,即内、外圆柱体相互结合所构成的结构,是最广泛的一种配合,是制造业的各种机构中最基本、应用最多的一种结构。图 2-1 所示为孔、轴配合状态,为了满足使用要求,保证互换性,应对孔、轴尺寸公差与配合进行标准化。

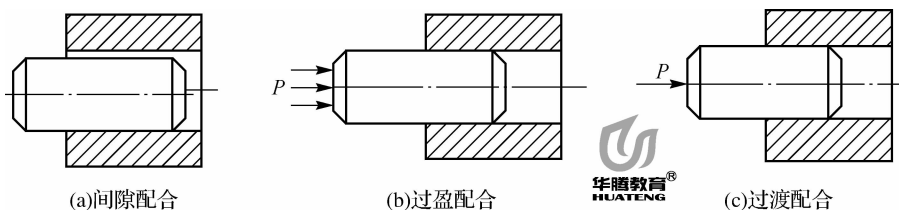


图 2-1 孔、轴配合状态

本章主要阐述极限与配合的构成规则和特征。本章是以后各章节的基础。

2.1 极限与配合的常用词汇

孔、轴配合,即圆柱结合的极限与配合(公差与配合)是一项应用广泛、涉及面大的重要基础标准。本章从孔和轴的概念出发,引出极限、配合等概念,介绍极限与配合的国家标准及公差和配合的选择与应用方法,介绍光滑圆柱体的极限与配合标准的应用。

在机械制造业中,极限用于协调零件的使用要求与制造经济性之间的矛盾,配合反映机器零件之间有关功能要求的相互关系。极限与配合的标准化有利于机器的设计、制造、使用 and 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标准。极限与配合标准,不仅是机械工业各部门进行产品设计、工艺设计和制定其他标准的基础,而且是

广泛组织协作和专业化生产的重要依据。极限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。

现行最新的极限与配合相关国家标准如下：

(1)《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》(GB/T 1800.1—2009)。

(2)《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)。

(3)《产品几何技术规范(GPS) 极限与配合 公差带和配合的选择》(GB/T 1801—2009)。

(4)《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》(GB/T 1804—2000)。

2.1.1 极限与配合基本术语

为了正确理解和应用极限与配合国家标准,必须了解下列基本术语和定义。

GB/T 1800.1—2009 的主要修改内容如下：

(1)为了便于计算机的表述、处理和数据传递,新标准引进了一些新的概念、术语,如公称、组成、提取、拟合、导出等。用“公称尺寸”代替“基本尺寸”。

(2)用“实际(组成)要素”代替“实际尺寸”,用“提取组成要素的局部尺寸”代替“局部实际尺寸”。

(3)上偏差、下偏差分别改为上极限偏差和下极限偏差,最大极限尺寸、最小极限尺寸分别改为上极限尺寸和下极限尺寸。

(4)增加了“尺寸要素”“实际(组成)要素”“拟合组成要素”“提取组成要素”“提取圆柱面的局部尺寸”和“两平行表面的局部尺寸”。

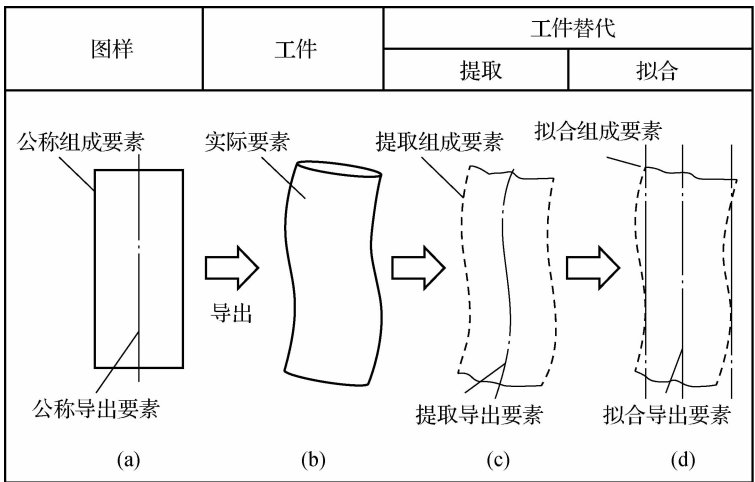


图 2-2 要素的分类

图 2-2(a)所示为一个圆柱形零件,它是由一些要素(点、线、面)组成的,如圆柱面、轴心线、素线、端面等。图 2-2(a)所示为设计人员给出的理想设计图,因此加上“公称”,如公称组成要素和公称导出要素。图 2-2(b)所示为工厂生产出来的零件,因此加上“实际”,如实际

(组成)要素。图 2-2(c)所示为在多坐标测量机上按采样点测量得到的,由于存在测量误差,因而它与实际零件有区别,故加上“提取”,如提取组成要素。图 2-2(d)所示为根据提取要素通过操作得到的一个理想的圆柱体,则加上“拟合”,如拟合组成要素。有的要素要通过别的要素才能得到,如圆柱零件的轴心线,它是通过圆柱面上各点得到的,对这样的要素加上“导出”,如提取导出要素、拟合导出要素。

2.1.2 有关尺寸的术语

1. 尺寸

尺寸指以特定单位表示线性尺寸值的数值,如长度、厚度、直径及中心距离等,由数值数字和特定的长度单位两部分组成。机械工程中规定,一般以 mm(毫米)作为尺寸的特定单位。

下面以孔和轴为例对有关尺寸的术语加以说明。

2. 孔和轴

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)。孔的直径尺寸用 D 表示。图 2-3 中 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_6 各尺寸确定的包容面,均称为孔。

轴通常指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(由两平行平面或切面形成的被包容面)。轴的直径尺寸用 d 表示。图 2-3 中 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 各尺寸确定的被包容面,均称为轴。

从广义上看,孔和轴既可以是圆柱形的,又可以是非圆柱形的。标准中定义的孔、轴具有广泛的含义,像槽一类的两平行侧面也称为孔,而在槽内安装的滑块类零件的两平行侧面被称为轴。但椭圆形的表面不能称为孔或轴。孔和轴的定义明确了极限与配合国家标准的应用范围。这样,键联接的公差与配合可直接应用相应的国家标准。

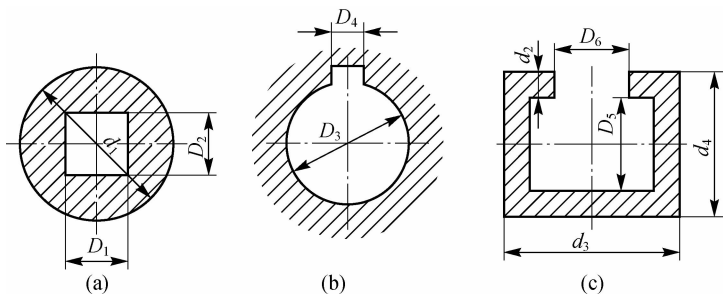


图 2-3 孔和轴的示意图

3. 公称尺寸

公称尺寸是指设计给定的尺寸,孔用 D 、轴用 d 表示。它是设计者根据使用要求,考虑零件的强度、刚度和结构后,计算出的或通过试验和类比等方法确定的。

如图 2-4 所示, $\phi 20$ mm 及 30 mm 为圆柱销的直径和长度的公称尺寸。

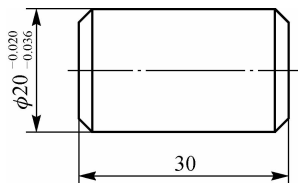


图 2-4 圆柱销

公称尺寸(见图 2-5)的数值一般应按《标准尺寸》(GB/T 2822—2005)所规定的数值进行圆整,应尽量按标准系列选取,以减少定值刀具、夹具、量具的规格和数量。

4. 提取组成要素的局部尺寸

提取组成要素的局部尺寸是一切提取组成要素上两对应点之间距离的统称(它类似于旧国标中的实际尺寸)。孔和轴的提取组成要素的局部尺寸分别用 D_a 、 d_a 表示。

5. 极限尺寸

极限尺寸指尺寸要素允许的尺寸的两个极端。尺寸要素允许的最大尺寸称为上极限尺寸(旧国标中称为最大极限尺寸),孔和轴的上极限尺寸分别用 $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$ 表示。尺寸要素允许的最小尺寸称为下极限尺寸(旧国标中称为最小极限尺寸),孔和轴的下极限尺寸分别用 $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$ 表示。

合格的零件尺寸,提取组成要素的局部尺寸和完工零件的实际(组成)要素尺寸应位于上极限尺寸和下极限尺寸之间,也可达到极限尺寸。

图 2-5 所示为轴和孔的上、下极限尺寸示意图。轴的尺寸合格条件为

$$d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}$$

孔的尺寸合格条件为

$$D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max}$$

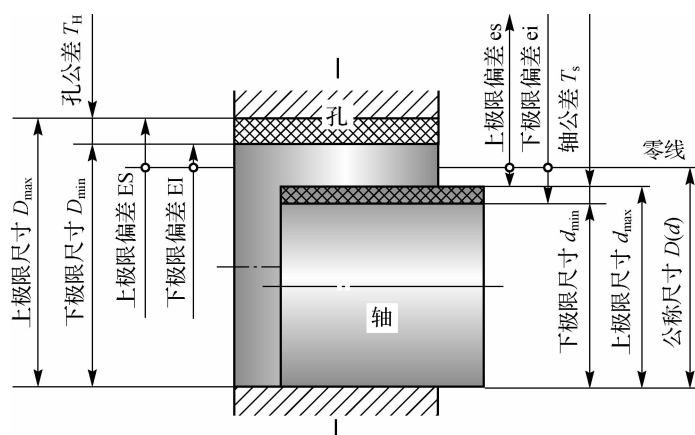


图 2-5 轴和孔的上、下极限尺寸示意图

6. 最大实体状态和最大实体尺寸

假定提取组成要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其实体最大的状态称为最大实体状态,简称 MMC。即孔或轴具有允许的材料量为最多时的状态称为最大实体状态。

在最大实体状态下的极限尺寸称为最大实体尺寸,简称 MMS。即孔的下极限尺寸($D_{\min}$)和轴的上极限尺寸($d_{\max}$)统称为最大实体尺寸。

7. 最小实体状态和最小实体尺寸

假定提取组成要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其实体最小的状态称为最小实体状态,简称 LMC。即孔或轴具有允许的材料量为最少时的状态称为最小实体状态。

在最小实体状态下的极限尺寸称为最小实体尺寸,简称 LMS。即孔的上极限尺寸($D_{\max}$)和轴的下极限尺寸($d_{\min}$)统称为最小实体尺寸。

孔、轴的极限尺寸和实体尺寸的关系为

$$D_M = D_{\min}, D_L = D_{\max}$$

$$d_M = d_{\max}, d_L = d_{\min}$$

2.1.3 有关公差与偏差的术语

1. 尺寸公差

尺寸公差是指允许尺寸的变动量,简称公差。上、下极限尺寸之差或上、下极限偏差之差称为公差,常用 T 表示。公差取绝对值,不存在负值,也不允许为零。

轴的公差

$$T_d = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei|$$

孔的公差

$$T_D = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI|$$

2. 尺寸偏差

尺寸偏差是指某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差,简称偏差,可分为实际偏差、极限偏差和提取偏差。

(1)实际偏差。实际尺寸减公称尺寸所得的代数差称为实际偏差。

(2)极限偏差。极限尺寸减公称尺寸所得的代数差称为极限偏差,又有上、下极限偏差之分。

①上极限偏差。上极限尺寸减公称尺寸所得的代数差称为上极限偏差,孔的上极限偏差用代号 ES 、轴的上极限偏差用代号 es 表示。

②下极限偏差。下极限尺寸减公称尺寸所得的代数差称为下极限偏差,孔的下极限偏差用代号 EI 、轴的下极限偏差用代号 ei 表示。

轴的上、下极限偏差为

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

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

孔的上、下极限偏差为

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

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

国家标准规定:标注极限偏差时,上极限偏差标在公称尺寸的右上角,下极限偏差标在公称尺寸的右下角,如 $\phi 25_{-0.013}^0$ 、 $\phi 45_{+0.009}^{+0.025}$ 、 $\phi 50f6(-0.033, -0.020)$ 或 $\phi 55J7(+0.018, -0.012)$ 。极限偏差应冠以符号,假如将上极限偏差 $es = +0.021$ 写成 $es = 0.021$,就是错误的。

(3)提取偏差。提取组成要素的局部尺寸减公称尺寸所得的代数差称为提取偏差。孔的提取偏差用代号 E_a 表示,轴的提取偏差用代号 e_a 表示,则

$$e_a = d_a - d$$

$$E_a = D_a - D$$

偏差可以为正、为负或为零,为正表示其尺寸大于公称尺寸,为负表示其尺寸小于公称尺寸,为零表示其尺寸等于公称尺寸。不为零的偏差值在标注时必须在其值前标上相应的“+”或“-”号,即使偏差值为零,“0”也不能省略。

完工后零件尺寸的合格条件如下:

对于轴有 $ei \leq e_a \leq es$ 。

对于孔有 $EI \leq E_a \leq ES$ 。

极限尺寸、公差与偏差三者之间的关系如下：

- (1) 公差是绝对值,且不能为零;偏差是代数值,可为正、为负或为零。
- (2) 公差用于限制尺寸误差,极限偏差用于限制提取偏差。
- (3) 对于单个零件只能测出尺寸的提取偏差,对于一批零件可以统计出尺寸误差。
- (4) 公差表示制造精度,反映加工难度;偏差取决于加工机床的调整,不反映加工难易程度。
- (5) 公差反映公差带大小,影响配合精度;极限偏差反映公差带位置,影响配合松紧程度。

公差用于限制尺寸误差,取决于制造精度,反映公差带的大小,影响配合的松紧变动,即影响配合精度;极限偏差用于限制实际偏差,取决于加工时机床调整,反映公差带的位置,影响配合的松紧程度。

3. 公差带图

公差带图是用来表示极限偏差、公称尺寸与公差的相互关系的图解。公差带图由零线和公差带组成,如图 2-6 所示。

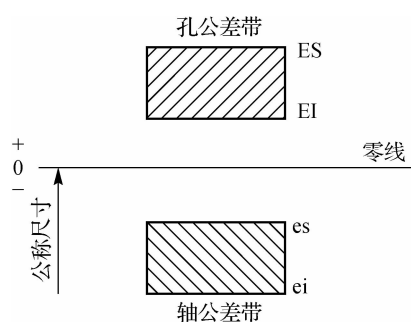


图 2-6 公差带图

(1) 零线。在公差带图中,零线是一条基准直线,表示公称尺寸。偏差和公差以零线为基准来确定。正偏差位于零线上方,负偏差位于零线下方。当偏差与零线重合时,表示偏差为零。

(2) 公差带。在公差带图中,公差带是由代表上极限偏差和下极限偏差的两条直线所限定的一个区域。公差带有两个基本参数,即公差带大小(即宽度)和公差带位置(指相对于零线的位置)。公差带大小由标准公差确定,公差带位置由基本偏差确定。

① 标准公差。国家标准规定的、用以确定公差带大小的任一公差,称为标准公差。

② 基本偏差。基本偏差是用来确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差,一般指靠近零线的那个偏差。基本偏差可以是上极限偏差或下极限偏差,如图 2-6 所示,当孔的公差带位于零线以上时,其基本偏差为下极限偏差;当轴的公差带位于零线以下时,其基本偏差为上极限偏差。

2.1.4 有关配合的术语

1. 配合

公称尺寸相同、相互结合的孔和轴公差带之间的关系称为配合。配合反映了结合零件间的松紧程度。根据孔和轴公差带之间的关系不同,配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三大类。

2. 间隙配合

孔的公差带在轴的公差带之上,保证具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合,称为间隙配合,如图 2-7 所示。

对于一批零件,间隙配合时所有轴的尺寸均不大于孔的尺寸。孔的尺寸减去相配合的

轴的尺寸所得的正差值用 X 表示。

间隙配合的特征参数是最大间隙 $X_{\max}$ 和最小间隙 $X_{\min}$ 。孔的上极限尺寸减轴的下极限尺寸所得的代数差称为最大间隙。孔的下极限尺寸减轴的上极限尺寸所得的代数差称为最小间隙。

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

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

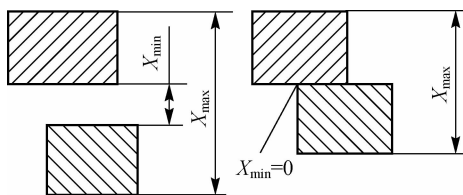


图 2-7 间隙配合

3. 过盈配合

孔的公差带在轴的公差带之下,保证具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合,称为过盈配合,如图 2-8 所示。

对于一批零件,过盈配合时所有孔的尺寸均不大于轴的尺寸。孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的负差值用 Y 表示。

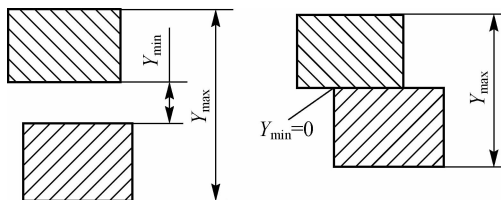


图 2-8 过盈配合

过盈配合的特征参数是最大过盈 $Y_{\max}$ 和最小过盈 $Y_{\min}$ 。孔的下极限尺寸减轴的上极限尺寸所得的代数差称为最大过盈。孔的上极限尺寸减轴的下极限尺寸所得的代数差称为最小过盈。

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

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

4. 过渡配合

孔的公差带与轴的公差带相互交叠的配合称为过渡配合,如图 2-9 所示。过渡配合是指可能产生间隙或过盈的配合。

过渡配合的特征参数是最大间隙 $X_{\max}$ 和最大过盈 $Y_{\max}$ 。孔的上极限尺寸减轴的下极限尺寸所得的代数差称为最大间隙。孔的下极限尺寸减轴的上极限尺寸所得的代数差称为最大过盈。

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

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

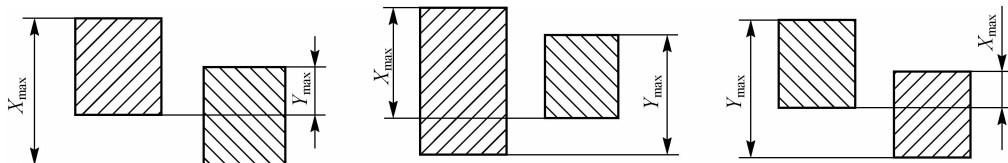


图 2-9 过渡配合

5. 配合公差

由于孔、轴有公差,因而孔、轴配合也会有公差。配合公差是一个没有符号的绝对值,配合公差是允许间隙或过盈的变动量。

配合公差是评定配合质量的一个重要综合指标,它表明配合松紧程度的变化范围。配合公差用 T_f 表示,其计算式如下:

间隙配合的配合公差等于最大间隙与最小间隙代数差的绝对值:

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}|$$

过盈配合的配合公差等于最小过盈与最大过盈代数差的绝对值:

$$T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}|$$

过渡配合的配合公差等于最大间隙与最大过盈代数差的绝对值:

$$T_f = |X_{\max} - Y_{\max}|$$

由以上公式可以推导出 3 类配合的配合公差都为

$$T_f = |(ES - ei) - (EI - es)| = T_D + T_d$$

此式表明配合公差等于相互配合的孔和轴的公差之和。配合精度取决于孔、轴的尺寸精度。设计时,若要提高配合精度,可提高配合公差来确定孔和轴的尺寸公差,可减小相配合的孔、轴的尺寸公差。而孔和轴的尺寸公差是制造时允许尺寸变动范围的大小,体现了加工难易的程度。

配合公差越大,配合时形成的间隙或过盈可能出现的差别也越大,也就是配合后产生的松紧差别的程度越大,即配合的精度越低。配合公差越小,间隙或过盈可能出现的差别也越小,其松紧差别的程度越小,即配合的精度越高。

【例 2-1】 已知孔、轴的公称尺寸为 $\phi 30$ mm,孔的上极限尺寸为 $\phi 30.033$ mm,孔的下极限尺寸为 $\phi 30$ mm,轴的上极限尺寸为 $\phi 29.993$ mm,轴的下极限尺寸为 $\phi 29.972$ mm。试计算孔和轴的极限偏差、公差、配合公差,并画出孔、轴公差带图解。

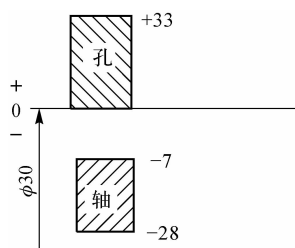


图 2-10 孔、轴的公差带图解

解 (1)求孔、轴的极限偏差、公差和配合公差。

孔的上极限偏差: $ES = D_{\max} - D = 30.033 - 30 = +0.033$ mm

孔的下极限偏差: $EI = D_{\min} - D = 30 - 30 = 0$

孔的公差: $T_D = |ES - EI| = | +0.033 - 0 | = 0.033$ mm

轴的上极限偏差: $es = d_{\max} - d = 29.993 - 30 = -0.007$ mm

轴的下极限偏差: $ei = d_{\min} - d = 29.972 - 30 = -0.028$ mm

轴的公差: $T_d = es - ei = |(-0.007) - (-0.028)| = 0.021$ mm

配合公差: $T_f = |T_D + T_d| = |(+0.033) + (+0.021)| = 0.054$ mm

(2)画孔、轴的公差带图解。孔、轴的公称尺寸相同,可画在一张图上,如图 2-10 所示。

【例 2-2】 现有一个 $\phi 50^{+0.025}_{-0.025}$ mm 的孔,与 3 个尺寸要求不同的轴($\phi 50^{+0.025}_{-0.041}$ mm、 $\phi 50^{+0.042}_{-0.026}$ mm、 $\phi 50^{+0.025}_{-0.009}$ mm)配合,分别形成哪种配合? 求配合的特征参数和配合公差并画出公差带图。

解 (1)该孔与尺寸为 $\phi 50^{+0.025}_{-0.041}$ mm 的轴形成间隙配合。

最大间隙: $X_{\max} = ES - ei = (+0.025) - (-0.041) = +0.066$ mm

最小间隙: $X_{\min} = EI - es = 0 - (-0.025) = +0.025 \text{ mm}$

配合公差: $T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = |(+0.066) - (+0.025)| = 0.041 \text{ mm}$

或

$T_f = T_D + T_d = |ES - EI| + |es - ei| = |(+0.025) - 0| + |(-0.025) - (-0.041)| = 0.041 \text{ mm}$

(2) 该孔与尺寸为 $\phi 50_{+0.026}^{+0.042} \text{ mm}$ 的轴形成过盈配合。

最大过盈: $Y_{\max} = EI - es = 0 - (+0.042) = -0.042 \text{ mm}$

最小过盈: $Y_{\min} = ES - ei = (+0.025) - (+0.026) = -0.001 \text{ mm}$

配合公差: $T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}| = |(-0.001) - (-0.042)| = 0.041 \text{ mm}$

或

$T_f = T_D + T_d = |ES - EI| + |es - ei| = |(+0.025) - 0| + |(+0.042) - (+0.026)| = 0.041 \text{ mm}$

(3) 该孔与尺寸为 $\phi 50_{+0.009}^{+0.025} \text{ mm}$ 的轴形成过渡配合。

最大间隙: $X_{\max} = ES - ei = (+0.025) - (+0.009) = +0.016 \text{ mm}$

最大过盈: $Y_{\max} = EI - es = 0 - (+0.025) = -0.025 \text{ mm}$

配合公差: $T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = |(+0.016) - (-0.025)| = 0.041 \text{ mm}$

或

$T_f = T_D + T_d = |ES - EI| + |es - ei| = |(+0.025) - 0| + |(+0.025) - (+0.009)| = 0.041 \text{ mm}$

(4) 画公差带图。因为公称尺寸相同, 所以可将这三种不同配合画在同一张尺寸公差带图上, 如图 2-11 所示。

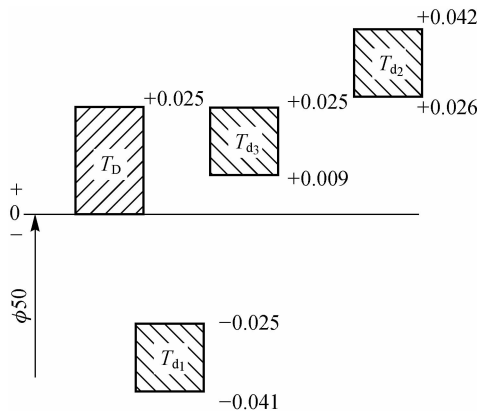


图 2-11 尺寸公差带图(例 2-2)

分析: 从上述例题可以看出, 虽然孔、轴的尺寸公差相同而使配合公差相同, 但是轴的极限尺寸或极限偏差不同, 导致配合性质完全不同。因此可以说, 孔、轴的尺寸精度决定了配合精度, 而孔、轴的极限尺寸或极限偏差决定了配合性质。

6. 配合制

配合制即基准制, 是指同一公称尺寸的孔和轴组成配合的一种制度。国家标准 GB/T 1801—2009 对配合规定了两种基准制, 即基孔制与基轴制。

(1) 基孔制。基孔制即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 2-12(a) 所示。标准规定基准孔的基本偏差(下偏差)为零(即

$EI=0$),代号为 H。

基孔制配合的孔是基准孔,它是配合的基准件,而轴为非基准件。

(2)基轴制。基轴制即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 2-12(b)所示。标准规定基准轴的基本偏差(上偏差)为零(即 $es=0$),代号为 h。

基轴制中的轴为基准轴,它是配合的基准件,而孔为非基准件。

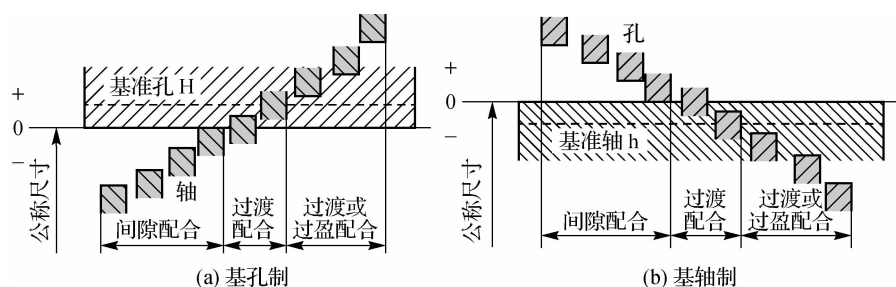


图 2-12 基准制

【例 2-3】 已知某配合中孔和轴的公称尺寸为 $D(d)=\phi 25 \text{ mm}$, $X_{\max}=+0.013 \text{ mm}$, $Y_{\max}=-0.21 \text{ mm}$, $T_d=0.013 \text{ mm}$, 因结构需要而采用基轴制。求 ES 、 EI 、 es 、 ei 、 T_f , 并画出尺寸公差带图。

解 (1)由题意可知,采用基轴制配合,基准轴的基本偏差为 es ,并且 $es=0$ 。

又因为 $T_d=0.013 \text{ mm}$,所以 $ei=es-T_d=-0.013 \text{ mm}$ 。

(2)求孔的 ES 、 EI 。

因为 $X_{\max}=ES-ei=ES-(-0.013)=+0.013 \text{ mm}$,所以 $ES=0$ 。

又因为 $Y_{\max}=EI-es=-0.021 \text{ mm}$,所以 $EI=-0.021 \text{ mm}$ 。

$T_f=T_D+T_d=|ES-EI|+|es-ei|=0.021+0.013=0.034 \text{ mm}$

或

$T_f=|X_{\max}-Y_{\max}|=|0.013-(-0.021)|=0.034 \text{ mm}$

(3)尺寸公差带图如图 2-13 所示。

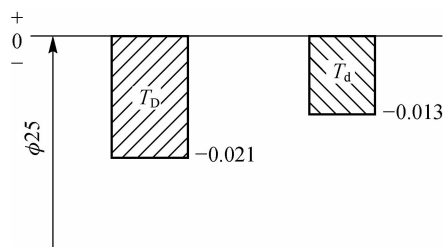


图 2-13 尺寸公差带图(例 2-3)

2.2 标准公差系列

极限与配合制中国国家标准主要由标准公差系列、基准制和基本偏差系列组成。

配合是孔、轴公差带的组合。而孔、轴公差带是由公差带的大小和位置两个基本要素组成的。前者决定公差值的大小(即配合精度),后者决定配合的性质(即配合松紧)。为了实现互换性和满足各种使用要求,国家标准对不同公称尺寸,按标准公差系列(公差带大小或公差数值)标准化和基本偏差系列(公差带位置)标准化的原则来制定。

标准公差是指国家标准中规定的任一公差。标准公差系列是按国家标准制定的一系列标准公差值,它包含标准公差等级和标准公差数值两项内容。表 2-1 列出了 GB/T 1800. 2—2009 规定的机械制造行业常用尺寸(至 500 mm)的标准公差值,它由公称尺寸和标准公差等级确定。

表 2-1 标准公差值表(摘自 GB/T 1800. 2—2009)

公称尺寸/mm		标准公差等级																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm												mm					
—	3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3	6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7

注:公称尺寸小于或等于 1 mm 时,无 IT4~IT8。

2.2.1 标准公差等级及代号

确定尺寸精确程度的等级称为标准公差等级,又称精度等级。标准公差等级由标准公差符号 IT 及等级数字组成。为了满足生产的需要,我国标准公差等级规定为 20 个等级,依次为 IT01、IT0、IT1、…、IT18。从 IT01 到 IT18,等级依次降低,标准公差值依次增大。IT (ISO tolerance 的缩写)表示国际公差,如 IT7 称为标准公差 7 级。

2.2.2 标准公差数值

在机械制造业中,常用尺寸为小于或等于 500 mm 的尺寸;该尺寸段在生产实践中应用最广。这里重点对该尺寸段的标准公差数值进行介绍。

1. 标准公差单位及其计算式的确定

标准公差单位(也称公差因子)是计算标准公差数值的基本单位,也是制定标准公差数

值系列列表的基础。根据生产实际经验和科学统计分析,公差因子和零件尺寸的关系曲线如图 2-14 所示。

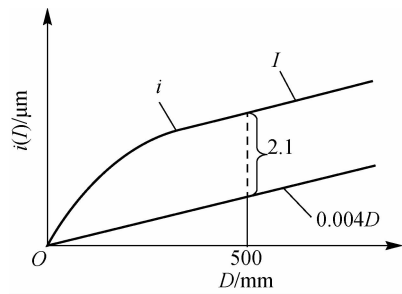


图 2-14 公差因子和零件尺寸的关系曲线

当公称尺寸不大于 500 mm 时,IT5~IT18 公差因子的计算公式为

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

式中, i 的单位为 μm ; D 为公称尺寸段的几何平均值, mm。第一项 $0.45 \sqrt[3]{D}$ 主要反映加工误差的影响,第二项 $0.001D$ 主要用于补偿测量时温度不稳定和偏离标准温度及量规的变形等引起的测量误差。

2. 标准公差数值的计算

为了简化和统一对公差的要求,以便既能满足广泛的、不同的使用要求,又能代表各种加工方法的精度,有必要合理地规定和划分公差等级。

在同一公称尺寸内,同一公差等级的公差对所有的尺寸段虽然公差数值不同,但应看作有同等的精确程度。

公称尺寸不大于 500 mm 的尺寸段,其标准公差数值计算公式为

$$T=ai \quad (2-2)$$

式中, a 为公差等级系数。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 优先数系,即公比为 $q=\sqrt[5]{10}\approx 1.6$ 的等比数列,每隔 5 级,公差数值增加 10 倍。常用尺寸段(公称尺寸至 500 mm)的标准公差数值计算公式见表 2-2。

表 2-2 常用尺寸段的标准公差数值计算公式

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

对于高精度的 IT01、IT0、IT1,其标准公差数值与零件公称尺寸呈线性关系。IT2、IT3、IT4 的标准公差以一定公比的几何级数插入 IT1 与 IT5 之间,即得到表 2-2 所列的相应计算公式。

3. 公称尺寸分段及 D 值的确定

从理论上来看,每个公称尺寸都对应一个相应的标准公差值。在实际生产中,公称尺寸很多,导致编制的公差表格会非常庞大,这样既给生产、设计带来不少麻烦和困难,又不利于公差值的标准化、系列化。当公称尺寸变化不大时,其公差值很接近。为了减少标准公差的数目、统一公差值、简化公差表格、便于实际应用,国家标准对公称尺寸进行了分段,对同一尺寸段内所有的公称尺寸,在相同公差等级情况下,规定相同的标准公差。

在机械产品中,公称尺寸不大于 500 mm 的尺寸段在生产中应用最广,该尺寸段的尺寸分段见表 2-1。根据表 2-1 计算标准公差时,每个尺寸分段内的公称尺寸 D 统一按照首尾两尺寸 D_1 、 D_2 的几何平均值代入计算,即 $D = \sqrt{D_1 \times D_2}$ 。

【例 2-4】 公称尺寸为 $\phi 20$ mm,求标准公差 IT6、IT8 的数值。

解 $\phi 20$ mm 属于 $>18 \sim 30$ mm 的尺寸分段,其尺寸的几何平均值为

$$D = \sqrt{18 \times 30} \approx 23.24 \text{ mm}$$

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

查表 2-2 可得

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

$$\text{IT8} = 25i = 25 \times 1.31 \approx 33 \mu\text{m}$$

【例 2-5】 已知 $d_1 = \phi 100$ mm, $d_2 = \phi 8$ mm, $T_{d_1} = 35 \mu\text{m}$, $T_{d_2} = 22 \mu\text{m}$,确定两轴加工的难易程度。

解 通过查表 2-1 可得,轴 1 的公称尺寸属于尺寸分段 80~120 mm,由于其公差值为 35 μm ,可知轴 1 的标准公差等级为 IT7;轴 2 的公称尺寸属于尺寸分段 6~10 mm,由于其公差值为 22 μm ,可知轴 2 的标准公差等级为 IT8;所以轴 1 比轴 2 的公差等级高,精度高,因而轴 1 比轴 2 难加工。

2.3 基本偏差系列

基本偏差是指已经标准化了的、用来确定公差带相对于零线的位置的上极限偏差或下极限偏差。基本偏差一般为靠近零线的那个偏差。

为了满足各种不同松紧程度的配合需要,同时尽量减少配合种类,以利于互换,国家标准对孔和轴分别规定了 28 种基本偏差。标准化的基本偏差就组成了基本偏差系列。

不同的公差带位置与基准件形成不同的配合。基本偏差的数量将决定配合种类的数量。这 28 个基本偏差代号反映了 28 种公差带的位置。

2.3.1 基本偏差代号及其特点

1. 基本偏差代号

基本偏差系列如图 2-15 所示。

国家标准对孔和轴分别规定了 28 种基本偏差,分别用拉丁字母表示,其中孔用大写字母表示,轴用小写字母表示。28 种基本偏差代号,由从 26 个拉丁字母中去掉了 5 个易与其他参数相混淆的字母 I、L、O、Q、W(i、l、o、q、w),剩下的 21 个字母,又增加了 7 个双写字母 CD、EF、FG、JS、ZA、ZB、ZC(cd、ef、fg、js、za、zb、zc)组成。这些基本偏差构成基本偏差系列。

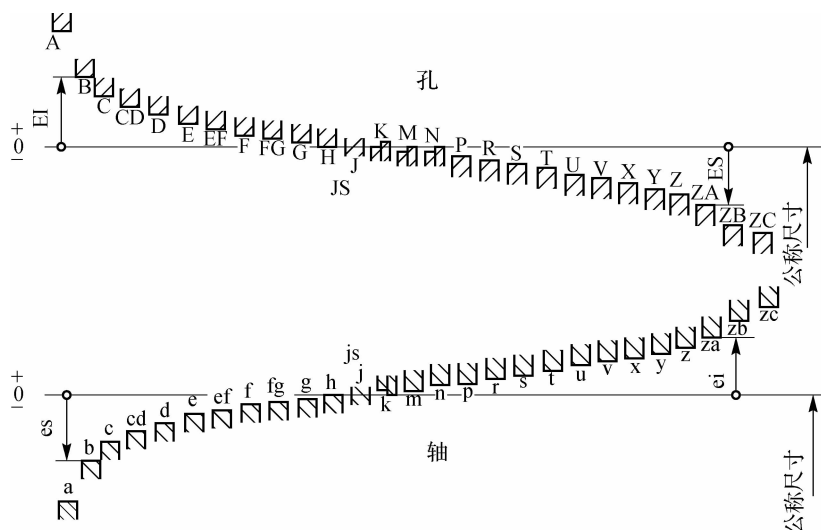


图 2-15 基本偏差系列

图 2-15 实际上可分成两部分,上半部是在基轴制的情况下孔的 28 种基本偏差,下半部是在基孔制的情况下轴的 28 种基本偏差。在基本偏差系列图中,仅绘出了公差带的一端,而公差带的另一端未绘出,因为它取决于公差等级和这个基本偏差的组合。

2. 基本偏差代号的特点

基本偏差代号具有以下特点:

(1)在孔的基本偏差中,A~G 的基本偏差为下极限偏差 EI(正值),且公差带都分布在零线以上;J~ZC 的基本偏差为上极限偏差 ES(除 J 和 K 外,其余皆为负值),且公差带都分布在零线以下;H 的基本偏差 EI=0,是基准孔,与不同基本偏差的轴形成基孔制配合;JS 形成的公差带,相对于零线对称(J 近似对称)。

(2)在轴的基本偏差中,a~g 的基本偏差为上极限偏差 es(负值),公差带都分布在零线以下;h 的基本偏差 es=0,是基准轴,与不同基本偏差的孔形成基轴制配合;js 形成的公差带,相对于零线对称(j 近似对称);j~zc 的基本偏差为下极限偏差 ei(除 j 外,其余皆为正值),公差带都分布在零线以上。

(3)从图 2-15 可以看出,孔以 JS(J)为界、轴以 js(j)为界,相同字母的孔和轴的基本偏差相对于零线基本呈对称分布。

(4)图 2-15 中仅绘出了公差带的一端,即基本偏差的一端,未绘出公差带的另一端,因为公差带的另一端取决于公差大小。公差带代号由基本偏差代号和公差等级表示,如 H6、h7、G5、p6 等。

(5)基本偏差的大小一般与公差等级变化无关,即与标准公差等级无关,如 A~H 或 a~h 的基本偏差为一定值。但有少数基本偏差与公差等级有关,如 js、j、k 及 JS、J、K。

2.3.2 基本偏差数值

1. 轴的基本偏差数值

轴的基本偏差是以基孔制配合为基础而制定的。

当公称尺寸不大于 500 mm 时,轴的基本偏差计算公式见表 2-3。表中的公式都是根据设计要求、生产实践经验和科学试验,经数理统计分析整理出来的。

表 2-3 公称尺寸不大于 500 mm 轴的基本偏差计算公式(摘自 GB/T 1800.1—2009)

代 号	适用范围	基本偏差为上极限偏差	代 号	适用范围	基本偏差为下极限偏差(ei)
a	$D \leq 120 \text{ mm}$	$-(265+1.3D)$	j		经验数据
	$D > 120 \text{ mm}$	$-3.5D$	k		$0.6 \sqrt[3]{D}$
b	$D \leq 160 \text{ mm}$	$-(140+0.85D)$	m		$(IT7-IT6)$
	$D > 160 \text{ mm}$	$-1.8D$	n		$5D^{0.34}$
c	$D \leq 40 \text{ mm}$	$-52D^{0.2}$	p		$IT7+(0\sim5)$
	$D > 40 \text{ mm}$	$-(95+0.8D)$	r		$\sqrt{ps}$
cd	$D \leq 10 \text{ mm}$	$-\sqrt{cd}$	s	$D \leq 50 \text{ mm}$	$IT8+(1\sim4)$
d		$-16D^{0.44}$		$D > 50 \text{ mm}$	$IT7+0.4D$
e		$-11D^{0.41}$	t	$D > 24 \text{ mm}$	$IT7+0.63D$
ef	$D \leq 10 \text{ mm}$	$-\sqrt{ef}$	u		$IT7+D$
f		$-5.5D^{0.41}$	v	$D > 14 \text{ mm}$	$IT7+1.25D$
fg	$D \leq 10 \text{ mm}$	$-\sqrt{fg}$	x		$IT7+1.6D$
g		$-2.5D^{0.34}$	y	$D > 18 \text{ mm}$	$IT7+2D$
			z		$IT7+2.5D$
h		0	za		$IT8+3.15D$
			zb		$IT9+4D$
			zc		$IT10+5D$

注 1: D 为公称尺寸的分段计算值, mm。

注 2: 除 j 和 js 外, 表中所列公式与公差等级无关。

$a\sim h$ 的轴与基孔制配合, 用于间隙配合, 基本偏差的绝对值等于最小间隙。其中, a 、 b 、 c 用于大间隙或热动配合, 考虑到热膨胀的影响, 采用与直径成正比的关系计算; d 、 e 、 f 主要用于旋转运动, 为了保证良好的液体摩擦, 最小间隙应与直径成平方根关系, 但考虑到表面粗糙度的影响, 间隙应适当减小, 故 d 、 e 、 f 公式中的指数略小于 1.5; g 主要用于滑动和半液体摩擦, 或用于定位配合, 间隙要小, 所以直径的指数有所减小; 基本偏差 cd 、 ef 、 fg 的绝对值, 分别按 c 与 d 、 e 与 f 、 f 与 g 的绝对值的几何平均值确定, 适用于小尺寸的旋转运动件。

$j\sim n$ 的轴与基孔制配合, 主要用于过渡配合, 所得间隙和过盈均不很大, 以保证孔、轴配合时能够对中和定心, 拆卸也不困难, 其计算公式以经验为主。

$p\sim zc$ 的轴与基孔制配合, 主要用于过盈配合, 其基本偏差为下偏差。下偏差的计算公式通常由两项合成, 第一项为基准孔的标准公差; 第二项为最小过盈量, 它与直径呈线性关系, 以便保证孔、轴结合时具有足够的连接强度和正常地传递扭矩。

有了基本偏差和标准公差, 就不难求出轴的另一个偏差(上偏差或下偏差), 计算公式为

$$es=ei+IT \tag{2-3}$$

或

$$ei=es-IT \tag{2-4}$$

轴的基本偏差数值不必用公式计算, 计算结果的数值已列成表, 见表 2-4, 使用时可直接查表。

表 2-4 公称尺寸不大于 500 mm 的轴的基本偏差数值 (摘自 GB/T 1800.1—2009)

单位: μm

公称尺寸 /mm		上极限偏差 es										基本偏差数值										下极限偏差 ei											
		所有标准公差等级										IT5 和 IT6	IT7	IT8	IT4 ≤ IT7	IT3 ≤ IT7	所有标准公差等级																
大于	至	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc				
—	3	−270	−140	−60	−34	−20	−14	−10	−6	−4	−2	0	偏差 = ± IT _n /2, 式中, IT _n 是 IT 值数	−2	−4	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60			
	3	−270	−140	−70	−46	−30	−20	−14	−10	−6	−4	0		−2	−4	+1	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80			
6	−280	−150	−80	−56	−40	−25	−18	−13	−8	−5	0	−2		−5	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97			
10	−290	−150	−95		−50	−32		−16		−6	0	−3		−6	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	130			
14															−3	−6	+1	+12	+18	+23	+28		+33		+39	+45	+60	+77	+108	+150			
18	24	−300	−160	−110		−65	−40	−20			−7	0		−4	−8	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188		
24	30													−5	−10		+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274		
30	40	−310	−170	−120							−9	0				+2	0	+17	+26	+34			+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325		
40	50	−320	−180	−130					−25														+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405		
50	65	−340	−190	−140							−10	0		−7	−12	+2	0	+11	+20	+32			+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80	−360	−200	−150					−30														+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	−380	−220	−170		−120	−72	−36			−12	0		−9	−15	+3	0	+13	+23	+37			+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120	−410	−240	−180																			+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120	140	−460	−260	−200																			+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160	−520	−280	−210		−145	−85	−43			−14	0		−11	−18	+3	0	+15	+27	+43			+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180	−580	−310	−230																			+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1 000
180	200	−660	−340	−240																			+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1 150
200	225	−740	−380	−260		−170	−100	−50			−15	0		−13	−21	+4	0	+17	+31	+50			+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1 250
225	250	−820	−420	−280																			+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1 050	+1 350
250	280	−920	−480	−300																			+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1 200	+1 550
280	315	−1 050	−540	−330		−190	−110	−56			−17	0		−16	−26	+4	0	+20	+34	+56			+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1 000	+1 300	+1 700
315	355	−1200	−600	−360																			+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1 150	+1 500	+1 900
355	400	−1 350	−680	−400		−210	−125	−62			−18	0		−18	−28	+4	0	+21	+37	+62			+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1 000	+1 300	+1 650	+2 100
400	450	−1 500	−760	−440																			+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1 100	+1 450	+1 850	+2 400
450	500	−1 650	−840	−480		−230	−135	−68			−20	0		−20	−32	+5	0	+23	+40	+68			+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1 000	+1 250	+1 600	+2 100	+2 600

注 1: 基本尺寸小于或等于 1 mm 时, 基本偏差 a 和 b 均不采用。
注 2: 公差带 js7 ~ js11, 若 IT_n 值是奇数, 则取偏差 = $\pm (IT_n - 1)/2$ 。

在轴的基本偏差确定后,另一个极限偏差可根据轴的基本偏差和标准公差数值计算,公式如下:

$$\text{下极限偏差: } ei = es - T_d$$

$$\text{上极限偏差: } es = ei + T_d$$

2. 孔的基本偏差数值

由于基孔制和基轴制是两种并行的配合基准制,一般来说,当基轴制中孔的基本偏差代号字母和基孔制中轴的基本偏差代号字母相同时,则所形成的配合性质是相同的。由于构成基本偏差公式所考虑的因素是一致的,因而孔的基本偏差不需要另外制定一套计算公式,孔的基本偏差数值可以根据相同字母代号轴的基本偏差,按一定的规则换算得到。孔的基本偏差数值是以基轴制配合为基础制定的。

孔的基本偏差换算原则:基准孔的配合变为同名代号基准轴的配合时,保持配合性质不变,即同名配合,配合性质相同。所谓同名配合是指轴、孔的尺寸公差等级分别相同,且轴、孔基本偏差字母代号同名,分别构成的基轴制配合和基孔制配合。如基孔制配合的 $\phi 60H8/a8$ 与基轴制配合的 $\phi 60A8/h8$ 为同名配合,基孔制配合的 $\phi 50H7/t6$ 与基轴制配合的 $\phi 50T7/h6$ 为同名配合。配合性质相同即具有相同的极限间隙或极限过盈。如 $\phi 30H6/k5$ 配合与 $\phi 30K6/h5$ 配合的 $X_{\max}$ 与 $Y_{\max}$ 分别对应相等, $\phi 50H9/f9$ 配合与 $\phi 50F9/h9$ 配合的 $X_{\max}$ 与 $X_{\min}$ 分别对应相等。这两组配合的配合性质分别相同。

在公称尺寸不大于 500 mm 时,孔的基本偏差按以下两种规则换算:

(1)通用规则。同名代号的孔和轴的基本偏差的绝对值相等而符号相反,也就是说,孔的基本偏差是轴的基本偏差相对于零线的倒影。即

$$EI = -es (\text{适用于 } A \sim H)$$

$$ES = -ei (\text{适用于 } J \sim N > IT8, P \sim ZC > IT7)$$

(2)特殊规则。当 $K, M, N \leq IT8, P \sim ZC \leq IT7$ 时,由于孔比轴难加工,因而国家标准规定:为使孔和轴在工艺上等价,在较高精度等级的配合中,采用孔公差等级比轴公差等级低一级相配合(在较低精度等级的配合中,孔与轴仍采用相同的公差等级)。同名代号的孔和轴的基本偏差符号相反,而绝对值相差一个 Δ 值,即

$$ES = -ei + \Delta$$

式中, Δ 为补偿值(Δ 值可在表 2-5 中“ Δ 值”栏中查出), $\Delta = IT_n - IT_{n-1} = IT_D - IT_d$; IT_n 为孔的公差等级, IT_{n-1} 为轴的公差等级,比孔高一级。

将用上述公式计算出的孔的基本偏差按一定规则化整,编制出孔的基本偏差数值表,见表 2-5。孔的基本偏差可直接查表 2-5 得到,不必计算。

可根据下列公式计算出孔的另一个极限偏差:

$$ES = EI + T_D$$

$$EI = ES - T_D$$

【例 2-6】 已知 $\phi 25\text{H}8/\text{f}7$ ($\begin{smallmatrix} +0.033 \\ 0 \end{smallmatrix} / \begin{smallmatrix} -0.020 \\ -0.041 \end{smallmatrix}$), 试用不查表法确定孔 $\phi 25\text{F}8$ 的极限偏差。

解 根据 H8 和 f7 的极限偏差, 可以得到

$$\text{IT}8 = \text{ES} - \text{EI} = 0.033 \text{ mm}$$

$$\text{IT}7 = \text{es} - \text{ei} = 0.021 \text{ mm}$$

根据 F 和 f 属于同名代号的孔和轴基本偏差代号, 因此得到

$$\text{EI} = -\text{es} = +0.020 \text{ mm}$$

根据上极限偏差和下极限偏差的关系, 得到

$$\text{ES} = \text{EI} + \text{IT}8 = (+0.020) + 0.033 = +0.053 \text{ mm}$$

从而得到 $\phi 25\text{F}8$ 的极限偏差形式为 $\phi 25\text{F}8$ ($\begin{smallmatrix} +0.053 \\ +0.020 \end{smallmatrix}$)。

【例 2-7】 已知 $\phi 30\text{H}7/\text{p}6$ ($\begin{smallmatrix} +0.021 \\ 0 \end{smallmatrix} / \begin{smallmatrix} +0.035 \\ +0.022 \end{smallmatrix}$), 试用不查表法确定孔 $\phi 30\text{P}7$ 的极限偏差。

解 根据 H7 和 P6 的极限偏差, 可以得到

$$\text{IT}7 = \text{ES} - \text{EI} = 0.021 \text{ mm}$$

$$\text{IT}6 = \text{es} - \text{ei} = 0.013 \text{ mm}$$

从配合符号和公差等级可看出, 基本偏差代号 P 属于特殊规则换算, 即

$$\Delta = \text{IT}7 - \text{IT}6 = 0.021 - 0.013 = 0.008 \text{ mm}$$

$$\text{ES} = -\text{ei} + \Delta = (-0.022) + 0.008 = -0.014 \text{ mm}$$

根据上极限偏差和下极限偏差的关系, 得到

$$\text{EI} = \text{ES} - \text{IT}7 = (-0.014) - 0.021 = -0.035 \text{ mm}$$

从而得到 $\phi 30\text{P}7$ 的极限偏差形式为 $\phi 30\text{P}7$ ($\begin{smallmatrix} -0.014 \\ -0.035 \end{smallmatrix}$)。

【例 2-8】 试用查表法确定 $\phi 30\text{H}7/\text{r}6$ 与 $\phi 30\text{R}7/\text{h}6$ 的孔和轴的极限偏差, 画出公差带图, 计算两个配合的极限间隙并进行比较。

解 (1) 查表确定标准公差。查表 2-1 得 $\phi 30 \text{ mm}$ 的 $\text{IT}6 = 13 \mu\text{m}$, $\text{IT}7 = 21 \mu\text{m}$ 。

(2) 确定孔和轴的极限偏差。

① 对于 $\phi 30\text{H}7/\text{r}6$, $\phi 30\text{H}$ 为基准孔, 有

$$\text{EI} = 0, \text{ES} = \text{EI} + \text{IT}7 = +21 \mu\text{m}$$

$\phi 30\text{r}6$ 基本偏差为下极限偏差, 查表 2-4 得 $\text{ei} = +28 \mu\text{m}$, 则

$$\text{es} = \text{ei} + \text{IT}6 = (+28) + 13 = +41 \mu\text{m}$$

② 对于 $\phi 30\text{R}7/\text{h}6$, $\phi 30\text{h}6$ 为基准轴, 有

$$\text{es} = 0, \text{ei} = \text{es} - \text{IT}6 = 0 - 13 = -13 \mu\text{m}$$

$\phi 30\text{R}7$ 基本偏差为上极限偏差, 查表 2-5 得 $\text{ES} = (-28 + 8) = -20 \mu\text{m}$, 则

$$\text{EI} = \text{ES} - \text{IT}7 = (-20 - 21) = -41 \mu\text{m}$$

(3) 画出公差带图如图 2-16 所示。

(4) 确定配合极限。对于 $\phi 30\text{H}7/\text{r}6$, 有

$$Y_{\min} = \text{ES} - \text{ei} = +21 - (+28) = -7 \mu\text{m}$$

$$Y_{\max} = \text{EI} - \text{es} = 0 - (+41) = -41 \mu\text{m}$$

对于 $\phi 30\text{R}7/\text{h}6$, 有

$$Y_{\min} = \text{ES} - \text{ei} = -20 - (-13) = -7 \mu\text{m}$$

$$Y_{\max} = \text{EI} - \text{es} = -41 - 0 = -41 \mu\text{m}$$

(5) 经比较, 两者 $Y_{\max}$ 、 $Y_{\min}$ 相同, 故两者配合性质相同。

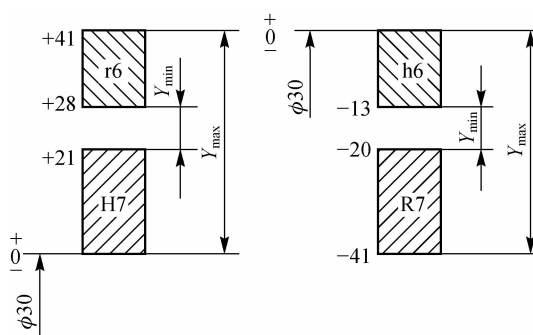


图 2-16 例 2-8 公差带图

这个例题说明对于高精度、同一字母代号的孔、轴的基本偏差按孔比轴低一级的特殊规则换算,形成的基孔制和基轴制孔、轴不同级配合的配合性质相同。

2.3.3 极限与配合在图样上的标注

1. 装配图上公差带的标注

装配图上公差带的标注为在公称尺寸后标注配合代号,配合代号由孔与轴的公差带代号组合而成。配合代号用分数形式表示,分子为孔的公差带代号,分母为轴的公差带代号。如指定公称尺寸的配合,则公称尺寸标注在配合代号之前。如图 2-17 所示,装配图上公差带的标注方法有以下 3 种:

- (1) $\phi 30 \frac{H8}{f7}$ 或 $\phi 30 H8/f7$ 。
- (2) $\phi 30 \frac{H8(+0.033)}{f7(-0.020)}$ 或 $\phi 30 H8(+0.033)/f7(-0.020)$ 。
- (3) $\phi 30 \frac{(+0.033)}{(-0.020)}$ 或 $\phi 30 (+0.033)/(-0.020)$ 。

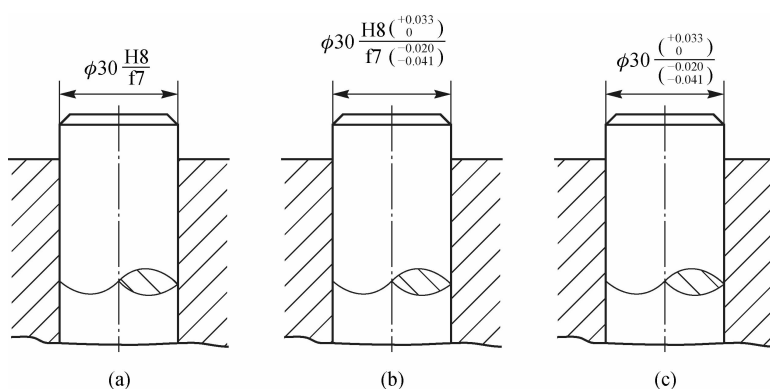


图 2-17 装配图上公差带的标注方法

其中,第一种应用最广,后两种一般分别用于批量生产和单件小批量生产。

2. 零件图上公差带的标注

零件图上公差带的标注为在公称尺寸后面标注配合代号,如图 2-18(a)中标注的轴

$\phi 65k6$;也可在公称尺寸后面标注上、下极限偏差数值,或同时标注公差带代号及上、下极限偏差数值,如图 2-18(b)、图 2-18(c)所示。当上、下极限偏差绝对值相等而符号相反时,则在极限偏差数值前面标注“ $\pm$ ”号,如 $\phi 10js5(\pm 0.003)$ 。在实际生产中,零件图上公差带一般采用后两种表示方法。

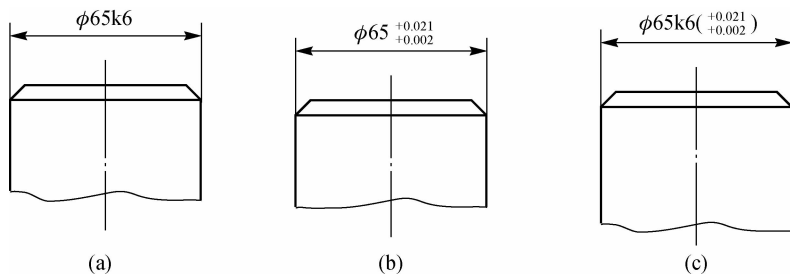


图 2-18 零件图上公差带的标注方法

【例 2-9】 试用查表法确定孔 $\phi 25F8$ 和轴 $\phi 25f7$ 的极限偏差,并写出在图样上的标注形式。

解 (1)查表 2-5(孔的基本偏差数值表),可得到 F 的基本偏差值为

$$EI = +20 \mu\text{m}$$

查表 2-4(轴的基本偏差数值表),可得到 f 的基本偏差数值为

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

由表 2-1(标准公差值表),可得到 8 级标准公差数值为

$$IT8 = 33 \mu\text{m}$$

7 级标准公差数值为

$$IT7 = 21 \mu\text{m}$$

(2)根据极限偏差和公差的关系,计算得到孔的上极限偏差为

$$ES = EI + IT8 = (+20) + 33 = +53 \mu\text{m}$$

轴的下极限偏差为

$$ei = es - IT7 = (-20) - 21 = -41 \mu\text{m}$$

从而得到孔 $\phi 25F8$ 和轴 $\phi 25f7$ 在图样上的标注形式分别为 $\phi 25_{+0.020}^{+0.053}$ 和 $\phi 25_{-0.041}^{-0.020}$ 。

根据同名孔和轴的基本偏差关系,由已知的孔或轴的极限偏差直接得到同名轴或孔的极限偏差。

2.4 一般、常用和优先的公差带与配合

理论上,标准公差和基本偏差系列可组成各种大小与位置不同的大量公差带。在公称尺寸不大于 500 mm(常用尺寸段)范围内,孔的公差带有 543 个,轴的公差带有 544 个。这么多的公差带势必会使定值刀具和量具规格繁多,不经济也不合理。因此,国家标准根据实际需要规定了优先、常用和一般用途的孔、轴公差带,以简化公差配合的种类,减少定值刀具、量具和工艺装备的品种及规格。

The diagram illustrates the hierarchical structure of the 128-bit hash function SHA-3. It is organized into three main columns: H (left), JS (middle), and JSK (right). The H column shows a sequence of hash values H1 through H13, with H1-H4 being 128-bit and H5-H13 being 256-bit. The JS column shows JS1 through JS13, with JS1-JS4 being 128-bit and JS5-JS13 being 256-bit. The JSK column shows JSK1 through JSK13, with JSK1-JSK4 being 128-bit and JSK5-JSK13 being 256-bit. The diagram illustrates the iterative application of the SHA-3 function, with each step involving a compression function (F) and a key schedule (K). The final output is a 128-bit hash value H13.

图 2-20 优先、常用和一般用途轴的公差带

选用孔和轴的公差带时,应按优先、常用、一般的顺序选取。

2.4.2 常用和优先的配合

• 32 •

表 2-6 基孔制优先、常用配合 (GB/T 1801—2009)

基 准 孔	轴															
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t
	间隙配合								过渡配合							
H6						H6/f5	H6/g5	H6/h5	H6/js5	H6/k5	H6/m5	H6/n5	H6/p5	H6/r5	H6/s5	H6/t5
H7						H7/f6	▲H7/g6	▲H7/h6	H7/js6	▲H7/k6	H7/m6	▲H7/n6	▲H7/p6	H7/r6	▲H7/s6	▲H7/t6
H8					H8/e7	▲H8/f7	H8/g7	▲H8/h7	H8/js7	H8/k7	H8/m7	H8/n7	H8/p7	H8/r7	H8/s7	H8/t7
H9				H8/d8	H8/e8	H8/f8		H8/h8								
H10			H9/c9	▲H9/d9	H9/e9	H9/f9		▲H9/h9								
H11	H11/a11		H10/c10	H10/d10				H10/h10								
			▲H11/c11	H11/d11				▲H11/h11								
H12		H12/b12						H12/h12								

注 1: $\frac{H6}{n5}$ 、 $\frac{H7}{p6}$ 在公称尺寸不大于 3 mm 时, $\frac{H8}{r7}$ 在公称尺寸不大于 100 mm 时, 为过渡配合。

注 2: 标注▲的配合为优先配合。

表 2-7 基轴制优先、常用配合 (GB/T 1801—2009)

基 准 轴	孔															
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T
	间隙配合								过渡配合							
h5						F6/h5	G6/h5	H6/h5	JS6/h5	K6/h5	M6/h5	N6/h5	P6/h5	R6/h5	S6/h5	T6/h5
h6						F7/h6	▲G7/h6	▲H7/h6	JS7/h6	▲K7/h6	M7/h6	▲N7/h6	▲P7/h6	R7/h6	▲S7/h6	T7/h6
h7					E8/h7	▲F8/h7		▲H8/h7	JS8/h7	K8/h7	M8/h7	N8/h7				▲U7/h6
h8				D8/h8	E8/h8	F8/h8		H8/h8								
h9				▲D9/h9	E9/h9	F9/h9		▲H9/h9								
h10				D10/h10				H10/h10								
h11	A11/h11	B11/h11	▲C11/h11	D11/h11				▲H11/h11								
h12		B12/h12						H12/h12								

注: 标注▲的配合为优先配合。

2.5 线性尺寸的一般公差

1. 一般公差

一般公差是指在车间普通工艺条件下,机械设备的一般加工能力可保证的公差。

2. 线性尺寸一般公差的极限偏差

《一般公差 未注公差的线性尺寸和角度尺寸的公差》(GB/T 1804—2000)对线性尺寸的一般公差规定了精密级(f)、中等级(m)、粗糙级(c)和最粗级(v)4个公差等级。4个公差等级分别相当于IT12、IT14、IT16和IT17,并制定了极限偏差数值(见表2-8),由表可知极限偏差均对称分布。

表 2-8 线性尺寸一般公差的极限偏差数值(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
精密级(f)	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	
中等级(m)	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
粗糙级(c)	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
最粗级(v)		±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

3. 线性尺寸一般公差的表示方法

表示线性尺寸的一般公差时,在图样上只标注公称尺寸,不标注极限偏差,但应在图样的技术要求或有关技术文件中统一标注,用线性尺寸的一般公差标准号和公差等级代号来表示。

例如,当选用中等级别的一般公差时,可在零件图样的技术要求中标明:未注公差尺寸按GB/T 1804—2000。

应注意,一般公差主要用于较低精度的非配合尺寸。当要素的功能允许比一般公差大的公差,且标注出更为经济时,相应的极限偏差值要在公称尺寸后注出。在正常情况下,对一般公差可不检验。

2.6 尺寸精度设计

尺寸精度设计包括基准制的选择、公差等级的选择和配合种类的选择3个方面。尺寸精度设计总的原则是在满足使用要求的前提下,获得最佳的技术经济效益。

2.6.1 基准制的选择

基孔制和基轴制是国家标准规定的两种基准制。设计时,应选用基孔制还是基轴制配合,需要综合考虑相关零件的结构特点、工艺与装配工艺、经济效益等因素,并遵循以下原则:

(1)一般情况下应优先选用基孔制。通常,加工孔比加工轴困难些。对于孔的加工,一种规格的定值刀具和量具只能满足一种孔公差带的需要;而尺寸大小不同的轴,可用同一车刀或砂轮加工。而且加工孔所用的刀具、量具的尺寸规格也多些。采用基孔制可以减少定值刀、量具的规格数目,有利于刀具、量具的标准化、系列化,因而经济合理,使用方便。

从加工工艺的角度来看,中、小直径尺寸的孔应用最广泛,中、小直径尺寸的孔通常采用定值刀具(如钻头、拉刀、铰刀等)加工和定值量具(如塞规等)检验。对于中、小尺寸的配合,采用基孔制配合可以大大减少定值刀具和定值量具的规格数量。

(2)与基孔制相比,经济效益显著时应选用基轴制。在下列情况下采用基轴制较经济且合理:

①基轴制通常仅用于具有明显经济效益的情况。如当配合的公差等级要求不高时,直接采用冷拔钢材做轴,不再切削加工。

②在同一公称尺寸的轴上同时装配几个具有不同配合要求的零件时应用基轴制。如图 2-21 所示,在发动机活塞部件装配中,根据使用要求,活塞销与活塞孔之间采用过渡配合,而活塞销与连杆衬套孔之间采用间隙配合。如果采用基孔制配合,活塞的两个销孔和连杆衬套孔的公差带相同,那么就必须把活塞销按两种公差带加工成阶梯轴才能满足两种不同的配合要求。而将活塞销加工成阶梯轴,不仅加工不方便,而且装配时当活塞销大头端通过连杆衬套孔时容易将连杆衬套挤坏。此时若改用基轴制,把活塞销制成光轴,活塞销按一种公差带加工,则加工和装配都很方便。

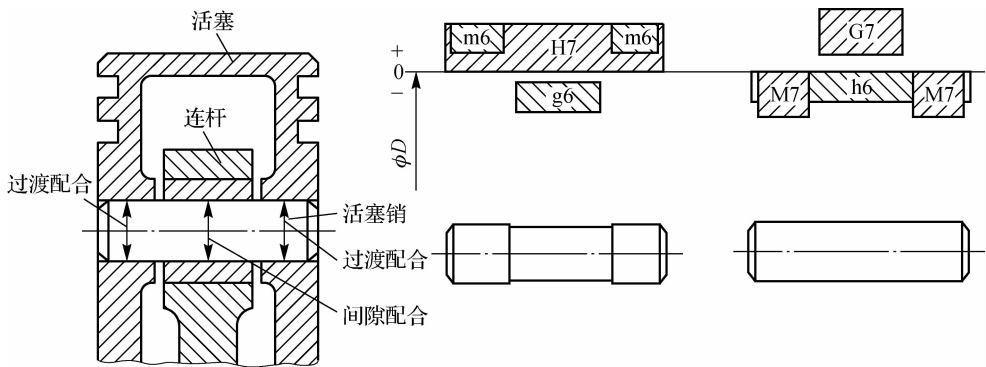


图 2-21 发动机活塞部件装配

(3)以标准件为基准件确定基准制。当设计的零件与标准件相配时,基准制的选择应按标准件而定。例如,滚动轴承是标准件,与滚动轴承内圈配合的轴应按基孔制加工;而与滚动轴承外圈配合的孔,则应按基轴制加工。如图 2-22 所示,滚动轴承为标准件,滚动轴承外圈与外壳孔的配合采用基轴制配合,外壳孔按 $\phi 100J7$ 加工;滚动轴承内圈与轴颈的配合采用基孔制配合,轴颈按 $\phi 55k6$ 加工。

(4)特殊要求可以采用非基准制。为了满足配合的特殊要求,允许采用非基准制配合。非基准制配合就是相配合的孔、轴都不是标准件。

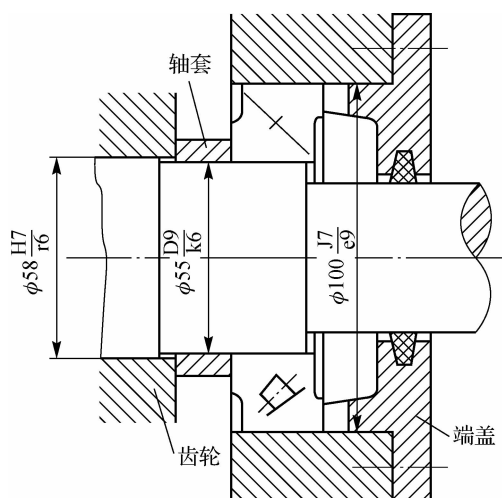


图 2-22 滚动轴承配合的基准制

如图 2-23 所示,箱体孔一部分与轴承外圈配合,另一部分与轴承端盖配合。考虑滚动轴承是标准件,箱体孔与滚动轴承的配合采用基轴制配合,箱体孔的公差带确定为 $\phi 110J7$,这时,如果轴承端盖与箱体孔的配合仍然采用基轴制,则配合为 $\phi 110J7/h6$,属于过渡配合。而与之装配的轴承端盖经常拆卸,要求配合的间隙较大,显然这种配合过于紧密,为了满足使用需要,应选用间隙配合,这样端盖公差带就不能用 h ,而只能从非基准轴公差带选择,综合考虑轴承端盖的性能要求和加工的经济性,箱体孔与轴承端盖的配合采用公差等级 9 级,轴承端盖和箱体孔的配合取 $\phi 110J7/f9$ 。此例使用上要求保证其轴向定位,而无定心要求,宜取较大间隙,利于装配。

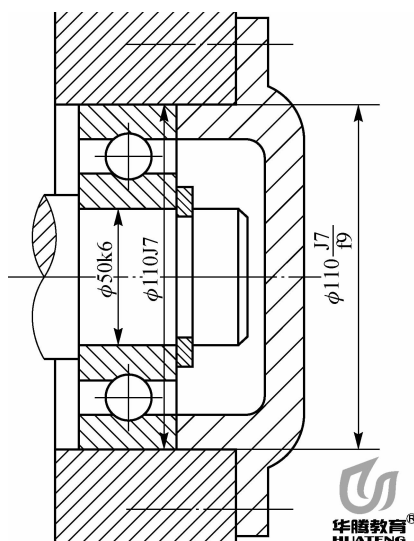


图 2-23 箱体孔与滚动轴承和轴承端盖的配合

2.6.2 公差等级的选择

合理地选择公差等级,是为了更好地协调机器零件的使用要求与制造工艺及成本之间的矛盾。

1. 选择公差等级的基本原则

选择公差等级的基本原则是在满足使用要求的前提下,尽量选用精度较低的公差等级,以利于降低加工成本。零件加工的相对成本和废品率与公差的关系曲线如图 2-24 所示。分析可知,公差等级与生产成本之间的关系为在低精度区精度提高成本增加不多,而在高精度区,公差越小,精度越高,加工越难,精度的小幅度提高往往伴随着成本的急剧增加,同时产品的废品率急剧增加。因此,进行精度设计在选用高精度的公差时要特别慎重。

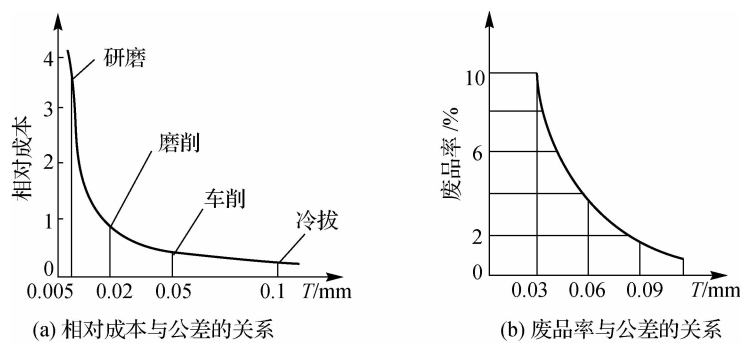


图 2-24 零件加工的相对成本和废品率与公差的关系曲线

2. 选择公差等级的方法

选择公差等级的方法有类比法和计算查表法两种。

(1)类比法确定孔、轴的公差等级。在机械设计中,确定孔、轴的公差等级时常用类比法,要求设计人员必须有较丰富的实践经验。类比法多用于一般要求的配合。选用类比法时应考虑以下几个方面的因素:

①孔、轴加工的工艺等价性。所谓的工艺等价性,即考虑使孔和轴的加工难易程度相同。因为在较高公差等级中,孔加工较轴加工困难,所以在公称尺寸不大于 500 mm、标准公差等级不大于 IT8 时,推荐孔的公差等级比轴的低一级,如 H7/f6、H8/g7;当标准公差等级大于 IT8 时,一般采用同级孔、轴配合,如 H9/d9。当公称尺寸大于 500 mm 时,推荐孔、轴采用同级配合,以保证孔、轴加工难易程度相同。

②加工能力。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。常用加工方法可以达到的加工精度可参考表 2-9。

表 2-9 常用加工方法可以达到的加工精度

加工方法	公差等级																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
研磨	+	+	+	+	+	+	+													
珩磨						+	+	+	+											

续表

加工方法	公差等级																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
圆磨							+	+	+	+										
平磨							+	+	+	+										
金刚石车							+	+	+											
金刚石镗							+	+	+											
拉削							+	+	+	+										
铰孔								+	+	+	+	+								
精车、精镗									+	+	+									
粗车									+	+	+									
粗镗									+	+	+									
铣										+	+	+	+							
刨、插												+	+							
钻削												+	+	+	+					
冲压												+	+	+	+	+				
滚压、挤压												+	+							
锻造																	+			
砂型铸造、气割																		+		
金属型铸造																+	+			

③与标准件相配合时,应以标准件为基准件确定配合制,选择的公差等级要与标准件的精度相适应。例如,轴承是标准件,与轴承配合的孔和轴,其公差等级要与轴承的精度等级相适应。齿轮是标准件,与齿轮孔配合的轴,其配合部位的公差等级要与齿轮的精度等级相适应。

④配合性质及加工成本。对于间隙配合,小间隙应选高的公差等级;反之,则选低的公差等级。如配合 H6/g5 和 H11/a11 是可以的,H6/g5 是小间隙配合,选高的公差等级;H11/a11 是大间隙配合,选低的公差等级。但配合 H11/g11 和 H6/a5 是不合适的,因为 H11/g11 是小间隙配合,应选高的公差等级;H6/a5 是大间隙配合,应选低的公差等级。过渡配合与过盈配合的公差等级不能太低。一般孔的标准公差等级不大于 IT8,轴的标准公差等级不大于 IT7。

⑤加工零件的经济性。如轴承盖和轴承座内孔的配合,允许采用较大的间隙和较低的公差等级,轴承盖可以比轴承座内孔的公差等级低 2~3 级,如图 2-22 所示,轴承盖和箱体孔的配合为 $\phi 100$ J7/e9,公差等级相差 2 级。在非基准制配合中,有的零件精度要求不高,可与相配合零件的公差等级差 2~3 级。

⑥标准公差等级的应用范围。标准公差等级的应用范围见表 2-10,标准公差等级的主要应用范围见表 2-11。

表 2-10 标准公差等级的应用范围

应 用	公差等级																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
块规	+	+	+																	
量规			+	+	+	+	+	+	+											
配合尺寸							+	+	+	+	+	+	+	+						
特别精密零件				+	+	+	+													
非配合尺寸														+	+	+	+	+	+	+
原材料										+	+	+	+	+	+	+				

表 2-11 标准公差等级的主要应用范围

公差等级	主要应用范围
IT01、IT0、IT1	用于精密标准量块。IT1 也用于检验 IT6、IT7 级轴用量规的校对量规
IT2～IT7	一般用于检验 IT5～IT16 级工件的量规
IT3、IT5 (孔的 IT6)	应用较少,配合公差很小,对加工要求很高。一般用于精度要求很高的重要配合,如发动机活塞销与连杆孔和活塞孔的配合、机床主轴与精密滚动轴承的配合
IT6 (孔的 IT7)	配合性质能达到较高的均匀性,如与 E 级滚动轴承相配合的孔、轴径;与齿轮、蜗轮、联轴器、带轮、凸轮等连接的轴径,机床丝杠轴径;摇臂钻立柱;机床夹具中导向件的外径尺寸;6 级精度齿轮的基准孔,7、8 级精度齿轮的基准轴
IT7	应用条件与 6 级基本相似,7 级精度比 6 级稍低,在一般机械制造中应用较为普遍。如机床卡盘座孔、夹具中的固定钻套、可换的钻套;联轴器、带轮、凸轮等孔径;7、8 级精度齿轮的基准孔,9、10 级精度齿轮的基准轴
IT8	属于中等精度。如用于轴承座衬套沿宽度方向尺寸,9～12 级精度齿轮的基准孔,11、12 级精度齿轮的基准轴
IT9、IT10	主要用于机械制造中轴套外径与孔、单键与花键、操纵件与轴、空轴带轮与轴
IT11、IT12	一般用于不重要的配合处,多用于只要求便于连接而没有严格要求的配合,如螺栓和螺孔、铆钉和孔等的配合
IT12～IT18	一般用于未注公差的尺寸和粗加工的工序尺寸上,如端面之间的距离、手柄的直径、壳体的外形、壁厚尺寸等

(2)计算查表法确定孔、轴的公差等级。在一些工程实际中,根据零件的配合需要,按照一定的理论和公式,可通过计算来确定公差等级。当用计算查表法选择配合时,关键是确定所需的间隙或过盈。由于影响间隙和过盈的因素较复杂,理论的计算也是近似的,因此还需要在实际应用中经过试验进行修正。

2.6.3 配合种类的选择

配合种类的选择就是在确定基准制和孔、轴的公差等级之后,确定非基准件(基孔制配合中的轴或基轴制配合中的孔)的基本偏差代号。选择配合的主要任务:对于基孔制配合,

是确定轴的基本偏差代号;而对于基轴制配合,是确定孔的基本偏差代号。

1. 根据使用要求确定配合类别

设计时,应根据使用要求确定选择间隙配合、过盈配合还是过渡配合。当相配合的孔、轴间有相对运动时,应选择间隙配合;当相配合的孔、轴间无相对运动,不经常拆卸,而需要传递一定的扭矩时,应选择过盈配合;当相配合的孔、轴间无相对运动,而需要经常拆卸时,应选择过渡配合(当外加紧固件时,为了装卸方便,也可选用间隙配合)。具体选择配合类别时可参考表 2-12 配合类别选择的方向。

表 2-12 配合类别选择的方向

孔、轴间无 相对运动	孔、轴间 传递扭矩	要求精 确同轴	永久结合	过盈配合
			可拆结合	选过渡配合或间隙最小的间隙配合加紧固件
		不需要精确同轴		选间隙较小的间隙配合加紧固件
	孔、轴间不传递扭矩			选过渡配合或过盈小的过盈配合
孔、轴间有 相对运动	孔、轴间只有移动			选基本偏差为 H(h)、G(g) 间隙较小的间隙配合
	孔、轴间有转动或有转动与移动的复合运动			选基本偏差为 A~F(a~f) 间隙较大的间隙配合

2. 确定基本偏差的方法

在工程应用中,非基准件基本偏差选择的方法通常有试验法、计算法和类比法。

(1)试验法。试验法是指从几种配合的实际试验结果中找出最佳的配合方案的方法。试验法主要用于对产品性能影响大而又缺乏经验的场合。试验法比较可靠,但周期长,成本高,应用也较少。该方法主要用于特别重要的关键性配合,如航空、航天、国防、核工业及铁路运输行业中的一些关键性结构。

(2)计算法。计算法是根据使用要求通过理论公式计算来选定配合的方法。当用计算法确定滑动轴承间隙配合的配合种类时,根据液体润滑理论可以计算保证液体摩擦状态所允许的最小间隙,再从标准中选择适当的配合种类;当用计算法确定依靠过盈来传递运动和负载的配合种类时,可根据弹性变形理论公式计算出能保证传递一定负载所需要的最小过盈和不使工件损坏的最大过盈,再从标准中选择适当的配合种类。由于影响间隙和过盈的因素很多,因而理论上的计算只能是近似的。所以,在实际应用中还需经过试验来确定。一般情况下很少使用计算法。只有重要的配合部位才采用计算法。

(3)类比法。在机械精度设计中,类比法就是以同类型机器或机构中经过生产实践验证的配合作为参照,并结合所设计产品的使用要求和应用条件来确定配合的方法。该方法应用最广,但要求设计人员掌握充分的参考资料并具有相当的经验,如要掌握各种配合的特征和应用场合,尤其是对国家标准所规定的优先配合要非常熟悉。基孔制轴的基本偏差的应用见表 2-13。基孔制轴常用和优先配合的特征及应用见表 2-14。

表 2-13 基孔制轴的基本偏差的应用

配合	基本偏差	应 用
间隙配合	a、b	应用很少,可得到特别大的间隙。如起重机吊钩的铰链、带榫槽的法兰盘推荐配合为 H12/b12
	c	一般适用于缓慢、松弛的动配合,可得到很大的间隙。其用于工作条件较差(如农业机械)、受力变形,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	适用于松的转动配合,一般用于 IT7~IT11 级,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	通常用于要求有明显间隙、易于转动的支承配合,多用于 IT7~IT9 级,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 级的一般转动配合,当温度影响不太大时,被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,一般不用于转动配合。多用于 IT5~IT7 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(如钻套与衬套的配合为 H7/g6)、精密机床的主轴与轴承、分度头轴颈与轴的配合等
	h	用于 IT4~IT11 级,配合的最小间隙为零。广泛用于无相对转动的零件,作为一般定位配合。若无温度、变形影响,也用于精密滑动配合,如车床尾座体孔与顶尖套筒的配合为 H6/h5
过渡配合	js	多用于 IT4~IT7 级,平均起来为稍有间隙的配合,要求间隙比 h 轴小,并允许稍有过盈的定位配合,如联轴器,可用手或木锤装配
	k	适用于 IT4~IT7 级,平均起来为没有间隙的配合;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,一般用木锤装配
	m	适用于 IT4~IT7 级,平均起来为具有不大过盈的过渡配合;也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。一般可用木锤装配,但在最大过盈时,要求有相当大的压入力
	n	适用于 IT4~IT7 级,平均过盈比 m 轴稍大,很少得到间隙,用锤或压力机装配,拆卸较困难

续表

配合	基本偏差	应 用
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,为较轻的压入配合,当需要时易于拆卸;对钢、铸铁或铜、钢组件,为标准压入配合。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,为轻打入配合,当需要时可以拆卸。与 H8 孔配合,直径在 100 mm 以上时为过盈配合,直径在 100 mm 以内时为过渡配合
	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。当尺寸较大时,为了避免损伤配合表面,需用热胀法或冷缩法装配
	t、u、v、 x、y、z	过盈量依次增大,一般不推荐使用,如联轴器与轴的配合为 H7/t6

表 2-14 基孔制轴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	该配合间隙非常大,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,要求装配方便且很松的配合
	H9/d9	该配合属于间隙很大的自由转动配合,用于精度非主要要求时,或有大的温度变化、高转速或大的轴颈压力时的配合
	H8/f7	该配合用于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	该配合用于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、H11/h11	该配合为间隙定位配合,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	该配合用于精密定位配合
	H7/n6	该配合用于允许有较大过盈的更精密定位配合
过盈配合	H7/p6	该配合为过盈定位配合,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	该配合为中等压入配合,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	该配合为压入配合,适用于可以承受高压人力的零件或不易承受大压人力的冷缩配合

注:公称尺寸 ≤ 500 mm。

用类比法选择配合时应考虑的因素如下：

①受力的大小。受力过大时,对于过盈配合,需要过盈量增大;对于间隙配合,要求减小间隙;对于过渡配合,要选用过盈概率大的过渡配合。

②拆装情况和结构特点。经常需要装拆的配合比不常拆装的配合要松。有些零件虽不经常拆装,但一旦要拆装却很困难,因此也要采用较松的配合。

③配合件的长度。当部位结合面较长时,由于受几何误差的影响,实际形成的配合比结合面短的配合要紧,因此,在选择配合时应适当减小过盈或增大间隙。

④装配变形的影响。在机械结构中,有时会遇到薄壁套筒装配后变形的问題。当配合件中有一件是铜或铝等塑性材料时,考虑到它们容易变形,选择配合时可适当增大过盈或减小间隙。

⑤温度的影响。当装配温度与工作温度相差较大时,特别是相互配合的孔和轴工作时与装配时的温度差别较大,或其线膨胀系数差异较大时,选择配合时要考虑热变形的影响。这对于高温或低温下工作的机器尤为重要。

⑥生产批量。选择配合种类时还应该考虑生产类型(批量)的影响。大批量生产时,多用调整法加工零件,加工后零件尺寸分布通常符合正态分布,即绝大多数零件的尺寸靠近公差带中点。而单件小批量生产时,多用试切法加工零件,加工后零件尺寸符合偏态分布,孔加工后尺寸多偏向下极限尺寸,轴加工后尺寸多偏向上极限尺寸,如图 2-25 所示。因此,同一种配合的零件生产类型不同,装配后的松紧程度也不同。对于同一配合种类,单件、小批量生产形成的配合性质可能要比大批量生产形成的配合性质偏紧。因此在设计时要做出相应的调整。

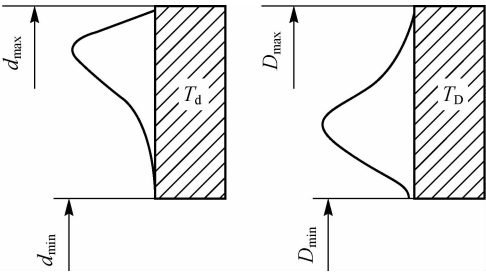


图 2-25 零件尺寸的偏态分布

总之,在选择配合时应根据零件的工作情况综合考虑以上几方面因素的影响。

各类配合中基本偏差的选择参考表 2-15、表 2-16 和表 2-17。

表 2-15 间隙配合基本偏差的选择

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

表 2-16 过盈配合基本偏差的选择

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

表 2-17 过渡配合基本偏差的选择

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

【例 2-10】 某一公称尺寸为 80 mm 的间隙配合,若配合所需要的极限间隙量已计算出,允许的最大间隙 $X_{\max} = +140 \mu\text{m}$,允许的最小间隙 $X_{\min} = +60 \mu\text{m}$,试确定此配合的孔、轴的公差等级,孔、轴的公差带和配合代号。

解 (1)配合制的选择。无特殊要求,配合应优先选择基孔制。孔的基本偏差代号为 H, $EI=0$ 。

(2)确定孔和轴的公差等级。由已知条件可知 $X_{\max} = +140 \mu\text{m}$, $X_{\min} = +60 \mu\text{m}$,则允许的配合公差为

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = | +140 - (+60) | = 80 \mu\text{m}$$

查标准公差数值表 2-1 得,孔和轴公差之和小于并接近 $80 \mu\text{m}$ 的标准公差等级为 IT8 = $46 \mu\text{m}$, IT7 = $30 \mu\text{m}$ 。考虑到孔、轴工艺等价性,间隙配合标准公差等级不大于 IT8 的孔应与高一级的轴配合。

故孔和轴的公差等级分别为 $T_D = \text{IT}8 = 46 \mu\text{m}$, $T_d = \text{IT}7 = 30 \mu\text{m}$ 。

因 $T_f = T_D + T_d = 46 + 30 = 76 \mu\text{m} < 80 \mu\text{m}$ 满足要求,故孔的公差带为 H8。

(3)确定轴的基本偏差代号。在基孔制间隙配合中,非基准件轴的基本偏差为上极限偏差,所以 $es = -X_{\min} = -60 \mu\text{m}$,查表 2-4 可知,基本偏差值代号为 e,故轴的公差带为 e7。

因此,所选的配合代号为 $\frac{H8}{e7}$ 。

(4)验算。所选配合极限间隙为

$$X_{\max} = ES - ei = 46 - (-90) = +136 \mu\text{m}$$

$$X_{\min} = EI - es = 0 - (-60) = +60 \mu\text{m}$$

由此可见 $X_{\max}$ 小于已知条件中的最大配合间隙, $X_{\min}$ 等于已知条件中的最小配合间隙, 所以该配合满足使用要求。

在实际应用时,计算出的公差数值和极限偏差数值不一定与表中的数据正好一致,应按照实际的精度要求进行适当选择。

【例 2-11】 图 2-26 所示为钻模的一部分。钻模板上装有固定衬套,钻套与固定衬套配合,在工作中要求钻套能迅速更换。若用图 2-26(a)所示的钻模来加工工件上的 $\phi 12 \text{ mm}$ 孔,试选择固定衬套与钻模板、钻套与固定衬套及钻套的内孔与钻头之间的配合。

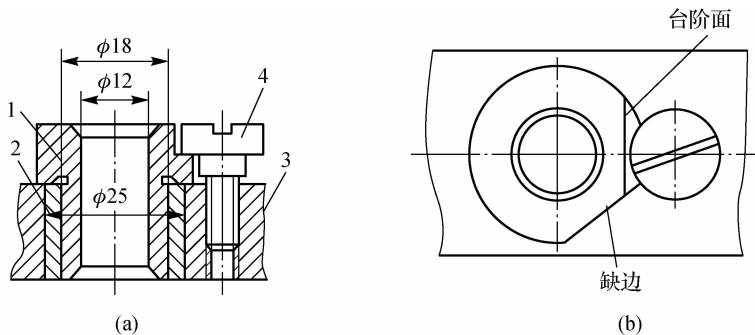


图 2-26 钻模(部分)

1—钻套; 2—固定衬套; 3—钻模板; 4—压紧螺钉

解 (1)基准制的选择。对于固定衬套与钻模板的配合及钻套与固定衬套的配合,因结构无特殊要求,按国标规定应优先选用基孔制。对于钻头与钻套内孔的配合,因钻头属于标准刀具,故应采用基轴制配合。

(2)公差等级的选择。参看表 2-11,钻模夹具各元件的连接可按用于配合尺寸的 IT5~IT12 级选用。

参看表 2-12,重要的配合尺寸,对轴可选 IT6,对孔可选 IT7。本例中钻模板的孔、固定衬套的孔和钻套的孔统一按 IT7 选用。而固定衬套的外圆、钻套的外圆则按 IT6 选用。

(3)配合种类的选择。固定衬套与钻模板的配合,要求连接牢靠,在轻微冲击和负荷下不能发生松动,即使固定衬套内孔磨损了,需更换拆卸的次数也不多。因此参看表 2-15 可选平均过盈率大的过渡配合 n,本例配合选为 $\phi 25H7/n6$ 。

钻套与固定衬套的配合,要求经常用手更换,故需一定间隙来保证更换迅速。但因又要要求有准确的定心,间隙不能过大,故参看表 2-15 可选精密滑动的配合 g,本例选为 $\phi 18H7/g6$ 。

至于钻套内孔,因要引导旋转着的刀具进给,故既要保证一定的导向精度,又要防止间隙过小而被卡住。根据钻孔切削速度多为中速,参看表 2-15 应选中等转速的基本偏差 F,本例选为 $\phi 12F7$ 。

必须指出,钻套与固定衬套内孔的配合,根据上面分析本应选 $\phi 18H7/g6$,考虑到为了统一钻套内孔与固定衬套内孔的公差带,规定了统一的公差带 F7,因而钻套与固定衬套内孔的配合应选相当于 H7/g6 的配合 F7/k6。因此,本例中钻套与固定衬套内孔的配合应为 $\phi 18F7/k6$ (非基准制配合)。图 2-27 所示为 $\phi 18H7/g6$ 与 $\phi 18F7/k6$ 两种配合的公差带图解。

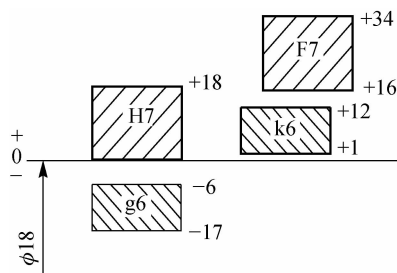


图 2-27 $\phi 18H7/g6$ 与 $\phi 18F7/k6$ 两种配合的公差带图解

本章小结

1. 有关尺寸的术语

公称尺寸是设计时给定的尺寸。

极限尺寸是允许尺寸变化的两个界限值,统称为极限尺寸。

实际(组成)要素尺寸是通过测量得到的尺寸。实际(组成)要素尺寸是指零件制成后的局部实际尺寸。

2. 极限偏差、公差和基本偏差

极限偏差是极限尺寸减去公称尺寸所得的代数差。极限偏差的数值可能是正值、负值或零值。

公差是允许尺寸的变动量。它表示尺寸变动范围的大小。

基本偏差是用于确定公差带相对零线位置的上极限偏差或下极限偏差。

3. 有关配合的概念

配合是对孔与轴结合的描述,有间隙配合、过盈配合和过渡配合 3 类。形成配合的条件是孔与轴之间存在包容和被包容的关系,且两者的公称尺寸相同;配合的性质用配合的松紧程度和松紧变动来表述。配合松紧程度取决于孔、轴公差相互位置,即取决于基本偏差。配合松紧变动取决于孔、轴公差带的大小,即取决于配合公差。配合公差反映配合精度与加工精度的关系,其值与配合类别无关,仅取决于孔、轴公差带的大小。

4. 基孔制、基轴制的选用

把孔的公差带位置固定(基本偏差代号为 H),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;相反,把轴的公差带位置固定(基本偏差代号为 h),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。区别某种配合是基孔制还是基轴制,只与其公差带的位置有关,而与孔、轴的加工顺序无关,不能理解成基孔制是先加工孔后加工轴。

习 题

一、选择题

1. $\phi 30js8$ 的尺寸公差带图和尺寸零线的关系是()。
A. 在零线上方 B. 在零线下方 C. 对称于零线 D. 不确定
2. 通常采用()选择配合类别。
A. 计算法 B. 试验法 C. 类比法
3. 公称尺寸是()。
A. 设计给定的 B. 加工时得到的 C. 加工后得到的 D. 测量得到的
4. 有关基本偏差的说法正确的是()。
A. 基本偏差就是靠近零线的那个极限偏差
B. 轴的基本偏差为下极限偏差
C. 孔的基本偏差为上极限偏差
D. 基本偏差数值的大小取决于基本偏差代号
5. 公差带图上的零线表示()。
A. 公称尺寸 B. 下极限尺寸 C. 上极限尺寸 D. 局部尺寸
6. 公差带的大小由()确定。
A. 标准公差数值 B. 公差等级 C. 基本偏差 D. 公称尺寸
7. 在以下各组配合中,属于同名配合的是()。
A. $\phi 30H8/h7$ 和 $\phi 30H7/h6$ B. $\phi 30P7/h6$ 和 $\phi 45H7/p6$
C. $\phi 30H8/h7$ 和 $\phi 30H7/f6$ D. $\phi 30H7/f6$ 和 $\phi 30F7/h6$
8. 下列配合中为间隙配合的是()。
A. $\phi 50H7/g6$ B. $\phi 50H8/js7$ C. $\phi 50H8/m7$ D. $\phi 80H7/t7$
9. 公差带的选用顺序是尽量选择()代号。
A. 一般 B. 常用 C. 优先 D. 随便

二、判断题

1. 公差,可以说是零件尺寸允许的最大偏差。 ()
2. 公称尺寸是设计给定的尺寸,因而零件的实际尺寸越接近公称尺寸,其精度越高。 ()
3. 轴的基本偏差为上极限偏差,孔的基本偏差为下极限偏差。 ()
4. 公差值越小的零件,越难加工。 ()
5. 配合 $\phi 30H7/g6$ 比 $\phi 30H7/s6$ 要紧一些。 ()
6. 孔、轴配合为 $\phi 45H9/n9$,则可以判断为过渡配合。 ()
7. 过渡配合可能具有间隙或过盈,因而过渡配合可能是间隙配合或过盈配合。 ()
8. 有相对运动的配合应选用间隙配合,无相对运动的配合应选用过盈配合。 ()
9. 某孔的实际尺寸小于与其结合的轴的实际尺寸,则形成过盈配合。 ()
10. 尺寸的基本偏差可正可负,一般都取正值。 ()

三、问答题

1. 根据“配合公差=孔的尺寸公差+轴的尺寸公差”得知,配合公差越小越好。该说法正确吗?并说明理由。

2. 什么是一般公差?其在图样上如何表示?

四、写出与下列基孔制、基轴制配合同名的基轴制、基孔制配合,并从配合的性质相同的角度,说明它们能否相互替换。

1. $\phi 30\text{M}8/\text{h}7$

2. $\phi 50\text{H}7/\text{s}7$

五、已知公差带 $\phi 80\text{f}6$ 的尺寸偏差为 $\phi 80\text{f}6 = \begin{smallmatrix} 0.030 \\ -0.049 \end{smallmatrix}$, $\phi 80\text{R}7$ 的尺寸偏差为 $\phi 80\text{R}7 = \begin{smallmatrix} -0.030 \\ -0.060 \end{smallmatrix}$,试确定 $\phi 80\text{H}7/\text{js}6$ 配合中孔与轴的极限偏差。

六、试确定孔 $\phi 30^{+0.021}_0$ 与轴 $\phi 30^{+0.030}_{-0.033}$ 配合的极限间隙、配合公差,并画出其尺寸公差带图。

七、 $\phi 30\text{H}7/\text{m}6$ 的尺寸偏差为 $\phi 30^{+0.021}_0 / \phi 30^{+0.021}_{-0.008}$,要求配合性质不变,将其改换成基轴制配合,试确定 $\phi 30\text{M}7/\text{h}6$ 中孔、轴尺寸的极限偏差。

八、图 2-28 所示为钻模的一部分。钻模板上装有固定钻套,用以引导钻头对准被加工零件中心。在工作中,要求保证钻模引导钻头对准被加工零件中心,需要对钻模夹具上以下 4 处配合进行精度设计,即钻套与钻模板、钻套内孔与钻头、定位心轴与底座、定位心轴与钻模板的配合。

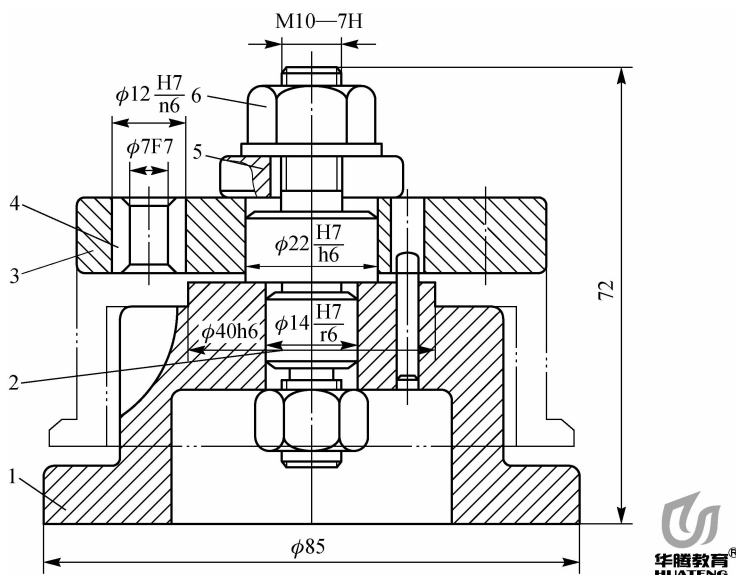


图 2-28 钻模(题图)

1—底座; 2—定位心轴; 3—钻模板; 4—钻套; 5—开口垫圈; 6—夹紧螺母

第 3 章

测量技术基础

【学习目标】

了解测量技术的基本概念、术语、长度量值传递系统,量块基本知识;了解测量方法、计量器具的分类和计量器具的主要技术指标;了解测量误差的特点及分类,掌握测量结果的数据处理。光滑工件尺寸的检测,包括用通用计量器具测量工件及用光滑极限量规检测工件。掌握采用计量器具测量工件的验收极限,光滑极限量规的用途、种类,工作量规的设计原则,量规的公差带,工作量规的设计方法。

【学习重点】

测量的概念及其四要素、量块的等级和选用、测量误差及其数据的处理、不确定度的评定。

【学习导航】

在机械制造业中,要实现互换性,除了合理地规定公差外,还需要在加工过程中进行正确的测量或检验,判断加工完成的零件是否符合设计要求,只有测量或检验合格的零件才具有互换性。请分析某一个零件,如图 3-1 所示的减速器轴,并想一想该怎样对其进行测量。请思考这些测量过程要素有哪些。如果进行零件测量,那么常用的测量方法有哪些?其测量结果如何表达?



图 3-1 减速器轴

3.1 测量技术概述

机械制造的过程可以分解为零件加工过程和产品装配过程,无论哪个过程都离不开测量技术。测量技术在机械制造中具有重要作用,其主要内容就是对零件的几何量进行检验和测量。

本课程的测量技术主要研究对零件的几何量(包括长度、角度、几何形状、相互位置及表面粗糙度等)进行测量或检验的问题。

3.1.1 测量的定义

检测是检验与测量的总称。检验只判断零件是否合格而不需要测出具体数值。测量是将被测量与用计量单位表示的标准量进行比较,从而确定被测量值的过程。若被测几何量为 L ,所用的计量单位为 E ,则测量就是确定 L 是 E 的多少倍,即确定比值 $q=L/E$,最后获得被测量 L 的量值,则基本的测量公式为

$$L=q \cdot E \quad (3-1)$$

3.1.2 测量过程四要素

由测量的定义可知,任何一个测量过程不仅必须有明确的被测对象、确定的计量单位、与被测对象相适应的测量方法,而且测量结果还要达到所要求的测量精度。因此,一个完整的测量过程应包括以下四个要素:

1. 被测对象

被测对象是指被测的量。我们研究的被测对象是几何量,在机械制造中,几何量包括长度、角度、几何误差、表面粗糙度及螺纹、齿轮的几何参数等。

2. 计量单位

在我国采用的法定计量单位中,长度的计量单位为米(m),角度的计量单位为弧度(rad)和度(°)、分(')、秒(")。在机械零件制造中,常用的长度计量单位是毫米(mm);在几何量精密测量中,常用的长度计量单位是微米(μm);在超精密测量中,常用的长度计量单位为纳米(nm)。

米(m)、毫米(mm)、微米(μm)、纳米(nm)之间的换算关系为

$$1\text{ m}=1\,000\text{ mm}, 1\text{ mm}=1\,000\text{ }\mu\text{m}, 1\text{ }\mu\text{m}=1\,000\text{ nm}$$

3. 测量方法

测量方法是指测量时所采用的测量原理、计量器具与测量条件的总和。

4. 测量精度

测量精度是指测量结果与被测量真值的一致程度。精密测量要将误差控制在允许的范围内,以保证测量精度。为此,除了合理地选择计量器具和测量方法外,还应正确估计测量误差的性质和大小,以保证测量结果具有较高的置信度。因为任何测量都不可能没有误差。

3.2 计量单位与量值传递系统

为了进行测量,必须规定一个基本长度单位,建立和统一可靠的长度基准,那么需要有

一个统一的量值传递系统。

3.2.1 长度计量单位的基本定义

我国法定计量单位与国际单位制是一致的。国际上统一使用的计量单位制为国际单位制(SI),国际单位制的基本长度单位是米(m)。1983年第17届国际计量大会规定:“米”是光在真空中于 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 时间间隔内所行程的距离。

鉴于激光稳频技术的发展,用激光波长作为长度基准具有很好的稳定性和复现性。1985年,我国采用碘吸收稳定 $0.633\text{ }\mu\text{m}$ 氦氖激光辐射作为波长标准来复现“米”。

3.2.2 长度基准的量值传递系统

在实际应用中,不能直接使用光波作为长度基准进行测量,而是采用各种计量器具进行测量。为了保证量值统一,必须把长度基准的量值准确地传递到生产中应用的计量器具和被测工件上。长度基准的量值传递系统如图3-2所示,长度基准的量值通过两个平行的系统向下传递,其中一个为刻线量具(线纹尺)系统,另一个为端面量具(量块)系统。量块传递系统应用最广。

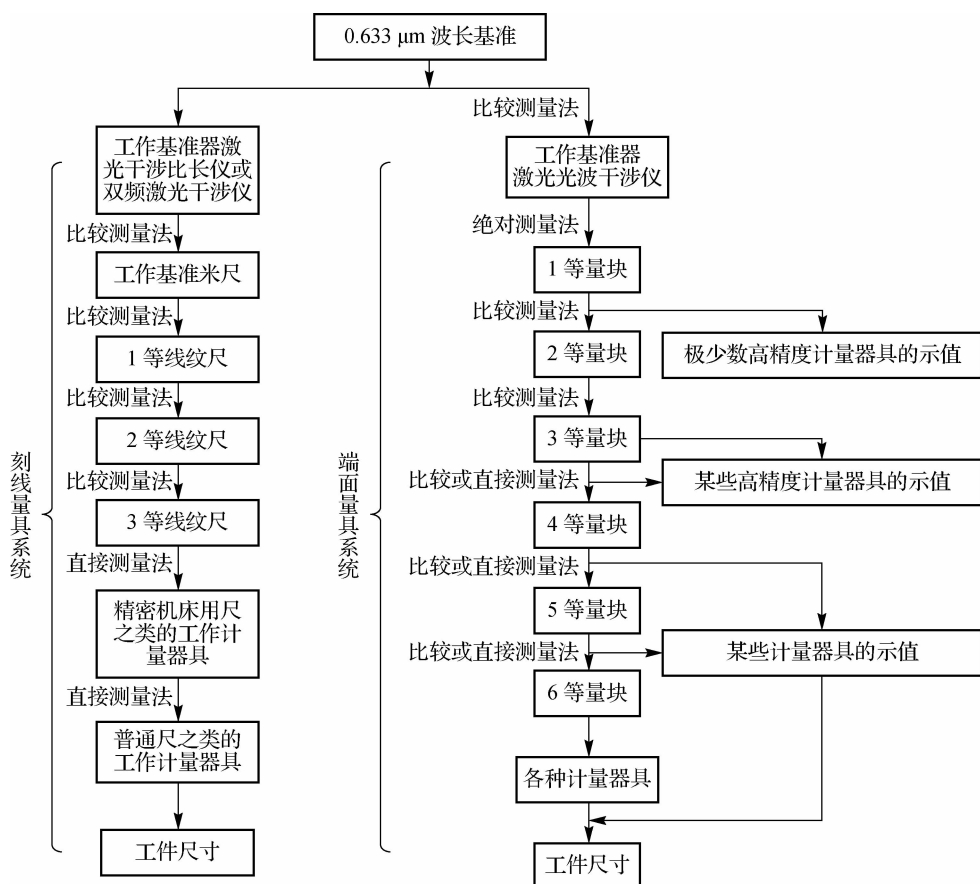


图 3-2 长度基准的量值传递系统

1. 量块的用途

量块也称为块规,它是保持度量统一的重要量具。在工厂使用的量具中,量块常作为长度的基础。

量块是检定和校准量具与量仪的基准量具,在相对测量时用来调整计量器具的零位。在某些情况下,量块可用于精密测量,也可用于机床的调整。量块在机械制造厂和各级计量部门中应用较广。

量块是没有刻度的标准量具,通常用铬锰钢等特殊合金钢制成,具有线膨胀系数小、不易变形、硬度高、耐磨性好及研合性好等特点。利用量块与量块之间的研合性,在使用时可以把尺寸不同的量块组合成量块组,以提高利用率。

2. 量块的结构

量块的结构很简单,有长方体和圆柱体两种形状。常用的是长方体量块,如图 3-3 所示,有两个测量面(经过精密加工过的平行平面)和 4 个非测量面。量块测量面极为光滑、平整。两测量面之间的距离即为量块的工作长度,称为标称长度。标称长度小于 5.5 mm 的量块,其公称值刻印在上测量面上;标称长度大于 5.5 mm 的量块,其公称值刻印在上测量面左侧较宽的一个非测量面上,如图 3-3 所示。

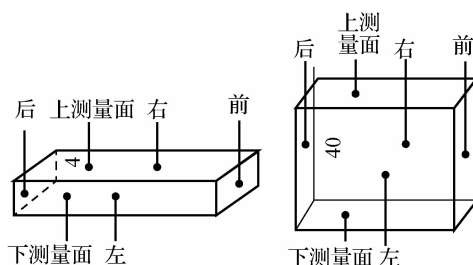


图 3-3 长方体量块

3. 量块的精度

划分量块精度的标准有按“级”划分和按“等”划分两种。《几何量技术规范(GPS) 长度标准 量块》(GB/T 6093—2001)对量块规定了精度等级。

(1)量块的分级。GB/T 6093—2001 按制造精度将量块分为 5 级,即 0,1,2,3,K 级,其中 0 级精度最高,3 级精度最低。K 级为校准级。量块按“级”使用时,以量块的标称长度作为工作尺寸。该尺寸包含了量块的制造误差,不需要加修正值,优点是使用较方便。

(2)量块的分等。量块在使用一段时间后会因磨损而尺寸减小。因此,按“级”使用量块必然会产生量块本身的制造误差和磨损引起的误差。因此,量块需要定期送专业部门对全套量块的实际尺寸进行检定,然后按检定的实际尺寸来使用量块。

量块按其检定精度分为 5 等,即 1~5 等,其中 1 等精度最高,5 等精度最低。其量值按长度量值传递系统进行传递,即低一等的量块必须用高一等的量块作为基准进行检定测量。

按“等”使用量块,在测量上需要加入修正值,虽麻烦一些,但消除了量块尺寸制造误差的影响,可用制造精度较低的量块进行较精密的测量。

量块的“等”主要是根据检定时测量的不确定度和量块长度变动量的允许值来划分的。

4. 量块的“级”与“等”的区别

按“级”使用时,量块以标记在量块上的标称尺寸作为工作长度,包含了量块的制造误

差。按“等”使用时,量块以检定后给出的实测中心长度作为工作长度,不包含制造误差,但有检定时的测量误差。一般来说,检定时的测量误差要比制造误差小得多,因而量块按“等”使用时的精度比按“级”使用时的精度要高。许多工厂在精密测量中也常按“等”使用量块,因为除可提高精度外,还能延长量块的使用寿命。

5. 长度量块的尺寸组合

量块是成套制造的,形成系列尺寸,以便能够把量块组成各种尺寸。根据国际 GB/T 6093—2001 的规定,我国成套生产的量块共有 17 种套别,成套量块的组合尺寸(部分)见表 3-1。量块装在特制的盒内。

表 3-1 成套量块的组合尺寸(部分)

套 别	总 块 数	级 别	尺寸系列/mm	间隔/mm	块数/个
1	91	0,1	0.5	—	1
			1	—	1
			1.001,1.002,⋯,1.009	0.001	9
			1.01,1.02,⋯,1.49	0.01	49
			1.5,1.6,⋯,1.9	0.1	5
			2.0,2.5,⋯,9.5	0.5	16
			10,20,⋯,100	10	10
2	83	0,1,2	0.5	—	1
			1	—	1
			1.005	—	1
			1.01,1.02,⋯,1.49	0.01	49
			1.5,1.6,⋯,1.9	0.1	5
			2.0,2.5,⋯,9.5	0.5	16
			10,20,⋯,100	10	10
3	46	0,1,2	1	—	1
			1.001,1.002,⋯,1.009	0.001	9
			1.01,1.02,⋯,1.09	0.001	9
			1.1,1.2,⋯,1.9	0.1	9
			2,3,⋯,9	1	8
			10,20,⋯,100	10	10
4	38	0,1,2	1	—	1
			1.005	—	1
			1.01,1.02,⋯,1.09	0.01	9
			1.1,1.2,⋯,1.9	0.1	9
			2,3,⋯,9	1	8
			10,20,⋯,100	10	10

当测量面表面留有一层极薄的油膜(约为 $0.02\ \mu\text{m}$)时,在切向推合力的作用下,分子之间的吸引力使两量块能牢固地研合在一起,即量块具有研合性。而且量块是定尺寸量具,一个量块只有一个尺寸。利用量块的研合性,可根据实际需要,用多个尺寸不同的量块研合组

成所需要的长度标准量。为保证精度,研合一般不超过 4 块,如图 3-4 所示。

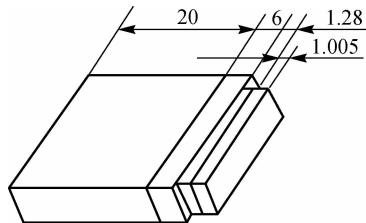


图 3-4 量块的研合

把量块组合成一定尺寸的方法如下:先从所给定的尺寸最后一位数字考虑,每选一块量块应使尺寸的位数减少 1~2 位,使量块数量尽可能少,以减少累积误差。如要组成 38.935 mm 的尺寸,若采用 83 块一套的量块,其选用的方法如下:

38.935	……………所需尺寸
<u>-1.005</u>	……………第一块量块尺寸为 1.005
37.93	
<u>-1.43</u>	……………第二块量块尺寸为 1.43
36.5	
<u>-6.50</u>	……………第三块量块尺寸为 6.50
30.0	……………第四块量块尺寸为 30.0

即 $38.935 = 1.005 + 1.43 + 6.5 + 30.0$ 。

6. 量块的使用注意事项

量块使用时要注意以下事项:

- (1) 量块必须在有效期内使用,否则应及时送专业部门检定。
- (2) 量块使用环境应良好,防止各种腐蚀性物质及灰尘对测量面的损伤,影响其研合性。
- (3) 分清量块的“级”与“等”,注意使用规则。
- (4) 所选量块应用航空汽油(120[#])清洗后用洁净软布擦干,待量块温度与环境温度相同后方可使用。轻拿轻放量块,杜绝发生磕碰、跌落等情况。
- (5) 不得用手直接接触量块,以免造成汗液对量块的腐蚀及手温对测量精确度的影响。
- (6) 使用完毕,应用航空汽油(120[#])清洗所用量块,并擦干后涂上防锈脂存于干燥处。

3.2.3 角度基准的量值传递系统

角度是重要的几何量之一,一个圆周角定义为 360°,角度不需要像长度一样建立自然基准。但在计量部门,为了方便,仍采用多面棱体(棱形块)作为角度量值的基准。机械制造中的角度标准一般是角度量块、测角仪或分度头等。

多面棱体有 4 面、6 面、8 面、12 面、24 面、36 面及 72 面等棱体,以多面棱体作为角度基准的量值传递系统如图 3-5 所示。



图 3-5 角度基准的量值传递系统

3.3 计量器具与测量方法

3.3.1 计量器具的分类

计量器具是测量仪器和测量工具及其他用于测量目的的技术装备的总称。通常把以固定形式复现一给定量的一个或多个已知值的一种计量器具称为量具,如游标卡尺、直角尺、量块、角度块规等。把具有变换和放大系统的计量器具称为量仪,如机械比较仪、测长仪、投影仪、工具显微镜等。

计量器具一般可分为标准量具、专用计量器具、通用计量器具、检查夹具和测量装置。

1. 标准量具

按基准复制出的代表一个固定尺寸的量具称为标准量具。它可作为实物标准,用以校对、调整其他计量器具,或用于精密测量。如量块、基准米尺、线纹尺、角度块规等。

2. 专用计量器具

专用计量器具是指专门用来测量某种特定参数的计量器具,不能测量零件的具体数值,只能用来检验零件是否合格。如极限量规、圆度仪、渐开线检查仪、丝杆检查仪等。

3. 通用计量器具

通用计量器具通用性强,可测量某一范围内的任一尺寸(或其他几何量),并能获得具体读数值。通用计量器具按结构又可分为以下几种:

(1)固定刻线量具。它是指具有一定刻线,在一定范围内能直接读出被测量数值的量具。如钢直尺、卷尺等。

(2)游标式量具。它是指利用游标读数原理制成的一种常用量具。如游标卡尺(含带表游标卡尺、数显游标卡尺等)、游标高度尺、游标量角器等。

(3)微动螺旋副式量仪。它是指利用螺旋副测微原理进行测量的一种常用量具。如外径千分尺、内径千分尺、深度千分尺、公法线千分尺等。

(4)机械式量仪。它是指利用机械方法实现被测量的变换和放大,以实现几何量测量的量仪。如百分表、千分表、杠杆百分表、杠杆齿轮比较仪、扭簧比较仪等。这种量仪结构简单,性能稳定,使用方便。

(5)光学式量仪。它是指利用光学原理实现被测量的变换和放大,以实现几何量测量的量仪。如工具显微镜、光学比较仪、光学分度头、投影仪、干涉仪等。这种量仪精度高,性能稳定。

(6)气动式量仪。它是指将零件尺寸的变化量通过一种装置转变成气体流量(或压力等)的变化,然后将此变化测量出来以得到零件的被测尺寸的量仪。如水柱式气动量仪、浮标式气动量仪等。

(7)电动类量仪。它是指将零件尺寸的变化量通过一种装置转变成电流(或电感、电容等)的变化,然后将此变化测量出来以得到零件的被测尺寸的计量器具。如电接触式量仪、电感式量仪、电容式量仪、电动轮廓仪等。这种量仪精度高,易于实现数据自动处理和显示,还可实现计算机辅助测量的自动化。

4. 检查夹具

检查夹具是一种专用检验工具,是量具、量仪和其他定位元件等的组合体,用来提高测

量或检验效率,提高测量精度,便于实现测量自动化,广泛应用于大批量生产中。

5. 测量装置

测量装置为确定被测零件几何量所必需的计量器具和辅助设备的总称。其特点是可以对同一零件上的多个几何量进行测量,可实现测量的自动化或半自动化。如带计算机的三坐标测量机、几何误差测量仪等。

3.3.2 计量器具的技术性能指标

计量器具的技术指标是选择和使用计量器具的重要依据,是表征计量器具的性能和功能的指标。

1. 刻线间距

计量器具标尺或刻度盘上相邻刻线中心线间的距离(或圆周弧长)即刻线间距。其通常是等距刻线,为了便于读数及估计一个刻线间距内的小数部分,刻线间距也不宜太小。刻线间距一般为 $0.75\sim 2.5\text{ mm}$ 。

2. 分度值

分度值也称刻度值,计量器具标尺上每个刻线间距所代表的量值即分度值。长度量仪中常用的分度值有 0.1 mm 、 0.01 mm 、 0.02 mm 、 0.05 mm 、 0.001 mm 、 0.0005 mm 等。如千分尺的分度值为 0.001 mm ,百分表的分度值为 0.01 mm 。图 3-6 所示的计量器具的分度值是 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。有一些计量器具(如数字式量仪)没有刻度尺,就不称分度值而称分辨率。分辨率是指计量器具指示装置所能显示的最末一位数所代表的量值。如数显千分尺的分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。

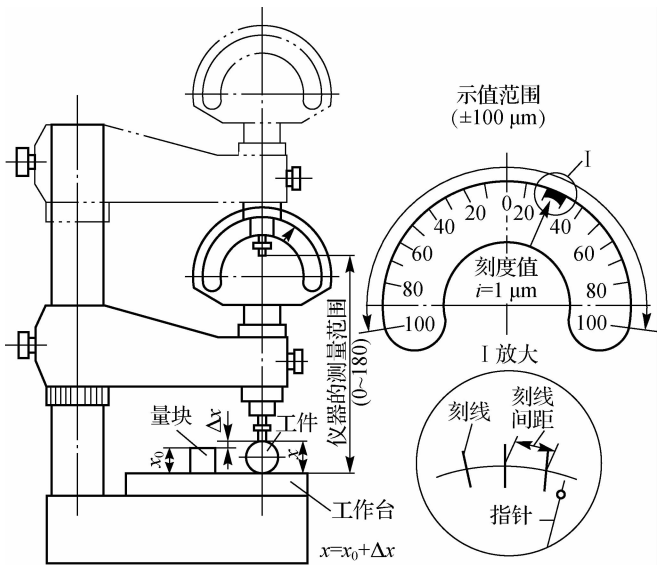


图 3-6 机械式比较仪

3. 示值范围

示值范围即计量器具所显示或指示的最小值到最大值的范围。如图 3-6 所示,机械式比较仪的示值范围为 $\pm 100\text{ }\mu\text{m}$ 。

4. 测量范围

在允许不确定度内,计量器具所能测量的被测量值的最大值到最小值的范围即测量范围。如图 3-6 所示,机械式比较仪的测量范围为 0~180 mm。

5. 灵敏度

灵敏度是指计量器具反映被测几何量微小变化的能力。灵敏度说明了计量器具对被测数值微小变化引起反应的敏感程度。如图 3-7 所示,若被测量变化为 ΔL ,计量器具上相应变化为 Δx ,则灵敏度 S 可表示为

$$S = \Delta x / \Delta L \quad (3-2)$$

对于一般长度量仪,当 Δx 和 ΔL 为同一类量时,灵敏度又称放大比。放大比等于刻线间距 C 与分度值 i 之比,即

$$K = C / i \quad (3-3)$$

式中, C 为计量器具的刻线间距; i 为计量器具的分度值。

当 C 一定时,放大比 K 越大,分度值 i 越小,可以获得更精确的读数。

6. 测量力

测量力是指在接触式测量过程中,计量器具的测头与被测零件之间的接触力。测量力过大会引起零件弹性变形,测量力过小则会影响接触的可靠性。

7. 示值误差

计量器具显示的数值与被测量的真值的代数差即示值误差。它是由计量器具的调整误差引起的。示值误差越小,计量器具的精度越高。一般可用量块作为真值来检定计量器具的示值误差。

8. 重复精度

重复精度是指在相同的测量条件下,对同一被测几何量进行多次重复测量时各测量结果之间的一致性。

9. 修正值

为了消除和减少系统误差,用代数法加到测量结果上的数值即修正值。其大小与示值误差的绝对值相等,而符号相反。

10. 回程误差

回程误差是指在相同的测量条件下,当被测量不变时,计量器具沿正、反行程在同一点上测量两示值之差的绝对值。回程误差是由计量器具中测量系统的间隙、变形和摩擦等原因引起的。

11. 不确定度

不确定度是指计量器具在规定条件下测量时,由于测量误差的存在而对测量值不能肯定的程度。它直接反映测量结果的置信度。

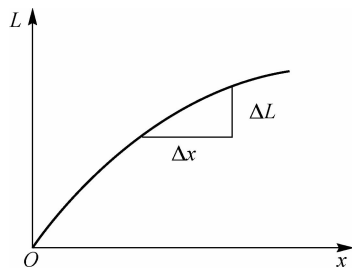


图 3-7 计量器具的灵敏度

3.3.3 测量方法的分类及特点

广义的测量方法是指测量时所采用的测量原理、计量器具与测量条件的总和。但是在实际工作中往往单纯以获得测量结果的方式来理解测量方法,它可按不同特征分类。

1. 按实测几何量是否就是被测几何量分类

按实测几何量是否就是被测几何量,测量方法可分为直接测量和间接测量。

(1)直接测量。直接测量是指被测几何量的量值直接由计量器具读出。如用千分尺、游标卡尺测量轴的外径。

(2)间接测量。间接测量是指欲测量的几何量的量值由实测几何量的量值按一定的函数关系式运算后获得。如测量大的圆柱形零件的直径 D 时,可以先量出其周长 L 的量值,然后按公式 $D=L/\pi$ 进行计算即可得到直径 D 的量值。

直接测量过程简单,其测量精度只与这一测量过程有关;而间接测量的精度不仅取决于实测几何量的测量精度,还与所依据的计算公式和计算的精度有关。一般来说,直接测量的精度比间接测量的精度高。因此,应尽量采用直接测量,只有在受条件所限而无法进行直接测量的场合才采用间接测量。

2. 按示值是否为被测量的整个量值分类

按示值是否为被测量的整个量值,测量方法可分为绝对测量和相对测量。

(1)绝对测量。绝对测量是指测量时从计量器具上直接得到被测参数的整个量值。如用游标卡尺、千分尺测量孔直径的大小。

(2)相对测量。相对测量是指测量时从计量器具读数装置上得到的示值仅为被测量相对标准量的偏差值。如在比较仪上测量轴径 x (见图 3-6),先用量块(标准量) x_0 调整零位,然后测量被测量,实测后获得的示值 Δx 就是轴径相对于量块(标准量)的偏差值,实际轴径 $x=x_0+\Delta x_0$ 。一般来说,相对测量的精度比绝对测量的精度高。

在绝对测量中,温度偏离标准温度(20℃)及测量力的影响可能会引起较大的测量误差。而在相对测量中,因是在相同条件下将被测量与标准量进行比较的,故可大大缩小温度、测量力的变化所导致的误差。一般而言,相对测量法易于获得较高的测量精度,尤其量块的出现,为相对测量法提供了有利条件,在生产中得以广泛应用。

3. 按测量时被测表面与计量器具的测头是否接触分类

按测量时被测表面与计量器具的测头是否接触,测量方法可分为接触测量和非接触测量。

(1)接触测量。接触测量是指在测量过程中,计量器具的测头与被测表面接触,即有测量力存在。如用立式光学比较仪测量轴径。

(2)非接触测量。非接触测量是指在测量过程中,计量器具的测头不与被测表面接触,即无测量力存在。如用光切显微镜测量表面粗糙度,用气动量仪测量孔径。

接触测量存在测量力,若测量力过大,会使零件被测表面产生变形,引起测量误差,且接触测量可能使测头磨损及划伤被测表面等。而非接触测量无此影响,故易变形的软质表面或薄壁工件多用非接触测量。

4. 按工件上是否有多个被测几何量同时测量分类

按工件上是否有多个被测几何量同时测量,测量方法可分为单项测量和综合测量。它是按工件上同时被测参数的多少及参数的特性来分类的。

(1)单项测量。单项测量是指对工件上的每个参数分别进行测量。如分别测量螺纹单一中径、螺距和牙型半角的实际值,来分别判断各自的合格性。

(2)综合测量。综合测量是指同时测量工件上几个有关几何参数的综合结果,以判断综

合结果是否合格,而不要求得知有关单项值。如用螺纹塞规或环规检验螺纹的作用中径。

综合测量的效率比单项测量的效率高,对保证零件的互换性更为可靠,适用于只要求判断工件是否合格,而不需要得到具体的测得值的场合。单项测量能分别确定每个参数的误差,一般用于工艺分析,即分析加工过程中产生废品的原因等。

5. 按测头和被测表面之间是否处于相对运动状态分类

按测头和被测表面之间是否处于相对运动状态,测量方法可分为动态测量和静态测量。

(1)动态测量。动态测量是指测量时计量器具的测头与零件的被测表面处于相对运动状态,或测量过程是模拟零件在工作或加工时的运动状态的测量。它能反映生产过程中被测参数的变化过程。如用电动轮廓仪测量表面粗糙度等。

(2)静态测量。静态测量是指计量器具的测头与零件的被测表面处于相对静止状态的测量。如用机械比较仪测量轴径。

在动态测量中,往往有振动等现象,故对测量仪器有特殊要求。如要消除振动对测量结果的影响,测头与被测表面的接触要安全、可靠、耐磨,对测量信号的反应要灵敏,等等。因此,在静态测量中使用情况良好的仪器,在动态测量中不一定能得到满意的结果,有时甚至不能应用。

6. 按测量在工艺过程中所起的作用来分类

按测量在工艺过程中所起的作用,测量方法可分为主动测量和被动测量。

(1)主动测量。主动测量也称为在线测量,指在零件加工过程中进行的测量。其测量结果可直接用以控制加工过程,能及时防止产生废品。所以主动测量又称为积极测量。一般自动化程度高的机床具有主动测量的功能,如数控机床、加工中心等先进设备。

(2)被动测量。被动测量是指在零件加工完毕后进行的测量,主要用来发现并剔除废品。所以被动测量又称为离线测量。

主动测量使检验与加工过程紧密结合,充分发挥检测的作用。因此,它代表着检测技术的发展方向。

7. 按被测工件在测量时所处的状态来分类

按被测工件在测量时所处的状态,测量方法可分为等精度测量和不等精度测量。

(1)等精度测量。等精度测量是指在决定测量精度的全部因素或条件均基本不变的情况下进行的测量,即在对某一被测量测量的整个过程中所使用的仪器、环境条件及测量者都不发生变化。例如,由同一个人,用同一台仪器,在同样的环境中,用同样方法,多次测量同一个量,即认为其测量精度相等。在一般情况下,为了简化测量结果的处理,大都采用等精度测量。

(2)不等精度测量。不等精度测量是指在测量过程中决定测量精度的全部因素或条件可能发生了完全改变或部分改变的测量。由于不等精度测量的数据处理比较麻烦,因而一般用于重要的科研实验中的高精度测量。

以上测量方法的分类是从不同角度考虑的。一个具体的测量过程可能兼有几种测量方法的特征。例如,在内圆磨床上用两点式测头进行检测,属于主动测量、直接测量、接触测量和相对测量等。测量方法的选择应考虑零件结构特点、精度要求、生产批量、技术条件和经济效益等。

3.4 测量中应遵循的重要原则

为了获得正确、可靠的测量结果,在测量过程中要注意应用并遵守有关测量原则,而基准统一原则、阿贝原则、最短测量链原则、最小变形原则和圆周封闭原则是其中比较重要的原则。

1. 基准统一原则

基准统一原则要求测量基准与加工基准和使用基准统一,即工序测量应以工艺基准作为测量基准,终结测量应以设计基准作为测量基准。

2. 阿贝原则

1890年,德国人阿贝(Ernst Abbe)提出了“将被测物与标准尺沿测量轴线成直线排列”,这就是著名的阿贝原则。阿贝原则是要求在测量过程中被测长度与基准长度应安置在同一条直线上的原则。若被测长度与基准长度并排放置,则在测量比较过程中由于制造误差的存在、移动方向的偏移,两长度之间会出现夹角而产生较大的误差。

如图3-8所示,游标卡尺的被测量(轴径)与标准量(读数刻线)平行,设两者相距 S ,间隙的影响使量爪倾斜 β 角度,则产生误差

$$\Delta_1 = S \tan \beta \approx S\beta$$

若 $S=30\text{ mm}$, $\beta=1'=0.0003\text{ rad(弧度)}$,则

$$\Delta_1 = 30 \times 0.0003 = 0.009\text{ mm}$$

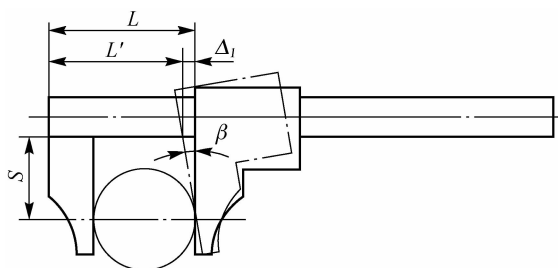


图 3-8 游标卡尺不符合阿贝原则

如图3-9所示,千分尺的被测量(轴径)与标准量(读数刻线)在同一条直线上,符合阿贝原则。若微调丝杠轴线与尺寸线有 β 夹角,则其误差为

$$\Delta_2 = d(1 - \cos \beta) \approx d\beta^2/2$$

若 $S=30\text{ mm}$, $\beta=1'=0.0003\text{ rad(弧度)}$,则

$$\Delta_2 = 30 \times 0.0003^2/2 = 1.35 \times 10^{-6}\text{ mm}$$

由此可见,游标卡尺所测的量与基准量平行配置,而千分尺所测工件的尺寸线与读数线在同一条直线上。因此,前者不符合阿贝原则,误差较大;后者符合阿贝原则,误差较小。即千分尺与游标卡尺相比误差较小。

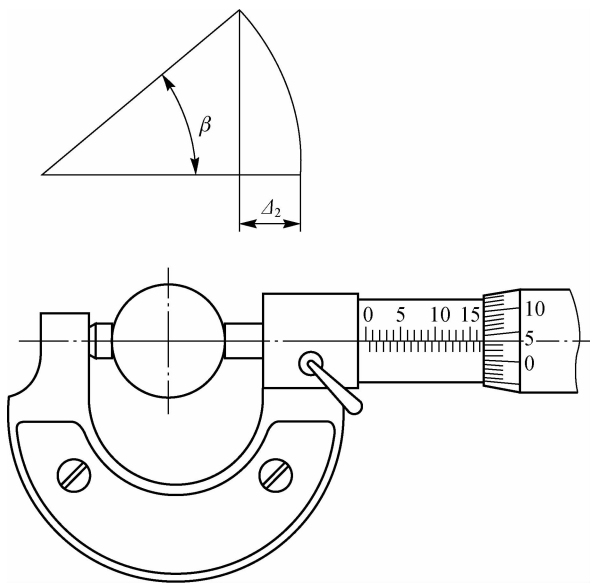


图 3-9 千分尺符合阿贝原则

3. 最短测量链原则

由测量信号从输入量值通道到输出量值通道的各个环节所构成的测量链,其环节越多测量误差越大。因此,应尽可能减少测量链的环节数,以保证测量精度。间接测量比直接测量的环节多,测量链长,测量误差大。因此,只有在不可能采用直接测量或直接测量的精度不能保证时,才采用间接测量。以最少数目的量块组成所需尺寸的量块组就是最短测量链原则的一种实际应用。

4. 最小变形原则

计量器具与被测零件都会因实际温度偏离标准温度和受力(重力和测量力)而发生变形,形成测量误差。

5. 圆周封闭原则

圆周封闭原则是指圆周分度首尾相接的间隔误差总和为零,即 0° 和 360° 总是重合的。在检测封闭圆周中各分量的角度(或弧长)时,根据圆周封闭原则无须用高精度量具就能实现高精度测量,用相对法进行检测。如对圆刻度盘和圆柱齿轮的测量。

3.5 测量误差

3.5.1 测量误差的概念

对于任何测量过程,受计量器具和测量条件方面的限制,不可避免地会出现或大或小的测量误差。因此,每个实际测得值,往往只是在一定程度上接近被测几何量的真值,这种实际测得值与被测几何量的真值之差称为测量误差。测量误差可以用绝对误差或相对误差来表示。

1. 绝对误差 δ

绝对误差 δ 是指被测量的测得值 x 与其真值 x_0 之差,即

$$\delta = x - x_0 \quad (3-4)$$

绝对误差 δ 可能是正值,也可能是负值。因此,真值可用下式表示:

$$x_0 = x - \delta \quad (3-5)$$

按照此式,可以由测得值和测量误差来估计真值存在的范围。测量误差的绝对值越小,被测几何量的测得值越接近真值,表明测量精度越高;反之,则表明测量精度越低。测量精度不仅与绝对误差的大小有关,还与被测量的尺寸大小有关,所以这一结论只适用于测量尺寸相同的情况。对于大小不相同的被测几何量,用绝对误差表示测量精度不方便,所以需要由相对误差来表示或比较它们的测量精度。

2. 相对误差 ϵ

相对误差 ϵ 是指绝对误差 δ 的绝对值与被测量真值 x_0 之比,即

$$\epsilon = |\delta| / x_0 \quad (3-6)$$

相对误差是一个无量纲的数值,通常用百分比表示。在实际测量中,由于被测量真值是未知的,而指示值又很接近真值,因此可以用指示值 x 代替真值 x_0 来计算相对误差。

例如,测得两个孔的直径大小分别为 25.43 mm 和 41.94 mm,其绝对误差分别为 +0.02 mm 和 +0.01 mm,则由式(3-6)计算得到其相对误差分别为

$$\epsilon = 0.02 / 25.43 \approx 0.0786\%$$

$$\epsilon = 0.01 / 41.94 \approx 0.0238\%$$

显然,后者的测量精度比前者高。

3.5.2 测量误差的来源

测量误差产生的原因归纳起来主要有以下几个方面:

1. 基准件误差

任何基准件都不可避免地存在误差,用它做基准时,其误差会代入测得值中。例如,在立式光学比较仪上用量块做基准,测量塞规,量块的误差会直接影响测得值。因此,为了保证一定的测量精度,必须选择一定精度的量块。

2. 计量器具的误差

计量器具的误差是指计量器具本身的误差,是由计量器具的设计、制造和装配调整不准确而产生的误差。这些误差综合反映在示值误差和测量的重复精度上。例如,测量仪器中测头的直线位移与指针的角度位移不成比例,或器具设计时不符合阿贝原则等造成的原理误差。例如,当用游标卡尺测量轴的直径时,刻线尺上的基准长度与被测直径不在同一条直线上,即不符合阿贝原则,因此产生测量误差。

3. 测量方法误差

测量方法误差是指测量方法和定位方式不完善所引起的误差。如工件安装、定位不合理,测量方法选择不当,计算公式不准确等造成的测量误差。同一参数可以用不同的方法测量,由于测量方法误差不同,因而测量结果也不同。其测量方法误差约为计量器具不确定度的 1/3。又如,接触测量中测量力引起的计量器具和零件表面变形、间接测量中计算公式不准确、测量方法选择不当、测量过程中工件安装定位不合理等引起的误差。

4. 测量环境误差

测量环境误差是指测量时的环境条件不符合标准条件所引起的误差。如温度、湿度、振

动、气压、净化程度等因素,在这些因素中,温度是主要的。测量长度时,规定的环境条件标准温度为 20℃,但在实际测量时,由于各种原因,被测零件和计量器具的温度对标准温度均有或大或小的偏差,而被测零件和计量器具的材料不同时,它们的线膨胀系数是不同的,这会产生一定的测量误差。温度变化引起的测量误差为

$$\Delta L = L[a_2(t_2 - 20) - a_1(t_1 - 20)] \quad (3-7)$$

式中, ΔL 为测量误差; L 为被测尺寸; t_1, t_2 为计量器具和被测工件的温度,℃; a_1, a_2 为计量器具和被测工件的线膨胀系数。

5. 人员误差

人员误差是指由测量人员的主观因素引起的误差。如测量人员对计量器具使用不正确、量值读数错误等引起的误差。

总之,产生误差的因素很多,有些误差是不可避免的,有些是可以避免的。只要测量者在测量时找出产生误差的因素,设法消除或减小其对测量结果的影响,就能保证测量精度。

3.5.3 测量误差的分类

测量误差按其特点和性质,可分为系统误差、随机误差和粗大误差 3 类。

1. 系统误差

系统误差是指在一定测量条件下,连续多次测量同一几何量时,误差的绝对值和符号均保持不变或按某一规律变化的测量误差。

误差的绝对值和符号均保持不变的测量误差称为定值系统误差。例如,在光学比较仪上用相对测量法测量零件的轴径尺寸时,调整仪器所用的量块的制造误差会引起定值系统误差。

误差的绝对值和符号按某一规律变化的测量误差称为变值系统误差。例如,在测量过程中,温度均匀变化会引起变值系统误差。

从理论上讲,系统误差是可以被消除的,特别是定值系统误差,易于发现并能够被消除或减小。但在实际测量中,系统误差不一定能完全被消除。根据系统误差的性质和变化规律,系统误差可以用计算或实验对比的方法确定,用修正值(校正值)从测量结果中予以消除。但在某些情况下,系统误差由于变化规律比较复杂,不易确定,因而难以被消除,只能针对具体情况采用不同的处理方法。

2. 随机误差

随机误差是指单个测量误差出现的大小、正负都无规律的误差。从表面看随机误差毫无规律,故也称为偶然误差。它是由许多暂时未被认识的一时不便控制的微小因素造成的误差。例如,测量仪器中温度波动、测量力的变动、突然的振动、计量器具中机构的间隙等引起的测量误差,都是随机误差。

随机误差出现的规律符合数学上的统计规律,因此常用概率论和统计方法进行处理,以便控制并减小它对测量结果的影响。

3. 粗大误差

粗大误差是由测量时测量条件的突变或测量人员主观疏忽等因素造成的数值比较大的误差。由于它使测量结果产生明显的歪曲,因而应从测量数据中将其剔除。

在测量中发现粗大误差最有效的方法是对被测量重复测量,看测量结果是否相差太远,

从而做出判断。

3.5.4 测量精度

误差和精度是相对的概念。误差是不精确、不准确的意思,误差是指测量结果偏离真值的程度。

测量精度和测量误差是从两个角度说明同一概念的术语。测量精度是指被测几何量的测得值与其真值的接近程度。测量误差越小,则测量精度越高;测量误差越大,则测量精度越低。

为了反映系统误差和随机误差对测量结果的不同影响,引出如下概念:

1. 精密度

精密度是用于评定随机误差的精度指标。它表示测量结果中随机误差大小的程度,表明测量结果随机分散的特性,是指在多次测量中所得到的数值重复一致的程度。它说明在一个测量过程中,在同一测量条件下进行多次重复测量时所得结果彼此之间相符合的程度。随机误差越小,则精密度越高。

2. 正确度

正确度表示测量结果中系统误差大小的程度。正确度在理论上可用修正值来消除。它是用于评定系统误差的精度指标。系统误差越小,则正确度越高。

3. 准确度

准确度表示测量结果与真值的一致程度。它表示测量结果中随机误差和系统误差综合影响的程度,如果系统误差和随机误差都小,则准确度高。

一般来说,精密度高而正确度不一定高;但准确度高的,则精密度和正确度都高。

以打靶为例说明系统误差与随机误差的区别及其对测量结果的影响。如图 3-10 所示,最小圆圈表示靶心,黑点表示弹孔。图 3-10(a)表示随机误差小,而系统误差大,表示打靶精密度高,正确度低;图 3-10(b)表示系统误差小,而随机误差大,表示打靶正确度高而精密度低;图 3-10(c)表示随机误差和系统误差都小,表示打靶准确度高;图 3-10(d)表示随机误差和系统误差均较大,表示打靶准确度低。

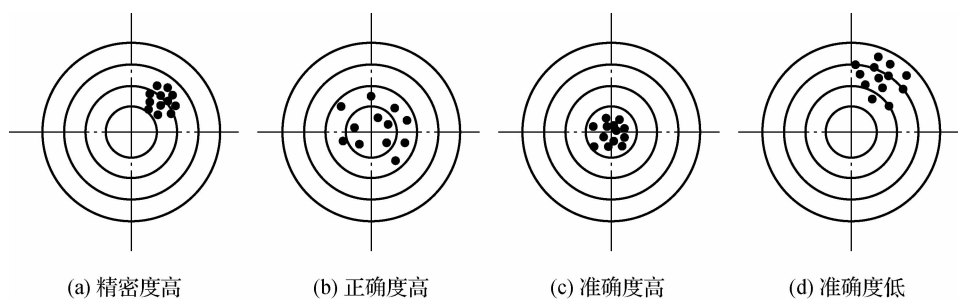


图 3-10 精密度、正确度和准确度

3.5.5 各类测量误差的特征及处理

1. 随机误差的特征及处理

随机误差的出现是不可避免和无法消除的。为了减小其对测量结果的影响,可以用概率与数理统计的方法来估算随机误差的范围和分布规律,对测量结果进行处理。

(1)随机误差的分布规律。随机误差就其整体来说是有其内在规律的。实验表明,测量时的随机误差通常服从正态分布规律。例如,用一把测量范围为 0~25 mm、分辨率为 0.001 mm 的数显千分尺,对一个直径为 $\phi 20$ mm 的光滑圆柱销的某一部位进行 200 次重复测量。从测得的 200 个不同的读数中找出最大值和最小值,用最大值减去最小值得到测得值的分散范围为 19.990~20.012 mm,以每隔 0.002 mm 为一组分成 11 组,测量数据统计表见表 3-2。

表 3-2 测量数据统计表 单位:mm

测量组号	测量范围	测量中值 x_i	出现次数(频数 n_i)	出现频率 n_i/N
1	19.990~19.992	19.991	2	0.01
2	>19.992~19.994	19.993	4	0.02
3	>19.994~19.996	19.995	10	0.05
4	>19.996~19.998	19.997	24	0.12
5	>19.998~20.000	19.999	37	0.185
6	>20.000~20.002	20.001	45	0.225
7	>20.002~20.004	20.003	39	0.195
8	>20.004~20.006	20.005	23	0.115
9	>20.006~20.008	20.007	12	0.06
10	>20.008~20.010	20.009	3	0.015
11	>20.010~20.012	20.011	1	0.005

以表 3-2 中的测得值 x_i 为横坐标、频率 n_i/N 为纵坐标,以每组的区间与相应的频率为边长画出直方图,即频率分布直方图,如图 3-11(a)所示。连接每个小方图的顶线中点,得到一条折线,称为测得值的实际分布曲线。

如果将测量次数 N 无限增大($N \rightarrow \infty$),分组间隔无限减小($\Delta x \rightarrow 0$),且用误差 δ 来代替尺寸 x ,则实际分布曲线就会变成图 3-11(b)所示的光滑曲线,即随机误差的理论正态分布曲线。

(2)随机误差的特点。从正态分布曲线[见图 3-11(b)]可以看出,随机误差具有下列 4 个基本特性:

- ①单峰性。绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的次数多,图形呈单峰。
- ②对称性。绝对值相等的正、负误差出现的次数接近相等,图形近似于对称分布,测得值的平均值为分布中心。
- ③有界性。在一定测量条件下,随机误差的绝对值不会超过一定界限。
- ④抵偿性。在同一条件下,对同一被测值的测量次数无限增加时,随机误差的算术平均值趋近于零。

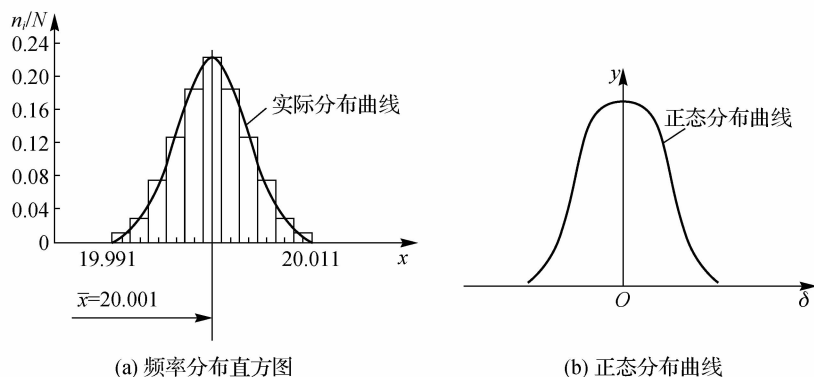


图 3-11 频率分布直方图与正态分布曲线

(3) 随机误差的评定指标。一般情况下,大批量工件的加工和测量的随机误差多为正态分布。根据概率论原理,正态分布曲线的数学表达式为

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \quad (3-8)$$

式中, y 为概率密度; σ 为标准偏差; δ 为随机误差,它是指在没有系统误差的条件下测得值与真值之差; e 为自然对数的底。

由式(3-8)可知,概率密度 y 的大小与随机误差 δ 、标准偏差 σ 和自然对数的底 e 有关。当 $\delta=0$ 时,概率密度 y 最大,即 $y_{\max} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}}$,概率密度最大值因标准偏差大小而变化。在

图 3-12 所示的 3 条正态分布曲线中, $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$,则 $y_{1\max} > y_{2\max} > y_{3\max}$ 。由此可见, σ 越小,正态分布曲线越陡峭,随机误差的分布范围越小,尺寸越集中,测量精度越高; σ 越大,正态分布曲线越平坦,随机误差的分布范围越大,尺寸越分散,测量精度越低。

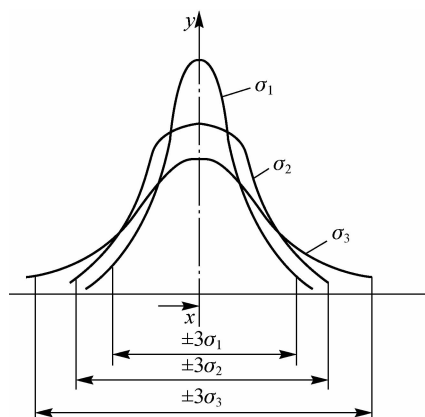


图 3-12 标准偏差对概率密度分布特性的影响

由此可见,根据误差理论,标准偏差等于各随机误差平方和的算术平均值的平方根。标准偏差可按下式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \cdots + \delta_n^2}{n}} \quad (3-9)$$

式中, $\delta_1, \delta_2, \cdots, \delta_n$ 为测量列中测得值相应的随机误差; n 为测量次数。

标准偏差表示正态分布曲线的形状和分散程度, 能反映测量精度的高低。因此, 标准偏差可作为评定含有随机误差时测量精度的指标。

(4) 随机误差的置信概率与极限值。由概率论可知, 随机误差具有有界性, 其大小不会超过一定的范围。随机误差的极限值就是测量极限误差。

由概率论理论可知, 正态分布曲线与横坐标轴间所包含的面积等于所有随机误差出现的概率总和, 故随机误差在 $(-\infty, +\infty)$ 的概率应为

$$p = \int_{-\infty}^{+\infty} y d\delta = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} d\delta = 1 \quad (3-10)$$

如果随机误差区间为 $(-\delta \sim +\delta)$, 则其概率为

$$p = \int_{-\delta}^{+\delta} y d\delta = \int_{-\delta}^{+\delta} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} d\delta \quad (3-11)$$

为计算方便, 设 $t = \frac{\delta}{\sigma}$, $dt = d\delta/\sigma$, 则代入上式后, 转化为

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-t}^{+t} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (3-12)$$

再设 $p = 2\phi(t)$, 则有

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (3-13)$$

函数 $\phi(t)$ 就是拉普拉斯函数(概率积分)。表 3-3 列出了 $t=1, 2, 3, 4$ 四个特殊值所对应的积分值, 并分别求出了不超出 δ 区间与超出 δ 区间的概率。由表 3-3 可知:

当 $t=1$ 时, 在 $\delta=\pm\sigma$ 范围内的概率为 68.26%;

当 $t=2$ 时, 在 $\delta=\pm 2\sigma$ 范围内的概率为 95.44%;

当 $t=3$ 时, 在 $\delta=\pm 3\sigma$ 范围内的概率为 99.73%。

由此可见, 随机误差超出 $\delta=\pm 3\sigma$ 范围的概率仅为 0.27%。即在连续 100 次的测量中, 随机误差超出的只有 0.27 次。而测量次数一般不会多于十几次。实践中认为 $\delta=\pm 3\sigma$ 时 $P \approx 1$; $\pm 3\sigma$ 被认为是单次测量的随机误差的极限值, 并记作

$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma \quad (3-14)$$

显然, δ_{lim} 也是测量列中单次测量的测量极限误差。

表 3-3 4 个特殊 t 值对应的概率

t	$\delta = \pm t\sigma$	不超出 $ \delta $ 的概率 $p = 2\phi(t)$	超出 $ \delta $ 的概率 $p' = 1 - 2\phi(t)$
1	1σ	0.682 6	0.317 4
2	2σ	0.954 4	0.045 6
3	3σ	0.997 3	0.002 7
4	4σ	0.999 36	0.000 64

例如,某次测量的测得值为 30.002 mm,若已知标准偏差 $\sigma=0.000\ 2$ mm,置信概率取 99.73%,则测量结果应为 $(30.002\pm 3\times 0.000\ 2)$ mm $= (30.002\pm 0.000\ 6)$ mm。

(5)随机误差的数据处理步骤。在一定的测量条件下,因为被测几何量的真值未知,所以不能直接计算求得标准偏差的数值。在实际测量时,当测量次数 N 充分大时,随机误差的算术平均值趋于零,因此可以用测量列中各个测得值的算术平均值代替真值,来确定标准偏差和确定测量结果。可按以下步骤对随机误差进行处理:

①计算测量列的算术平均值。算术平均值是指一个被测量的 n 个测得值的代数和除以 n 而得的商。若测量列为 $x_1, x_2, \dots, x_n$,则算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3-15)$$

式中, n 为测量次数。

②计算残余误差(残差)。残差 ν_i 是指各个测得值 x_i 与算术平均值之差。

$$\nu_i = x_i - \bar{x} \quad (3-16)$$

残差具有以下两个特性:一是残差的代数和等于零,即 $\sum_{i=1}^n \nu_i = 0$;二是残差的平方和为最小。

此即最小二乘法原理。若用其他值代替残差并求得各测得值对该值的差,则各个差值的平方和一定比残差的平方和大,由此可见,用算术平均值作为测量结果是合理、可靠的。

③计算测量列中单次测得值的标准偏差 σ 。标准偏差 σ 是代表一组测得值中任一测得值的精密程度的参数。由于随机误差 δ_i 是未知量,实际测量时常用残差 ν_i 代替 δ_i 来计算总体标准偏差,此时所得值称为总体标准偏差 σ 的估计值 S ,常用贝塞尔(Bessel)公式求出。即

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i^2}{n-1}} \quad (3-17)$$

由式(3-17)算出 S 后,便可取 $\pm 3S$ 作为单次测量的极限误差。即

$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3S \quad (3-18)$$

④计算测量列算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 。若在一定测量条件下,对同一被测几何量进行多组测量(每组测量 n 次),则对应每组 n 次测量都有一个算术平均值,各组的算术平均值不相同。不过,它们的分散程度要比单次测量值的分散程度小得多。描述它们的分散程度同样可以用标准偏差作为评定指标。根据误差理论,测量列算术平均值的标准偏差用下式计算:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3-19)$$

式中, n 为每组的测量次数。

由式(3-19)可知,测量次数 n 越多,则 $\sigma_{\bar{x}}$ 越小,故增加重复测量次数 n 可提高测量的精密度。但由于 σ 与 $\sigma_{\bar{x}}$ 的比值与测量次数 n 的平方根成正比, σ 一定时,在 $n>20$ 以后,再增加重复测量次数, $\sigma_{\bar{x}}$ 减小已很缓慢,对提高测量精密度效果不大,所以测量次数也不是越多

越好,一般 $n=10\sim 15$ 为宜。

测量列算术平均值的测量极限误差为

$$\delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma_{\bar{x}}$$

多次(组)测量所得算术平均值的测量结果可表示为

$$x_c = \bar{x} \pm \delta_{\text{lim}(\bar{x})} = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$$

此时的置信概率为 99.73%。

2. 系统误差的发现及其消除方法

发现和消除系统误差对于提高测量准确度是非常重要的。

(1) 系统误差的发现。系统误差的发现包括定值系统误差的发现和变值系统误差的发现。

① 定值系统误差的发现。因定值系统误差的大小和符号均不变,故其一般不影响测量误差的分布规律,只改变测量误差分布中心的位置。要发现某一测量条件下是否有定值系统误差存在,可采用试验对比法,即用更高精度的计量器具进行检定性测量,以两者对同一量值进行测量次数相同的多次重复测量求出其算术平均值之差,作为定值系统误差。

② 变值系统误差的发现。变值系统误差可用残差观察法发现,将所测得值的残差作图,观察残差的规律。如图 3-13(a)所示,残差大体上正、负相间,又没有显著变化,则可认为不存在变值系统误差;如图 3-13(b)所示,若残差的数值有规律地递增或递减,则存在着线性系统误差;如图 3-13(c)所示,若残差的大小和符号有规律地周期变化,逐渐由正变负或由负变正,则存在着周期性系统误差;如图 3-13(d)所示,若残差按某种特定的规律变化,则存在复杂变化的系统误差。

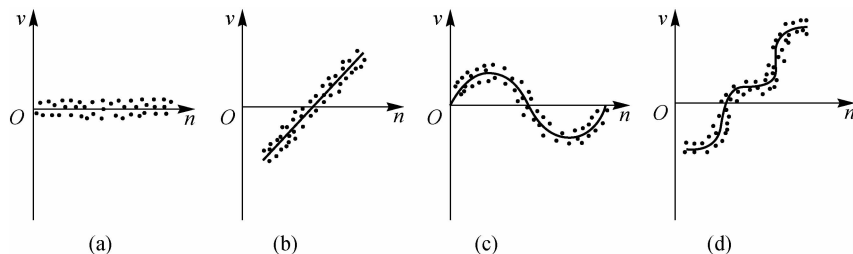


图 3-13 残差的变化规律

(2) 系统误差的消除方法。系统误差的消除方法有以下 4 种:

① 误差根除法。误差根除法是指从产生误差的根源上消除误差的方法。测量人员对测量过程中可能产生系统误差的各个环节加以分析,并在测量前将系统误差从根源上加以消除。例如,在测量前仔细调整仪器工作台,调准零位,使计量器具和被测工件处于标准温度状态,测量人员要正对仪器指针读数和正确估读,等等。

② 误差修正法。预先检定或计算出计量器具的系统误差,作出误差表或误差曲线,然后取与误差值的绝对值相同而符号相反的值作为修正值,用代数法加到实际测得的值上,即可得到不包含该系统误差的测量结果。例如,量块的实际尺寸不等于标称尺寸,如果按标称尺寸使用,就要产生系统误差,而按经过检定的量块实际尺寸(标称尺寸+修正值)使用,就会避免产生系统误差。

③ 误差抵消法。对于变值系统误差可进行两头测量,使两次测量读数量出现的系统误

差大小相等、方向相反,再取两次测量结果的平均值作为最终测量结果。如测量螺纹的螺距时,先分别测出左、右牙面螺距,然后进行平均,即可抵消螺纹测量时安装不正确引起的系统误差。

④半周期消除法。对于周期性系统误差,可每隔半个周期进行一次测量,以相邻两次测得值的平均值作为测量结果。

找出误差产生的根源和规律是消除与减小系统误差的关键。虽然从理论上讲系统误差可以完全被消除,但受多种因素的影响,实际上系统误差只能减小到一定程度,不可能完全被消除。一般来说,系统误差减小到使其影响相当于随机误差的程度,就可认为系统误差已被消除。

3. 粗大误差的处理

粗大误差的数值相当大,对测量结果产生明显的影响,在测量中应尽量避免。因此,必须采用一定的方法进行判断并将其从测量数据中加以剔除。判断粗大误差通常用拉依达准则。

拉依达准则又称为 3σ 准则。该准则判断粗大误差的原理是当测量列服从正态分布时,残余误差的绝对值落在 $\pm 3\sigma$ 外的概率仅为 0.27%,即在连续 370 次测量中只有一次测量的残余误差会超出 $\pm 3\sigma$,而连续测量的次数决不会超越 370 次,在测量列中就不应该有超出 $\pm 3\sigma$ 的残余误差。因此,凡在测量列中出现绝对值大于 $\pm 3\sigma$ 的残余误差,就可视为粗大误差,应予以剔除。其判断式为

$$|\nu_i| > 3\sigma \quad (3-20)$$

应该指出, 3σ 准则是以测量次数充分多为前提的,当测量次数较少时,用 3σ 准则不可靠。此时应采用其他判断粗大误差的准则,如狄克逊准则、肖维勒准则等。

【例 3-1】 对某一零件孔径等精度测量 14 次,测得值列于表 3-4,假设已经消除了系统误差,试求测量结果并判断是否存在粗大误差。

表 3-4 测量数据表

数据序号	测得值 x_i/mm	残差 $\nu_i/\mu\text{m}$	残差的平方 $\nu_i^2/\mu\text{m}$
1	19.956	-1	1
2	19.955	-2	4
3	19.956	-1	1
4	19.958	+1	1
5	19.959	+2	4
6	19.955	-2	4
7	19.958	+1	1
8	19.956	-1	1
9	19.958	+1	1
10	19.956	-1	1
11	19.958	+1	1
12	19.959	+2	4
13	19.956	-1	1

续表

数据序号	测得值 x_i/mm	残差 $v_i/\mu\text{m}$	残差的平方 $v_i^2/\mu\text{m}$
14	19.958	+1	1
算术平均值 $\bar{x} = 19.957$		$\sum_{i=1}^n v_i = 0$	$\sum_{i=1}^n v_i^2 = 26$

解 (1) 求出算术平均值。根据式 $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$, 计算出算术平均值 $\bar{x} = 19.957$ 。

(2) 计算残差。根据式 $v_i = x_i - \bar{x}$ 分别计算出残差, 将计算值列入表 3-4 中。

(3) 假设已经消除了系统误差, 求出单次测得值的标准偏差 σ 的估计值

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{26}{14-1}} \approx 1.4 \mu\text{m}$$

(4) 判断粗大误差。用 3σ 准则判断式 $|v_i| > 3\sigma$, 测量列中没有出现绝对值大于 $3S$ ($3 \times 1.4 = 4.2 \mu\text{m}$) 的残差, 故可判断测量列中不存在粗大误差。

(5) 计算测量列算术平均值的标准偏差:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{1.4}{\sqrt{14}} \approx 0.38 \mu\text{m}$$

(6) 计算测量列算术平均值的测量极限误差:

$$\delta_{\text{lim}(\bar{x})} = \pm 3\sigma_{\bar{x}} = \pm 3 \times 0.38 \mu\text{m} = \pm 1.14 \mu\text{m} = \pm 0.001 \text{ mm}$$

(7) 确定测量结果:

$$Q = \bar{x} \pm \delta_{\text{lim}(\bar{x})} = 19.957 \pm 0.001 \text{ mm}$$

这时的置信概率为 99.73%。

发现和消除系统误差, 判断和剔除粗大误差, 对随机误差进行统计处理, 是处理测量数据的重要内容, 是正确表达出结果的有效手段。

3.6 常用计量器具、仪器及角度类量具

常用计量器具有百分表、游标卡尺和螺旋测微类量具(千分尺), 常用测量仪器有卧式测长仪、立式光学计、电感测微仪、气动量仪、三坐标测量机, 以及角度类量具, 等等。

3.6.1 常用计量器具

1. 百分表

百分表常用于检测长度尺寸、几何误差, 调整设备等, 也用来作为各种检测夹具和专用量具的读数装置。它由表体、表圈、表盘、转数指示盘、转数指针、指针、套筒、测量杆、测量头、挡帽和耳环组成, 如图 3-14 所示。

百分表具有体积小、结构简单、使用方便和价格便宜等优点, 在计量室及车间中被广泛应用。百分表的分度值为 0.01 mm 。百分表的表盘上刻有 100 个等分格, 当量杆移动 1 mm 时, 大指针(固定在 z_1 小齿轮上)转一圈, 此时小指针(固定在 z_3 大齿轮上)转一格, 因此, 表盘上一格的分度值表示 0.01 mm 。

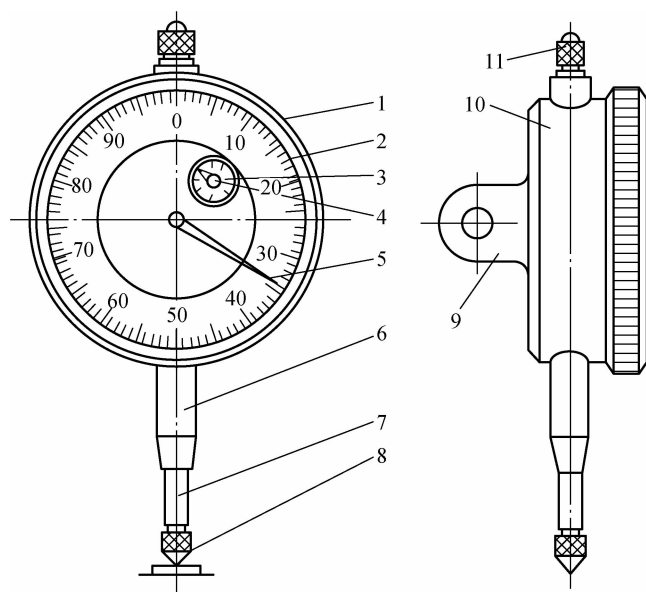


图 3-14 百分表

1—表圈；2—表盘；3—转数指示盘；4—转数指针；5—指针；6—套筒；
7—测量杆；8—测量头；9—耳环；10—表体；11—挡帽

(1)百分表的工作原理。百分表通过齿条及齿轮的传动,将量杆的直线位移变成指针的角位移。其内部传动机构如图 3-15 所示,带有齿条的测量杆在弹簧的作用下始终处于下方,并产生一定的测量力。测量杆上的齿条与 $z_2=16$ 的小齿轮啮合, z_2 小齿轮与 $z_3=100$ 的大齿轮固定在同一轴上, z_3 大齿轮又与 $z_1=10$ 的小齿轮相啮合,大指针装在 z_1 小齿轮上,小指针则装在 z_3 大齿轮上。图中右侧大齿轮齿数与 z_3 大齿轮相同,其上装有游丝,目的是消除齿轮传动中由齿侧间隙引起的测量误差。测量时测量杆上移,使 z_2 与 z_3 齿轮顺时针转动,传动 z_1 小齿轮逆时针转动(注意:该图为后视图,正面观察时正好相反)。

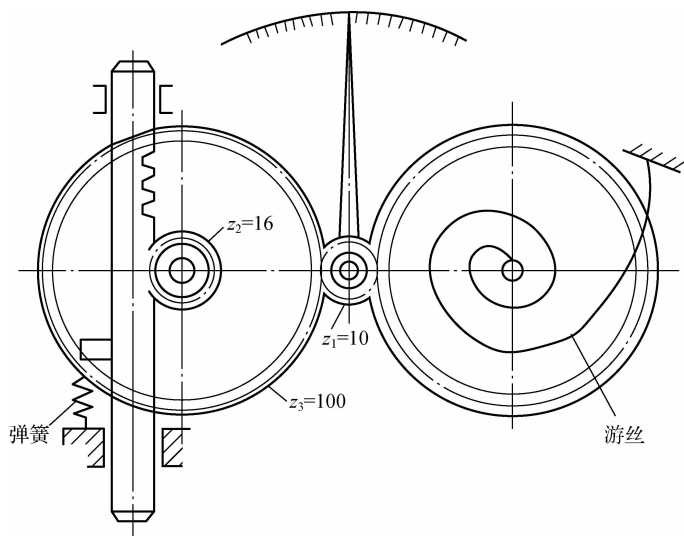


图 3-15 百分表的内部传动机构

(2)百分表的使用前检查。百分表在使用前要进行外观检查、灵敏性检查和稳定性检查。

①外观检查。检查表面玻璃是否破裂或脱落,测量头、测量杆、套筒是否有碰伤或锈蚀的地方,指针是否有松动现象,后盖是否密封,等等。

②灵敏性检查。轻轻推动和放松测量杆,检查测量杆在套筒内的移动是否平稳、灵活,有无卡住或跳动现象;指针摆动是否平稳,指针与表盘有无摩擦现象;等等。

③稳定性检查。百分表处于自由状态时,指针位于从零线开始逆时针方向 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。推动并放松测量杆,检查指针是否回到原位。如果指针回到原位,说明表的稳定性好;如果指针不能回到原位,说明表的稳定性不好,不能使用。

(3)百分表的使用方法。百分表具体使用步骤如下:

①测量头与被测表面接触时,测量杆应预先有 $0.3 \sim 1 \text{ mm}$ 的压缩量,以保持初始测力,提高示值的稳定性。在比较测量时,如果存在负向偏差,预压量还要大一些,使指针有一定的指示余量。这样,在测量过程中,既能指示出正的偏差,又能指示出负的偏差,而且仍可保持一定的测力。否则,负的偏差可能测不出来,还要重新调整。

②调零。测量前,可把百分表的指针指到表盘的零位。相对测量时,把量块作为对零位的基准;绝对测量时,把测量用平板作为对零位的基准。

③测量平面时,测量杆要与被测表面垂直。否则,不仅影响测量杆移动的灵敏性,还会产生测量误差,使测量得到的数值往往比实际的大。测量圆形工件时,测量杆的轴线应与工件的直径方向一致,并与工件轴线垂直。

④百分表必须可靠地固定在表架或其他支架上。如果用夹持套筒的方法来固定百分表,那么夹紧力要适当,以免造成套筒变形。注意,夹紧后不准再转动百分表。

⑤毛坯表面或有显著凸凹的表面不适合使用百分表测量。

⑥必要时,可根据被测件的形状、表面粗糙度和材料的不同选用适当形状的测量头。

(4)百分表的读数方法。先读百分表大表盘上的读数,即短指针与起始位置“0”之间的整数;再读小表盘上的读数,即长指针在表盘上所指数的小数部分值,两个数值相加就是被测尺寸。

2. 游标卡尺

游标卡尺在测量中用得最多。其按所测位置的尺寸可分为普通长度游标卡尺、深度游标卡尺和高度游标卡尺。游标卡尺可以用来测量内、外尺寸(如长度、宽度、厚度、内径和外径)、孔距、高度和深度等,属于应用较广泛的游标类卡尺,具有结构简单、使用方便、测量范围大等特点。它是利用游标原理进行读数的。

(1)游标卡尺的结构。游标卡尺是一种细分读数的装置,游标卡尺由主尺(尺身)和游标组成,如图 3-16 所示。当游标需要移动较大距离时,只需把紧固螺钉松开、推动游标即可。游标卡尺上端的两个量爪可用来测量孔内径尺寸,而下端的两个量爪可用来测量外表面尺寸。

(2)游标卡尺的读数原理。游标卡尺的主尺用于读取被测数值的整数部分,而小于 1 mm 的小数部分则由游标读取。设主尺每格刻线间距为 a (一般 $a=1 \text{ mm}$),游标每格刻线间距为 b ,游标上的刻度线数为 n 。若令 $(n-1)a=nb$,则

$$a-b=a/n$$

因主尺 $a=1 \text{ mm}$,故

$$a-b=1/n$$

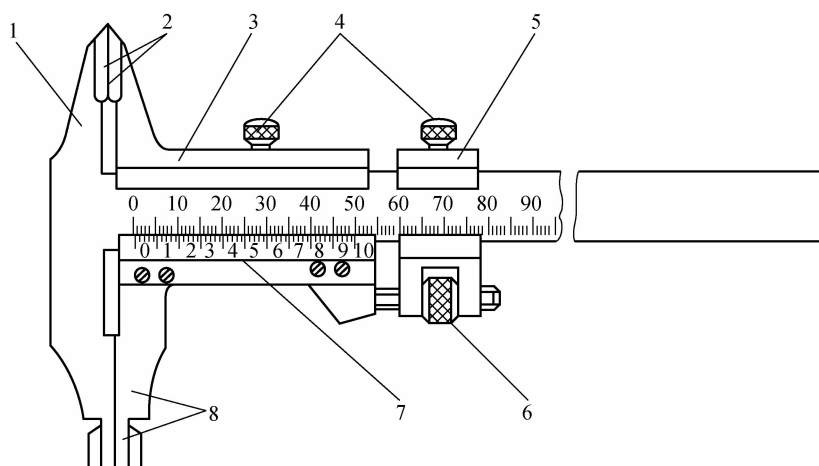


图 3-16 游标卡尺

1—尺身；2—上量爪；3—尺框；4—紧固螺钉；5—微动装置；6—微动螺母；7—游标；8—下量爪

这说明主尺上的每格刻线与游标上的每格刻线不相同,即始终有一个差量,其值等于 $1/n$ 。如图 3-17(a)所示,当 $n=10$ 时, $a-b=1/10$ mm(此时 $b=0.9$ mm);如图 3-17(b)所示,当 $n=20$ 时, $a-b=1/20$ mm(此时 $b=0.95$ mm);如图 3-17(c)所示,当 $n=50$ 时, $a-b=1/50$ mm(此时, $b=0.98$ mm)。

所以,当游标上的刻线数 n 增多时, $a-b$ 差值较小,不便于观察,为了看得清楚,有的便将游标刻度加宽,此时尺身刻度与游标刻度之间的关系按下式确定:

$$\gamma a - b = 1/n$$

式中, γ 为游标系数,一般取为 2。尺身上 a 仍为 1 mm, n 仍规定为 10, 20, 50。

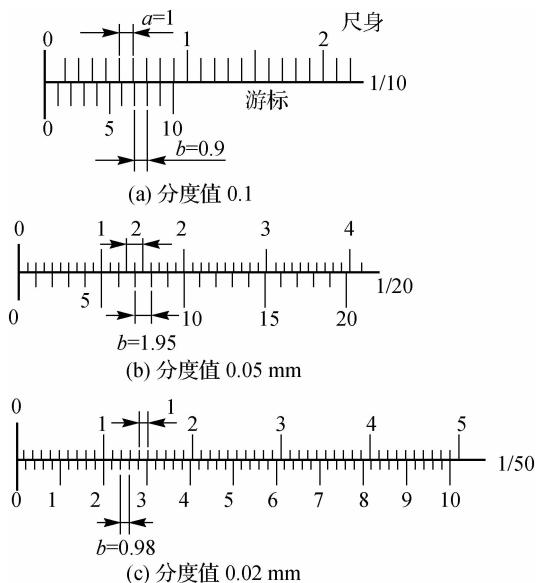


图 3-17 游标卡尺的读数原理

(3)游标卡尺的读数方法。游标卡尺读数时,首先要读出主尺刻度的整数部分,然后判断游标的第几条刻线与主尺刻线对准,把此游标刻线的序号乘上游标分度值,就可得到小数部分的读数,最后将整数部分和小数部分相加,即得到测量结果。

如图 3-18 所示,被测数值 x 由两部分组成,先从尺身读出整数部分(15 mm),再从游标读出小数部分(y)。从游标零线向右看,找到与尺身刻线相重合的线(第 4 条线),要读的小数 $y=(4 \times 0.1)\text{mm}$ 。所以要读的被测数值为

$$x=15+4 \times 0.1=15.4 \text{ mm}$$

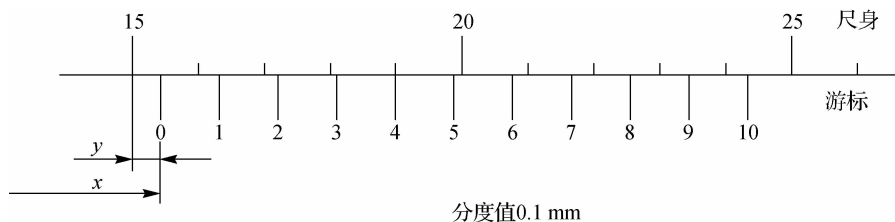


图 3-18 游标卡尺的读数示例

游标卡尺属于中等精度的量具,生产中不能用游标卡尺测量精度要求高的零件,否则精度达不到;也不能用来测量毛坯件,否则游标卡尺容易损坏。另外,有一种数显卡尺代替了游标尺应用于生产。数显卡尺利用电测方法测出位移量,并由液晶显示读数,使用比较方便。

3. 螺旋测微类量具

螺旋测微类量具是利用螺旋副测微原理进行测量的一种量具。螺旋测微类量具根据不同用途可分为外径千分尺、公法线千分尺、深度千分尺等。最常用的就是外径千分尺,下面对外径千分尺进行重点介绍。

(1)外径千分尺的构造。如图 3-19 所示,外径千分尺带刻度的固定套筒 5 内有带螺纹的轴套 4,其螺距为 0.5 mm。测微螺杆 3 右边的外螺纹与轴套 4 的内螺纹配合。固定套筒 5 外表面有带刻度的微分筒 6,它通过带锥度的接头 8 与测微螺杆后部的外锥体相连接。调节螺母 7 用来调节测微螺杆 3 运转时的松紧度。当测微螺杆固定不动时,可用锁紧装置 11 锁紧。松开垫片 9 时,可使测微螺杆与微分筒分离,以便调整零线位置。转动测力控制装置 10,测微螺杆和微分筒随之转动。当测微螺杆 3 左端面接触到工件时,测力控制装置 10 内部发出打滑的“咔、咔”跳动声音,这时应锁紧测微螺杆,然后进行读数。

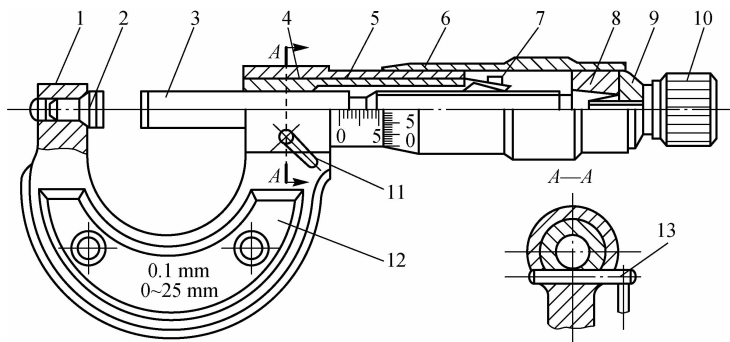


图 3-19 外径千分尺

1—尺架; 2—测砧; 3—测微螺杆; 4—轴套; 5—固定套筒; 6—微分筒; 7—调节螺母; 8—接头;
9—垫片; 10—测力控制装置; 11—锁紧装置; 12—绝热板; 13—锁紧轴

(2) 外径千分尺的工作原理。外径千分尺是应用螺旋测微传动的方法进行读数的, 将测头的微小直线位移量转换成微分筒的角位移量加以放大。

如图 3-19 所示, 外径千分尺的测微螺杆与微分筒连为一体, 紧压入尺架内的固定套筒的右端有一个螺母, 测微螺杆与刻度套筒一起边旋转边做直线位移, 设测微螺杆的螺距 P 为 0.5 mm , 在微分筒的圆锥面上刻有 50 条等分的刻线, 千分尺的分度值为 0.01 mm 。微分筒旋转一圈, 测微螺杆沿轴向移动一个导程 0.5 mm ; 微分筒转过一格, 测微螺杆的轴向位移量为 $0.5 \times 1/50 = 0.01 \text{ mm}$ 。

外径千分尺的测量范围有 $0 \sim 25 \text{ mm}$ 、 $25 \sim 50 \text{ mm}$ 、 $50 \sim 75 \text{ mm}$ 等, 但测微螺杆的测量行程一般均为 25 mm 。

(3) 外径千分尺的读数方法。外径千分尺的读数分为两部分, 先在固定套筒上读出被测量的整数部分(有时包含半毫米数), 然后在微分筒上读出被测量的小数部分。把两者相加, 即为所得的测量值。

如图 3-20 所示, 外径千分尺的读数方法示例如下:

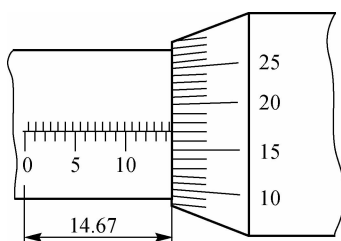


图 3-20 外径千分尺的读数方法示例

① 读主尺上的读数。在固定套筒上读出其与微分筒边缘靠近的刻线数值(包括整毫米数和半毫米数)。当微分筒边缘未盖住固定套筒上的 0.5 mm 刻度时, 应先读出 0.5 mm 。主尺读数为 14.5 mm 。

② 读微分筒上的读数。找到微分筒上与固定套筒基准线对准的刻线, 从下往上读, 一分为 0.01 mm , 有多少格读多少。微分筒上的读数为 0.17 mm 。

③ 把以上两个数相加, 为 14.67 mm 。

(4) 外径千分尺的使用注意事项。外径千分尺的测力装置如图 3-21 所示, 转帽 5 通过螺钉 6 与右棘轮 4 相连并上紧在棘轮轴 1 上, 弹簧 2 左端支承在棘轮轴端面上, 右端通过棘轮轴 1 使棘轮 3 与棘轮 4 紧密贴合, 因棘轮轴 1 与刻度套筒及测微螺杆连为一体, 故可一起转动与移动。当测微螺杆前端接触工件受阻而不再转动与移动时, 若继续转动转帽 5 则会使棘轮副打滑而发出声响, 表示已经到位, 应停止转动。测量时若人为用力过大则会造成工件弹性变形, 产生测量误差。

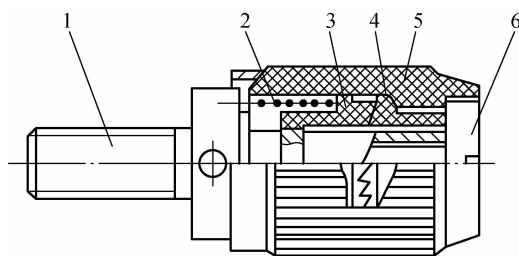


图 3-21 外径千分尺的测力装置

1—棘轮轴; 2—弹簧; 3, 4—棘轮; 5—转帽; 6—螺钉

千分尺属于测量精度比较高的通用量具, 其制造精度主要由它的示值误差和测量面平行度误差及尺架受力时变形量的大小来决定。千分尺按制造精度可分为 0 级和 1 级两种, 0 级精度较高, 1 级精度次之。

3.6.2 常用测量仪器

1. 卧式测长仪

卧式测长仪是一种精密机械, 它除可用于对零件的外形尺寸进行绝对测量和比较测量外, 还可以使用仪器的附件测量平行平面的内尺寸, 内孔尺寸, 内、外螺纹的中径, 以及用电

眼装置测量小孔尺寸,等等。卧式测长仪精确地应用了阿贝原理,采用了高精密的测量系统,因而具有较高的测量精度。卧式测长仪的分度值为 0.001 mm ,测量范围为 $0\sim 100\text{ mm}$ 。

卧式测长仪是按照阿贝原理设计的,即被测尺寸线在毫米刻度尺轴线的延长线上。如图 3-22 所示,在进行外尺寸测量时,测量前先使仪器测座与尾座 10 的两测量头接触,在读数显微镜中观察并记下第一次读数。然后以尾座测量头为固定测量头,移动测座,将被测工件放入两测量头之间,调整工作台,使被测尺寸处于测量轴线上,再从读数显微镜中观察并读出第二次读数。两次读数之差就是被测工件的实际尺寸。

卧式测长仪的工作原理如图 3-22 所示,由光源 8 发出的光线经过滤光片 7、聚光镜 6 照亮了玻璃基准线纹尺 5,经物镜 4 成像于螺旋分划板 2 上,在读数显微镜的目镜 1 中可看到 3 种刻度重合在一起:一种是毫米线纹尺上的刻度,其间隔为 1 mm ;另一种是间隔为 0.1 mm 的十等分刻度,在十等分分划板 3 上;还有一种是有 10 圈多一点的阿基米德螺旋线刻度,在螺旋分划板 2 上,其螺距为 0.1 mm ,在螺旋线里圈的圆周上有 100 格圆周刻度,每格圆周刻度代表阿基米德螺旋线移动 0.001 mm 。读数时,旋转螺旋分划板微调手柄 9,使毫米刻度线位于某阿基米德螺旋线双刻线之间。从图 3-22 所示的显微镜中看到的图像可知,基准线纹尺的毫米数值为 52 mm 和 53 mm ,其中 53 mm 指示线在第二圈阿基米德螺旋线双刻线中,则毫米数为 53 mm ;第二圈阿基米德螺旋线在十等分分划板上的位置不足 2 格,则读数为 0.1 mm ; 0.001 mm 的数值从螺旋线里圈的圆周上读出,为 0.085 mm ,最后一位数字由测量者估计得出,整个读数值为

$$53 + 0.1 + 0.085 = 53.185\text{ mm}$$

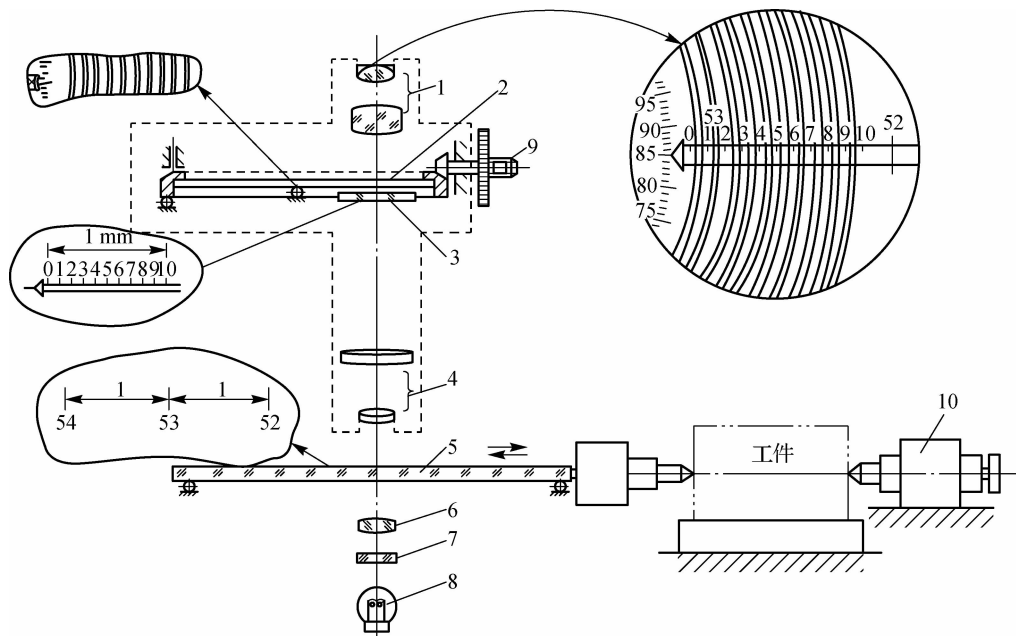


图 3-22 卧式测长仪的工作原理

- 1—目镜; 2—螺旋分划板; 3—十等分分划板; 4—物镜; 5—基准线纹尺;
6—聚光镜; 7—滤光片; 8—光源; 9—微调手柄; 10—尾座

2. 立式光学计

立式光学计又称为立式光学比较仪,可用于测量精密轴类零件、检定 5 等量块或测量圆柱形、球形、线形等工件的直径或板形工件的厚度。它是一种精度较高、结构简单的常用计量光学仪器,主要用于相对测量(也可在 0.1 mm 范围内用于绝对测量)。测量前用量块(或标准件)调整零位,被测尺寸和量块尺寸的差数可以在仪器的刻度尺上读出。

(1)立式光学比较仪的基本参数。

①仪器分度值: 0.001 mm。

②标尺示值范围: ± 0.1 mm。

③仪器测量范围: 0~180 mm。

④测量误差: $\pm \left(0.5 + \frac{L}{100}\right) \mu\text{m}$ (L 为被测尺寸, mm)。

(2)立式光学比较仪的工作原理。立式光学比较仪是利用光学杠杆放大作用将测量杆的直线位移转换为反射镜的偏转,使反射光线也相应发生偏转,从而得到标尺影像的一种光学量仪。其工作原理如图 3-23(a)所示,玻璃标尺位于物镜的焦平面上, C 为标尺的原点。当光源发出的光照亮标尺时,标尺相当于一个发光体,其光束经物镜产生一束平行光。光线在前进中遇到与主光轴垂直的平面反射镜,则按原路反射回来,经物镜后,光线会聚在焦点 C' 上。 C' 点和 C 点重合,标尺的影像仍在原处。如图 3-23(b)所示,当测杆 2 有微量位移 l 时,使平面反射镜 1 对主光轴偏转 α 角,于是由反射镜反射的光线与入射光线之间偏转 2α 角,标尺上 C 点的影像移到 C'' 点。只要把位移 L 测量出来,就可求出测杆的位移量 l 值。从图上可知, $L = f \tan 2\alpha$, f 是物镜的焦距,而 $l = a \tan \alpha$,因 α 很小,故放大比为

$$K = \frac{L}{l} = \frac{f \tan 2\alpha}{a \tan \alpha} \approx \frac{2f}{a}$$

式中, a 为测杆到平面反射镜支点 M 的距离,称为臂长。

一般物镜焦距 $f = 200$ mm,臂长 $a = 5$ mm,代入上式得

$$K = \frac{2 \times 200}{5} = 80$$

因此,光学杠杆放大比为 80 倍,标尺的像透过放大倍数为 12 的目镜来观察,这样总的放大倍数为 $12 \times 80 = 960$ 倍。也就是说,当测杆位移 $1 \mu\text{m}$ 时,经过 960 倍的放大,相当于在目镜内看到刻线移动了 0.96 mm。

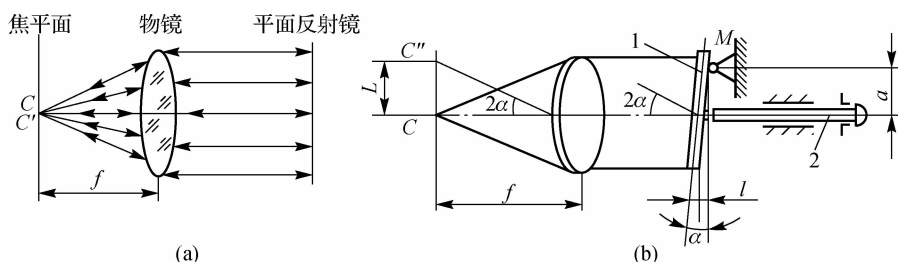


图 3-23 光学杠杆转换原理

1—平面反射镜; 2—测杆

图 3-24 所示为立式光学比较仪中光学测量管的光学系统。照明光经平面反射镜 1 照

亮分划板 2 左面的刻度标尺,标尺的光线经棱镜 3、物镜 4 形成平行光束(分划板位于物镜的焦平面上),射在平面反射镜 5 上。当测杆 6 有微量位移时,平面反射镜 5 绕支点转动 α 角,使刻度尺在分划板右边的像相对于固定的基准线上下移动。从目镜中可观察到刻度尺影像相对于基准线的位移量,从而得到测杆的位移量。

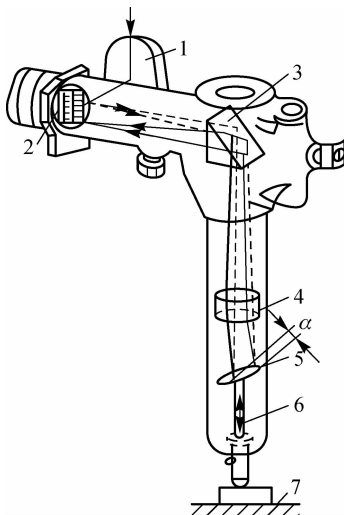


图 3-24 光学测量管的光学系统

1—反射镜; 2—分划板; 3—棱镜; 4—物镜; 5—平面反射镜; 6—测杆; 7—工作台

测量零件时,先将量块放在工作台上,调整仪器使反射镜与主光轴垂直,然后换上被测工件,测量出工件与量块尺寸的差异使测杆产生的位移。

3. 电感测微仪

电感测微仪是精密测量仪器。它是利用磁路中气隙的改变而引起电感量相应改变的一种量仪,能够测量微小的尺寸变化。

图 3-25 所示为数字式电感测微仪的工作原理。首先用量块调整仪器的零位,即调节测量杆 3 与工作台 5 的相对位置,使测量杆 3 上端的磁芯 2 处于两只差动线圈 1 的中间位置,数字显示为零。在测量时,若被测尺寸相对于量块尺寸有偏差,则测量杆 3 带动磁芯 2 在差动线圈 1 内上下移动,引起差动线圈电感量的变化,测量电路将电感量的变化转化为电压(或电流)信号,电压信号经放大和整流后由数字电压表显示,即显示被测尺寸相对于量块的偏差。其读数精度可数字显示出 $0.1 \mu\text{m}$ 的量值。

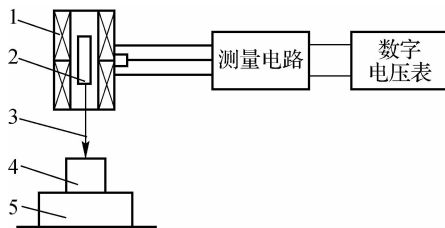


图 3-25 数字式电感测微仪的工作原理

1—差动线圈; 2—磁芯; 3—测量杆; 4—被测零件; 5—工作台

4. 气动量仪

气动量仪也称为流量式气动量仪,它是根据流体力学的原理,用压缩空气做介质,将微小直线位移转变成气体的压力变化或流量变化,从而用流量计或压力计进行读数的仪器。其中,常用的是一种浮标式气动量仪,它将被测尺寸的变化转换成锥度玻璃管内浮标位置的变化,从而实现尺寸的比较测量。

图 3-26 所示为浮标式气动量仪的工作原理。清洁、干燥的压缩空气从稳压器输出,分两路流向测量喷嘴 5。一路压缩空气从锥形玻璃管下端进入,在此气流作用下,将玻璃管内的浮标 1 托起,并悬浮在玻璃管内某一高度位置上,压缩空气从浮标和玻璃管内壁之间的环形间隙流过,经玻璃管上端后,一部分从零位调整阀 6 逸入大气,另一部分进入测量喷嘴 5,经间隙 δ 流入大气;另一路

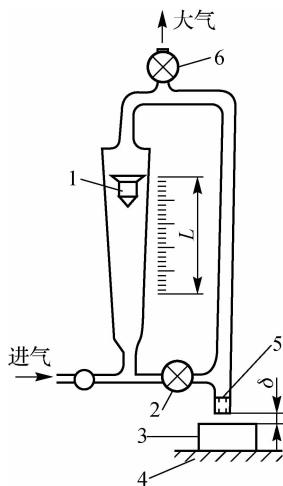


图 3-26 浮标式气动量仪的工作原理

1—浮标; 2—倍率调整阀; 3—工件; 4—工作台;
5—测量喷嘴; 6—零位调整阀

压缩空气经倍率调整阀 2 到测量喷嘴,从间隙 δ 流入大气。当工作压力保持恒定,且倍率调整阀和零位调整阀在一定的开度时,被测工件尺寸不同,测量喷嘴与工件间的间隙必然不同,流过喷嘴的气体流量也不同,于是浮标的悬浮位置就不同。间隙 δ 越大,空气流量也越大,直到气流作用和浮标的重力平衡时才使浮标停止上升。这样,可由浮标的位置在标尺上读出工件的尺寸偏差。它也是用比较测量法将被测尺寸所形成的浮标高度与相应的标准尺寸所形成的浮标高度进行比较来确定工件是否合格的。

浮标式气动量仪分度值可达 0.000 5 mm。

5. 三坐标测量机

三坐标测量机是一种精密、高效的测量仪器。它集光、机、电、计算机和自动控制等多种技术于一体,可在空间相互垂直的 3 个坐标上对测量长度和相互位置精度要求高、轮廓几何形状和空间曲面复杂的机械零件、模型和制品进行快速精密检测,是质量控制必不可少的设备,也是数控加工和柔性制造系统中实现“设计—制造—检测”一体化的重要单元,目前已被广泛用于机械制造业、汽车工业、电子工业、航空航天工业和国防工业等各部门。它之所以出现,一方面是自动机床、数控机床高效率加工及越来越多的复杂形状零件加工需要有快速且可靠的测量设备与之配套;另一方面是电子技术、计算机技术、数字控制技术及精密加工技术的发展为三坐标测量机的产生提供了技术基础。

(1) 三坐标测量机的类型。三坐标测量机根据应用场合一般可分为高精度型、中精度型和低精度型 3 类。它们是按三坐标测量机单轴示值精度在 1 m 测量范围内的误差值 ($\pm 2\sigma$) 划分的,低精度的误差值大于 $\pm 15 \mu\text{m}$,中精度的误差值为 $\pm (5 \sim 15) \mu\text{m}$,高精度的误差值小于 $\pm 5 \mu\text{m}$ 。

三坐标测量机根据测量范围可分为小型测量机(X 轴的测量范围在 600 mm 以下)、中型测量机(X 轴的测量范围为 600~1 200 mm)和大型测量机(X 轴的测量范围在 1 200 mm 以上);根据精度一般可分为生产型和精密型;根据布局结构可分为桥式(属于大型机)、龙门式(属于中型机)和悬臂式(属于小型机)。

各种类型的三坐标测量机的优、缺点如下:桥式三坐标测量机刚性好,在测量范围较大时能保证测量精度。龙门式三坐标测量机精度高,刚性好,移动平稳,但立柱限制了工件的装卸,测量不方便。悬臂式三坐标测量机的工作台开阔,易于装卸工件,运动轻便,但其刚性较差。

(2)三坐标测量机的组成及工作原理。三坐标测量机由主机(包括工作台、导轨、驱动系统、位置测量系统等)、测头系统、控制系统、计算机及其软件、终端设备、工作台及附件等几部分组成。悬臂式三坐标测量机如图 3-27 所示。测量时,测量头沿着被测工件的几何型面移动,测量机随时给出测量头的位置,从而获得被测几何型面上各测点的坐标值。根据这些坐标值,计算机算出待测的尺寸或几何误差。

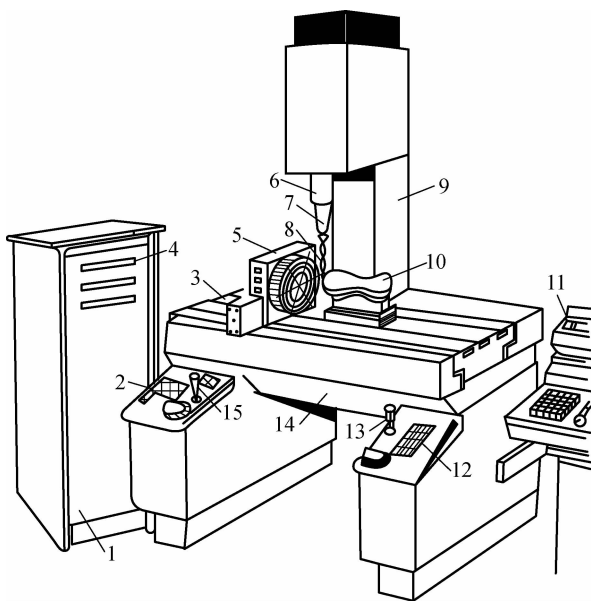


图 3-27 悬臂式三坐标测量机

- 1—控制箱；2—操作键盘；3—工作台；4—数显器；5—分度头；6—测杆；7—三维测头；
8—测针；9—立柱；10—工件；11—记录仪、打印机等外部设备；12—程序调用键盘；
13、15—控制 X、Y、Z 运动方向的操作手柄；14—机座

三坐标测量机工作台一般采用花岗石。导轨一般在 X、Y、Z 方向均采用气浮导轨,移动时摩擦阻力小,轻便灵活,工作平稳,精度高。位置测量系统是三坐标测量机的重要组成部分,对测量精度影响很大,一般采用自动发讯数字式连续位移系统。该系统由标尺光栅、指示光栅和光电转换器组成。当指示光栅相对标尺光栅移动时,由光栅副产生的莫尔条纹随之移动,其位移量由光电转换器转换成周期电信号,电信号经放大整形处理成计数脉冲,送入数显器或计算机中。

三坐标测量机的关键部件是测量头,测量头对测量机的功能、精度和效率影响很大。测量头根据测量方法不同分为接触式和非接触式;根据结构不同分为机械式、光学式和电气式。接触式测量头在测量时用测量头的下端与工件直接接触。非接触式测量头多为光学式或电气式,测量时没有测量力,故可对软材料和易变形材料进行精确测量。测量头在测杆上一般可以沿前、后、左、右和下 5 个方向安装。也可以同时安装几个测量头,以便同时进行各个面的测量。如测量复杂曲面,测量头还可以在水平面或垂直面内旋转。

三坐标测量机最常用的测量头是电气式测量头,电气式测量头分为点位测量电子测头和连续扫描测量电子测头两类。测头工作时不能离开工件。连续扫描测量电子测头工作时,可以在通过测头中心的断面内或垂直测头中心的平面内扫描轮廓型面。测头内含有3套辅助伺服控制系统,用来保证测头始终贴在零件的表面上。连续扫描测量电子测头可对三维空间的曲线、曲面进行连续扫描测量。点位测量电子测头工作时,测头接触工件后发出采样信号,多头电子测头由5个三向过零发讯的电子测头分别装在测头主体的前、后、左、右、下5个位置上。因为点位测量电子测头是由不同形状和不同长度的测头组成的,所以可以在不更换测头和不改变测头状态的情况下一一次完成所有方向上的测量。

(3)三坐标测量机的应用。三坐标测量机通过软件控制测头(传感器),可以连续、可靠地进行测量,其主要用途是将加工好的零件与图样进行比较。三坐标测量机一般用于连续扫描测量和各种几何量的测量。其中,三坐标测量机对几何量的测量一般针对以下内容:

①自动找正。测量前,先在标准块上校对测头,然后可将工件任意放在工作台上,用计算机找正。这时有工件坐标系(X_w, Y_w, Z_w)和测量机坐标系(X_M, Y_M, Z_M)两个坐标系。测量时先将工件坐标系中的基准点坐标送入计算机,计算机自动将各测量点的坐标值通过平移和旋转转换成工件坐标系中的坐标值。三坐标测量机通常采用点位测量,在工件表面上采样一系列有意义的空间点,经数据处理,计算出由这些点组成的特定几何要素的形状和位置。例如,测圆,理论上三点定圆,在测量点大于三点后可给出最小二乘圆的圆心和位置。

②基本几何元素测量。基本几何元素如点、线、平面、球、圆、圆柱、圆锥等。计算时,计算机按最小二乘法给出各基本几何参数值,随着采样点数的增加,测量精度也相应地提高。任何复杂的工件均可分解为基本几何要素进行测量。

③距离测量。例如,可测量点到点、点到线、点到面、线到线的距离。

④几何误差测量。例如,测量各种几何要素的形状误差,测量线到面的垂直度,等等。

⑤轮廓测量。测量曲线、曲面,如测量叶片曲面、模具型面等。

⑥其他测量。如测量螺纹、齿轮、滚道等。

使用三坐标测量机对零件进行综合测量和全面分析具有效率高、测量精度和可靠性高、能自动处理测量数据、缩短加工机床的停机时间、易于与加工中心配套等优点。

3.6.3 角度类量具

角度类量具应用较广泛的有万能角度尺、水平仪、正弦规等,下面重点介绍万能角度尺。

万能角度尺是一种结构简单的通用角度量具,其读数原理类同于游标卡尺。对于精度要求不太高的圆锥零件,通常用万能角度尺直接测量其斜角或锥角。万能角度尺可测量 $0^\circ \sim 320^\circ$ 的任意角度值,分度值有 $2'$ 和 $5'$ 两种。

如图3-28所示,万能角度尺由尺身、游标尺、 90° 角尺架、直尺等组成,直尺可在 90° 角尺架上的夹子中活动和固定。用基尺、角尺和直尺的不同组合,可以进行 $0^\circ \sim 320^\circ$ 角度的测量,主要用接触法测量工件的内、外角度。

根据被测角度的大小,按图3-29所示的4种组合方式之一调整好万能角度尺。如图3-29(a)所示,测量 $0^\circ \sim 50^\circ$ 的角度,应装上角尺和直尺;如图3-29(b)所示,测量 $50^\circ \sim 140^\circ$ 的角度,只需装上直尺;如图3-29(c)所示,测量 $140^\circ \sim 230^\circ$ 的角度,只需装上角尺,测量时应注意使角尺短边和长边的交点与基尺的尖端对齐;如图3-29(d)所示,测量 $230^\circ \sim 320^\circ$ 的角

度,无须装角尺和直尺,只需使用基尺和扇形尺的测量面进行测量。

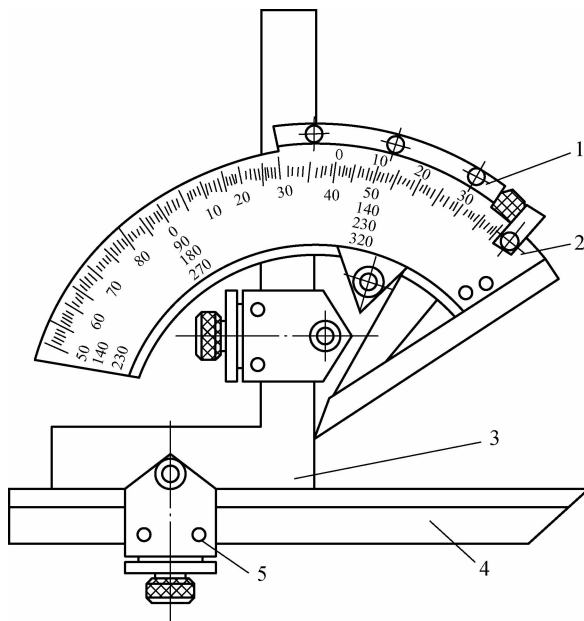


图 3-28 万能角度尺

1—游标尺；2—尺身；3—90°角尺架；4—直尺；5—夹子

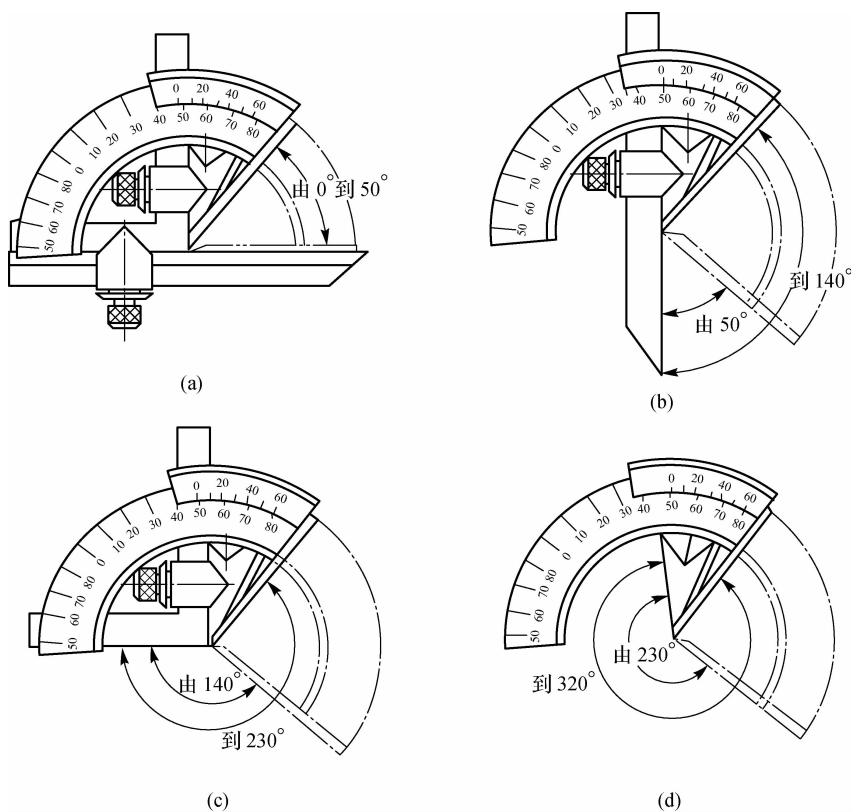


图 3-29 万能角度尺的组合形式

万能角度尺的读数机构是根据游标原理制成的。主尺刻线每格为 1° ，游标刻线是取主尺的 29° 等分为 30 格，因此游标刻线每格分度值为 $29^\circ/30$ ，即主尺与游标一格的差值为 $2'$ ，也就是说万能角度尺的分度值为 $2'$ ，其读数方法与游标卡尺完全相同，从主尺上读“度”数，从游标上读“分”数，然后将两者相加。

3.7 光滑工件尺寸的检测与量具选择

由于被测工件的形状、大小、精度要求和使用场合不同，因而采用的计量器具也不同。单件或小批量生产常采用通用计量器具（如游标卡尺、千分尺等）来测量；对于大批量生产，为提高检测效率，多采用光滑极限量规进行检测。为了克服这些检测方法上存在的问题，国家标准《极限与配合》中的测量与检验部分规定了这两种检测方法的国家标准《产品几何技术规范(GPS) 光滑工件尺寸的检验》(GB/T 3177—2009)和《光滑极限量规 技术条件》(GB/T 1957—2006)。

3.7.1 光滑工件尺寸检测的相关术语

1. 误收与误废

可用通用计量器具或光滑极限量规对光滑工件尺寸进行检测。而无论采用通用计量器具还是采用光滑极限量规对工件进行检测都存在测量误差。由于测量误差对测量结果有影响，当真实尺寸位于极限尺寸附近时，会引起误收，即把实际尺寸超过极限尺寸范围的工件误认为合格；或引起误废，即把实际尺寸在极限尺寸范围内的工件误认为不合格，如图 3-30 所示。可见，计量器具的精度越低，容易引起的测量误差就越大，误收和误废的概率就越大。

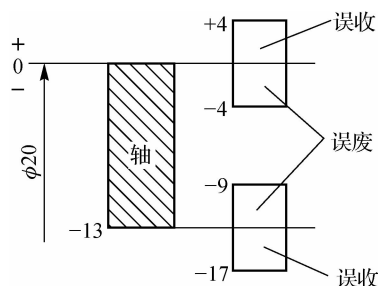


图 3-30 误收与误废

误废提高了加工精度，会造成经济损失；误收会影响产品质量。因此，要正确选择测量方法和计量器具。国家标准《产品几何技术规范(GPS) 光滑工件尺寸的检验》(GB/T 3177—2009)规定了光滑工件尺寸检验的验收原则：只允许有误废而不允许有误收。

2. 安全裕度

计量器具的精度应该与被测零件的公差等级相适应，被测零件的公差等级越高、公差值越小，所选用的计量器具精度要求越高；反之亦然。但是无论采用什么样的仪器或量具，都存在着测量误差。为了保证被测零件的正确率，验收标准规定：验收极限从规定的极限尺寸向零件公差带内移动一个测量不确定度的允许值 A （安全裕度）。

选择计量器具时主要考虑以下内容:

(1)所选择的计量器具的测量范围满足测量要求,按被测工件的部位、外形及尺寸来选择计量器具。

(2)按被测工件的被测量的精度要求来选择计量器具。

选择的计量器具所允许的极限误差应尽可能小。但计量器具的极限误差越小,其使用成本越高,对测量环境和测量者的要求也越高。所以,在选择计量器具时应综合考虑技术指标和经济指标。

通常计量器具的选择可以按照 GB/T 3177—2009 进行。在对标准没做相关规定的情況下,应使所选择的计量器具极限误差占被测量公差 $1/10 \sim 1/3$,被测量公差等级较低时取 $1/10$,被测量公差等级较高时取 $1/3$ 甚至 $1/2$ 。

3.7.2 验收极限的确定

验收极限是指检验工件尺寸时判断工件尺寸合格与否的尺寸界限。国家标准《产品几何技术规范(GPS) 光滑工件尺寸的检验》(GB/T 3177—2009)中规定,确定工件尺寸验收极限有下列两种方案:

1. 内缩方式

内缩方式指验收极限是从工件规定的上、下极限尺寸分别向工件公差带内移动一个安全裕度 A 来确定的,如图 3-31 所示。安全裕度 A 值以工件公差的 $1/10$ 确定。

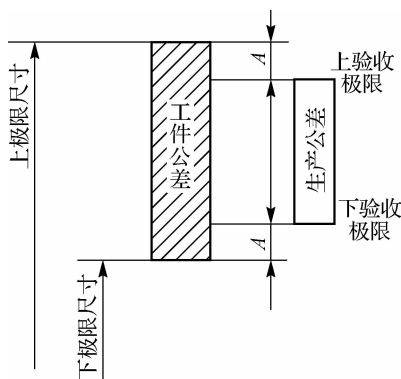


图 3-31 内缩的验收极限

尺寸的验收极限计算公式如下:

上验收极限=最小实体尺寸-安全裕度(A)

下验收极限=最大实体尺寸+安全裕度(A)

由于验收极限向工件的公差带内移动是为了保证验收时合格,因而在生产时工件不能按原有的极限尺寸加工,应该按由验收极限所确定的范围生产,这个范围称为生产公差。

2. 不内缩方式

不内缩方式是指验收极限等于工件规定的上、下极限尺寸,即安全裕度 $A=0$,如图 3-32 所示。

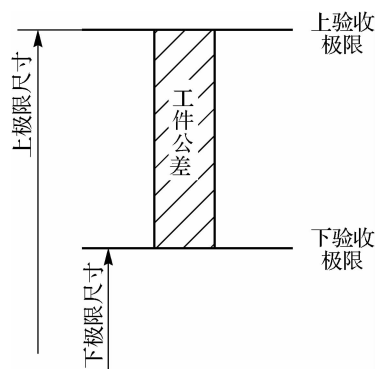


图 3-32 不内缩的验收极限

3. 验收极限方式的选择

验收极限方式的选择,要结合尺寸功能要求及尺寸公差等级、重要程度、测量不确定度和工艺能力等因素综合考虑。

(1)对于遵循包容要求的尺寸和公差等级高的尺寸,采用内缩式验收极限。

(2)当工艺能力指数 $C_p > 1$ 时($C_p = T/6\sigma$, T 为工件尺寸公差, σ 为工件尺寸分布的标准偏差),其验收极限可以选择不内缩方式;但对于遵循包容要求的尺寸,其最大实体尺寸一侧的验收极限仍应采用内缩方式,如图 3-33 所示。

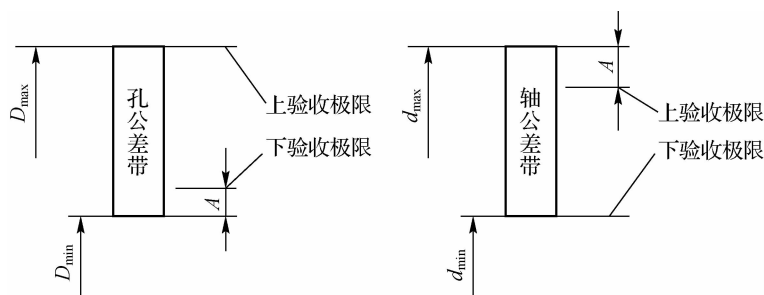


图 3-33 $C_p > 1$ 遵循包容要求时的验收极限

对于 $C_p > 1$ 的工件,工件实际尺寸出现在最大实体尺寸和最小实体尺寸附近的概率很小,工件实际尺寸几乎全部在公差带内,即使直接以极限尺寸作为验收极限根据,也不至于产生较大的误收概率,质量已经得到保证,没有必要采用内缩方式。但是对于遵循包容要求的尺寸,最大实体尺寸一侧的验收极限仍应内缩一个安全裕度 A ,以减小形状误差的影响。

(3)对于服从偏态分布的尺寸(如手控加工时,为了避免出现不可修复的废品,孔尺寸多偏小,轴尺寸多偏大),可只对尺寸偏向的一侧按内缩方式确定验收极限。由于偏向一侧的尺寸出现的概率较大,另一侧尺寸出现的概率较小,因而其验收极限可只对尺寸偏向的一侧选择内缩方式,如图 3-34 所示。

(4)对于非配合和采用一般公差的尺寸,选择不内缩式验收极限。

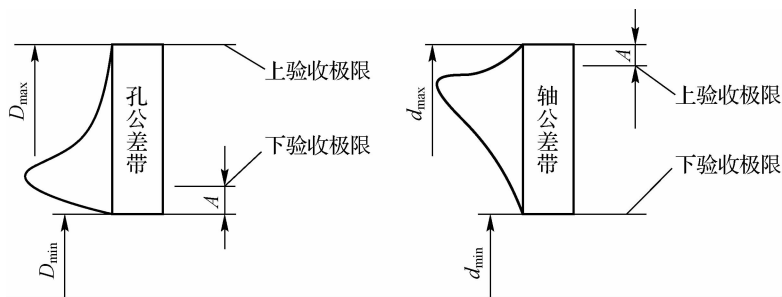


图 3-34 偏态分布时的验收极限

3.7.3 计量器具的选择

在机械生产中,测量工件所产生的误收和误废是由于不确定度而产生的。不确定度(U)反映了由于测量误差的存在而对被测量不能肯定的程度。

测量不确定度由计量器具的不确定度 u_1 和测量条件的不确定度 u_2 两部分组成。测得的实际尺寸分散范围越大,测量误差越大,测量不确定度就越大。计量器具的不确定度 u_1 是表征由计量器具内在误差所引起的测得的实际尺寸对真实尺寸可能分散的一个范围;测量条件的不确定度 u_2 是表征测量过程中,由温度、压陷效应及工件形状误差等因素所引起的测得的实际尺寸对真实尺寸可能分散的一个范围。 u_1 与 u_2 对测量不确定度的影响程度是不同的, u_1 的影响较大,允许值约为 $0.9A$; u_2 的影响较小,允许值约为 $0.45A$ 。由于 u_1 、 u_2 都是独立的随机变量,因而其综合结果也是随机变量,并且应不超出安全裕度 A 。

$$U=\sqrt{u_1^2+u_2^2}\approx A$$

产生误收与误废的主要原因是计量器具的不确定度 u_1 。在验收极限一定的情况下,计量器具的不确定度 u_1 越小,则产生误收与误废的可能性也越小;计量器具的不确定度 u_1 越大,则产生误收与误废的可能性也越大。因此,根据计量器具的不确定度 u_1 来正确地选择计量器具就非常重要。

国家标准规定选择计量器具要按照计量器具所导致的测量不确定度(简称计量器具的测量不确定度)的允许值(u_1)来选择。选择时,所选用的计量器具的测量不确定度应小于等于选定的 u_1 值(u_1 值可查表 3-5)。表 3-6、表 3-7、表 3-8 分别列出了游标卡尺和千分尺、比较仪、指示表的测量不确定度的允许值,供选择时参考。

表 3-5 安全裕度(A)与计量器具的测量不确定度允许值(u_1) 单位: μm

公称等级		IT6					IT7					IT8					IT9				
公称尺寸 /mm		T	A	u ₁			T	A	u ₁			T	A	u ₁			T	A	u ₁		
大于	至			I	II	III			I	II	III			I	II	III			I	II	III
—	3	6	0.6	0.5	0.9	1.4	10	1.0	0.9	1.5	2.3	14	1.4	1.3	2.1	3.2	25	2.5	2.3	3.8	5.6
3	6	8	0.8	0.7	1.2	1.8	12	1.2	1.1	1.8	2.7	18	1.8	1.6	2.7	4.1	30	3.0	2.7	4.5	6.8
6	10	9	0.9	0.8	1.4	2.0	15	1.5	1.4	2.3	3.4	22	2.2	2.0	3.3	5.0	36	3.6	3.3	5.4	8.1