绪　　论

在生产力水平较低的情况下，社会的主要经济形态是自然经济。一家一户或一个手工业工场就可以完成某些产品的全部生产过程。但是，随着生产力的发展，科学技术的进步，产品质量要求与复杂程度的提高，特别是商品市场的发展，必须组织专业化的协作生产，而不可能也不应该只由一个工厂来完成某一产品的全部生产过程。

在当前全球化大生产的条件下，按照专业协作的原则进行生产是提高产品质量，降低生产成本，提高经济效益的必由之路。

一、公差配合的概念

任何机械产品的设计都包括以下三个方面。

(1)运动链的设计。运动链的设计是指根据机械应实现的运动，由运动学原理确定机械的运动传递系统，选择合适的机构和元件，以保证实现预定的动作，满足机械在运动方面的要求。它属于机械原理课程的内容。

(2)强度链的设计。强度链的设计是指根据强度和刚度等方面的要求，确定各个零件的公称尺寸，使之工作时不致产生严重变形或遭到破坏，保证其工作稳定性和一定的使用寿命。它属于机械设计课程的内容。

(3)精度链的设计。精度链的设计是指根据装配组件中零件与零件(或组件与组件)之间的相互位置关系和零件的功能要求，给出零件的尺寸公差、位置公差、形状公差和表面粗糙度值，以便将零件的制造误差限制在一定的范围之内，使机械产品装配后能正常地工作，并具有合理的使用寿命。它是本课程将要研究的内容。

机械零部件的精度在一定程度上决定了整台机械设备的精度和质量。

在机械精度设计中，几何量包括长度、角度、几何形状、相互位置几何参数和表面粗糙度。公差配合是指这些几何要素的参数值的精度。在实际零件上，由于制造过程的多种因素影响，这些要素所形成的尺寸、位置、形状和表面质量都存在一定的误差。公差配合设计的主要内容是要使机械产品在满足功能要求的前提下，满足几何参数的互换性要求。

二、互换性概述

1. 互换性的含义

在不同工厂、车间，由不同工人生产的相同规格的零件或部件，不经选择、修配或调整，就能装配成满足预定使用功能要求的机器或仪器，零部件所具有的这种性能就称为互换性。能够保证产品具有互换性的生产，就称为遵循互换性原则的生产。

知识
互换性简史

由此可见，在零部件产品装配过程中，互换性表现为三个不同阶段的要求：装配前，不需选择；装配时，不需修配或调整；装配后，可以满足预定的使用功能的要求。

显然，为了使零部件具有互换性，应对其几何要素提出适当且统一的要求。因为只有保证了零部件的几何要素的要求，才能实现其可装配性并保证装配后满足与几何要素（尺寸、形状等）有关的功能要求。这就是零部件公差配合的互换性。

一般把仅满足可装配性要求的互换称为装配互换，把满足各种使用功能要求的互换称为功能互换。

要全面满足产品使用功能的要求，仅仅保证零部件几何参数的互换性是不够的，还需要从零部件的物理性能、化学性能和力学性能等各方面提出互换性要求。

2. 互换性的分类

在生产中，互换性按其互换的程度分为完全互换和不完全互换。

（1）完全互换。完全互换又称为绝对互换，是指一批零件在装配或更换时，不需选择，不需调整与修理，装配后即可达到使用要求的方法。如螺栓、螺母等标准件的装配大都属于此类情况。

（2）不完全互换。不完全互换又称为有限互换，是指同种零部件加工好以后，在装配前需经过挑选、调整或修配等辅助工序处理，在功能上才能具有彼此相互替换的性能。根据零件满足互换要求所采取的措施不同，不完全互换又可分为分组互换、调整互换和修配互换。

①分组互换。分组互换是指同种零部件加工好后，装配前要先进行检测分组，然后按组装配，仅同组的零部件可以互换，组与组之间的零部件不能互换。

②调整互换。调整互换是指同种零部件加工好后，装配时用调整的方法改变它在部件或机构中的尺寸或位置，方能满足功能要求。

③修配互换。修配互换是指同类零部件加工好后，在装配时要用去除材料的方法改变它的某一实际尺寸的大小，方能满足功能要求。

对于不同的产品或某种产品的不同生产阶段，是否应具有互换性或应该在何种范围、何种程度上具有互换性，还需进行具体的分析。例如，滚动轴承作为由专业化工厂生产的高精度标准部件，它与其他零件具有装配关系的各尺寸应该具有完全互换性。但其内、外圈和滚子等零件相互装配的尺寸，由于精度要求极高，如果也要求其具有完全互换性，就会给制造带来极大的困难，所以往往只需具有不完全互换性（即采取分组装配的方法），才能取得较好的经济效益，而又不影响整个轴承的使用。又如，对于单件或小批量生产的大尺寸零件，常常采用配制的方法而不按互换的原则来生产，以实现更高的经济效益。

由此可见，互换性是对重复生产零件的要求。只要按照统一的设计要求进行重复生产，就可以获得具有互换性的零件。零件的精度设计必须合理，即经济地满足功能要求。对于重复生产、分散制造、集中装配的零件，在精度设计时必须要求其具有互换性。

3. 互换性的意义

从广义上来讲，互换性原则已经成为国民经济各个部门现代化生产中必须遵循的一项基本原则。现代机械制造中，无论是大批量生产还是单件生产，都应遵循这一原则。

任何机械的生产，其设计过程都是整机→部件→零件，其制造过程则是零件→部件→整机。无论是设计过程还是制造过程，都需要把互换性原则贯彻始终。

在设计方面，按互换性原则进行设计可以简化计算、绘图工作，缩短设计周期，并有利于采用计算机进行辅助设计。这对发展系列产品，促进产品结构性能的不断改进，使产品不断更新换代，满足市场需求，具有重大意义。

在制造方面，互换性是提高生产水平和进行文明生产的必要手段。互换性能促进高效率、高效益的生产，便于组织社会化大生产协作，进行专门化生产，这一点在当前市场经济走向全球化方面尤为重要。由于制造者在制造中必须充分考虑互换性要求，因此，就必须尽可能选用标准化的刀具、夹具和量具，工艺尽可能保持稳定，不仅能严格地将被加工的零件控制在规定的允许误差之内，而且尽可能使其误差分布合理等。采用计算机辅助加工系统，使产量和质量提高，成本下降。

在使用方面，具有互换性的产品可以在使用过程中迅速更换易损零部件，从而保证其连续可靠地运转，给使用者带来极大的方便，也让使用者获得充分的经济效益。尤其在某些特定的情况下，互换性所起的作用难以用价值来衡量。例如，发电厂要及时排除设备故障，保证继续供电；战场上要迅速排除武器装备故障，保证战斗继续进行。在这些场合，零部件完全互换就显得尤为重要。

提高互换程度的同时也给制造过程带来极大的好处。例如，可以迅速更换磨损了的刀具，保证加工过程的持续性；自动和半自动机床上稳定可靠地装夹原材料；设备维修中易损零部件的更换等，都是以具有互换的特性为前提的。所以，互换性也大大提高了制造过程中的经济效益。

由此可见，在机械设计和制造过程中，遵循互换性原则不仅能显著提高劳动生产率，而且能有效地保证产品质量和降低成本。互换性原则是机械设计和制造过程中的重要原则，它对于产品适应市场经济的发展至关重要。

三、标准化及优先数系

1. 标准化的含义

要实现互换性，就要严格按照统一的标准进行设计、制造、装配、检验等，而标准化是实现这一要求的一项重要技术手段。因此，在现代工业中，标准化是广泛实现互换性生产的前提和基础。

标准化是组织现代化生产的重要手段之一，是实现专业化协作生产的必要前提，也是科学化质量管理的重要组成部分。另外，标准化还是发展贸易、提高产品在国际市场上的竞争能力的技术保证。现代经济技术的发展表明，标准化程度客观地标志出一个国家现代化的水平，现代化程度越高，对标准化的要求就越高。

所谓技术标准（简称为标准），是指在经济、技术、科学和管理学的社会实践中，对重复性的事物和概念，在一定范围内通过科学简化、优选和协调，经一定的程序审批后所颁发的统一规定。它在一定范围内具有约束力，是标准化的具体体现形式。标准化过程则是指制定（修订）、贯彻各项标准，以获得最佳经济效益和最佳社会效益的全过程。

2. 标准化的分类

根据《标准法》规定，我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四个级别。国家标准是指由国家标准化主管部门审批颁发，对全国经济技术发展有重大意义，必须在全国范围内统一执行的标准，用“GB”表示。行业标准是指由行业（或部委）标准化部门批准发布，在行业范围内统一执行的标准，如机械标准用“JB”表示。地方标准通常是在没有国家标准或国家标准不能满足需要的情况下，依据某地区的特殊情况发布的仅在该地区范围内统一执行的标准。企业标准是指为提高产品质量，强化竞争能力，企业往往制定出高于行

业标准和国家标准的内控标准。这种企业内部所制定颁发的标准用“QB”表示。

按照制定的范围不同，标准分为国际标准、国家标准、地方标准、行业标准和企业标准五个级别。在国际范围内制定的标准称为国际标准，用“ISO”（国际标准化组织）、“IEC”（国际电工委员会）等表示。

我国机械行业新的国家标准在制定时，基本上都参照了目前的国际标准。

3. 优先数与优先数系

在标准化的范畴内，各种技术参数值的简化和统一是标准化的基础。因为任一产品的技术参数都会以各种不同的形式和规律向有关产品传播。例如，胶卷的尺寸会影响相机、冲扩设备的设计，录音、录像磁带的规格又与录音机、录像机有关。优先数和优先数系就是对技术参数的数值进行简化和统一的科学的数值制度。

国家标准 GB/T 321—2005 规定的优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$、$\sqrt[10]{10}$、$\sqrt[20]{10}$、$\sqrt[40]{10}$或$\sqrt[80]{10}$，且项值中含有 10 的整数幂的理论等比数列导出值圆整得到的一组近似等比数列。各数列分别用符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示，称为 R5 系列、R10 系列、R20 系列、R40 系列和 R80 系列。优先数系中的任一项值均为优先数。5 个系列中，R80 为补充系列，其余 4 种为基本系列，其常用数值见附表 0-1。基本系列的公比如下。

R5 的公比　$q_5=\sqrt[5]{10}\approx1.6$

R10 的公比　$q_{10}=\sqrt[10]{10}\approx1.25$

R20 的公比　$q_{20}=\sqrt[20]{10}\approx1.12$

R40 的公比　$q_{40}=\sqrt[40]{10}\approx1.06$

采用等比数列作为优先数系，可使相邻两个优先数的相对差相同，且运算简便，简单易记。选用基本系列时，应遵守先疏后密的规则，即应按照 R5、R10、R20、R40 的顺序优先采用公比较大的基本系列，以免规格过多。

优先数系在各项公差标准中得到了广泛应用，公差标准的许多数值都是按照优先数系选定的。例如，在尺寸精度的国家标准中，标准公差数值就是按 R5 系列确定的，而尺寸分段是按 R10 系列确定的。优先数疏密适当，有广泛的适应性，而且简单易记，使用方便，符合标准化的统一、简化和协调的原则，现已被国际标准化组织采纳为统一的标准数值制。

四、几何量的测量

先进的公差标准是实现互换性的基础，但是，仅有公差标准而无相应的检测措施，不足以保证实现互换性。必要的检测措施是保证互换性生产的手段。通过检测，几何量参数的误差控制在规定的公差范围内，零件就合格，就能满足互换性要求。反之，零件就不合格，也就不能达到互换的目的。

检测的目的不仅在于检查零件是否合格，还要根据检测的结果，分析产生废品的原因，以便设法减少废品，进而消除废品。

进行几何量参数的检测，首先要确定统一的计量单位，建立可靠的测量基准及精确的尺寸传递系统。否则零件的精度就无法保证，也不能实现互换性生产。1984 年，国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，在全国范围内统一实行以国际单位制为基础的法定计量单位。

随着生产和科学技术的发展，对几何量参数的检测精度和检测效率提出了越来越高的

要求。这样，研究各种测试理论和制造高精度的检测仪器，就日益成为保证互换性的重要手段。我国计量仪器的生产发展也很快，目前，全国拥有一批骨干仪器厂，生产了许多品种的量仪，有的已接近或达到世界先进水平。如三坐标测量机、激光丝杠动态检查仪和齿轮检测中心等。

五、本课程的性质和任务

1. 本课程性质与目标

公差配合与测量技术是一门技术基础课。它全面地讲述了机械加工中有关尺寸公差、形位公差及表面粗糙度等技术要求方面的基本知识。其主要内容包括光滑圆柱体(孔和轴)结合的公差与配合、测量技术的基本知识及常用计量器具、光滑工件尺寸的检测、形位公差(即形位误差)的检测、表面粗糙度以及普通螺纹、滚动轴承和渐开线圆柱齿轮结合的公差等。本课程的目标是培养中、高等技术应用型人才，以满足企业用人的需要。

2. 本课程的任务

本课程的任务是为制造工艺课的教学和生产实习教学打下必要的基础。通过本课程的学习，学生应了解国家标准中有关公差与配合等方面的基本术语及其定义，了解普通螺纹公差的特点，了解有关测量的基本知识，初步了解形位误差的检测方法；熟悉极限与配合标准的基本规定；理解形位公差代号含义，理解螺纹公差、滚动轴承公差及渐开线圆柱齿轮公差标记的组成及其含义，理解常用计量器具的读数原理；掌握公差与配合方面的基本内容，掌握形位公差代号的标注方法，掌握常用计量器具的使用方法。

附　表　0

附表 0-1　优先数系基本系列(GB/T 321—2005)

基本系列(常用值)				序号 N			理论值的对数尾数	计 算 值	常用值的相对误差/%
R5	R10	R20	R40	从 0.1 到 1	从 1 到 10	从 10 到 100			
1.00	1.00	1.00	1.00	−40	0	40	000	1.000 0	0
			1.06	−39	1	41	025	1.059 3	+0.07
		1.12	1.12	−38	2	42	050	1.122 0	−0.18
			1.18	−37	3	43	075	1.188 5	−0.71
	1.25	1.25	1.25	−36	4	44	100	1.258 9	−0.71
			1.32	−35	5	45	125	1.333 5	−1.01
		1.40	1.40	−34	6	46	150	1.412 5	−0.88
			1.50	−33	7	47	175	1.496 2	+0.25
1.60	1.60	1.60	1.60	−32	8	48	200	1.584 9	+0.95
			1.70	−31	9	49	225	1.678 8	+1.26
		1.80	1.80	−30	10	50	250	1.778 3	+1.22
			1.90	−29	11	51	275	1.883 6	+0.87

续表

基本系列(常用值)				序 号 N			理论值的对数尾数	计 算 值	常用值的相对误差/%
R5	R10	R20	R40	从 0.1 到 1	从 1 到 10	从 10 到 100			
	2.00	2.00	2.00	−28	12	52	300	1.995 3	+0.24
			2.12	−27	13	53	325	2.113 5	+0.31
		2.24	2.24	−26	14	54	350	2.238 7	+0.06
			2.36	−25	15	55	375	2.371 4	−0.48
2.50	2.50	2.50	2.50	−24	16	56	400	2.511 9	−0.47
			2.65	−23	17	57	425	2.660 7	−0.40
		2.80	2.80	−22	18	58	450	2.818 4	−0.65
			3.00	−21	19	59	475	2.985 4	+0.49
	3.15	3.15	3.15	−20	20	60	500	3.162 3	−0.39
			3.35	−19	21	61	525	3.349 7	+0.01
		3.55	3.55	−18	22	62	550	3.548 1	+0.05
			3.75	−17	23	63	575	3.758 4	−0.22
4.00	4.00	4.00	4.00	−16	24	64	600	3.981 1	+0.47
			4.25	−15	25	65	625	4.217 0	+0.78
		4.50	4.50	−14	26	66	650	4.466 8	+0.74
			4.75	−13	27	67	675	4.731 5	+0.39
	5.00	5.00	5.00	−12	28	68	700	5.011 9	−0.24
			5.30	−11	29	69	725	5.308 8	−0.17
		5.60	5.60	−10	30	70	750	5.623 4	−0.42
			6.00	−9	31	71	775	5.956 6	+0.73
6.30	6.30	6.30	6.30	−8	32	72	800	6.309 6	−0.15
			6.70	−7	33	73	825	6.683 4	+0.25
		7.10	7.10	−6	34	74	850	7.079 5	+0.29
			7.50	−5	35	75	875	7.498 9	+0.01
	8.00	8.00	8.00	−4	36	76	900	7.943 3	+0.71
			8.50	−3	37	77	925	8.414 0	+1.02
		9.00	9.00	−2	38	78	950	8.912 5	+0.98
			9.50	−1	39	79	975	9.440 6	+0.63
10.00	10.00	10.00	10.00	0	40	80	000	10.000 0	0

注:1. 大于 10 和小于 1 的优先数,可按 GB/T 321—2005 标准第三条 b 款所述的十进制延伸方法求得。

2. 常用值的相对误差$=\dfrac{\text{常用值}-\text{计算值}}{\text{计算值}}\times 100\%$。

3. N 是优先数在 R40 系列中序号 N_{40}的简写。

模块一
公 差 配 合

知识目标

掌握极限与配合的基本术语和基本概念；

熟悉配合公差带图及配合类别；

掌握公差与配合的选用。

技能目标

能正确分析图样中的尺寸精度标注，具有准确查阅孔、轴基本偏差和公差等级等各项表格数值的能力；

能准确计算尺寸偏差和公差，会用极限和偏差的方法判断零件的合格性；

能正确分析零件配合类型；

会根据要求查表选择配合类型，具有选择配合类型的计算与设计初步能力。

模块导读

没有公差配合要求的机器就是没有精度要求的机器，只能是一堆废铁。因此，公差配合设计是一个极其重要的环节。

公差配合设计包括零件精度，零件与零件之间、部件与部件之间的相互位置精度。零件的公差配合分为尺寸公差、形状（宏观和微观）公差以及同一零件上各要素之间的位置公差，这三者往往又是相互关联的。因此，在设计时要统一考虑。

零件在制造过程中，由于工艺系统本身存在误差，加上操作者的主观原因，最后所获得的尺寸不可能正好等于设计值，这样就存在尺寸误差。尺寸误差必须限制在尺寸公差带之内，而尺寸公差带的大小和位置是否合格又直接取决于尺寸公差的大小。

为了保证零件的互换性便于设计、制造、检测与维修，需要对零件的尺寸公差与它们之间的配合实行标准化。

对于零件的尺寸公差配合设计，主要是根据国家标准进行的。本章介绍极限与配合国家标准的基本概念、主要内容及其应用。现行的极限与配合国家标准主要有以下几个。

(1)GB/T 1800.1—2009《极限与配合　第1部分：公差、偏差和配合的基础》。

(2)GB/T 1800.2—2009《极限与配合　第2部分：标准公差等级和孔、轴极限偏差表》。

(3)GB/T 1801—2009《极限与配合　公差带和配合的选择》。

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

相关知识

学习情境一　公差配合的基本术语及定义

一、孔和轴

1. 孔

孔通常是指工件的圆柱形内表面，也包括非圆柱形内表面（由两平行平面或切平面形成的包容面），如图 1-1(a)所示。

2. 轴

轴通常是指工件的圆柱形外表面，也包括非圆柱形外表面（由两平行平面或切平面形成的被包容面），如图 1-1(b)所示。

3. 长度

长度是指由单一尺寸确定的既非孔又非轴的那部分，如图 1-1(c)所示。

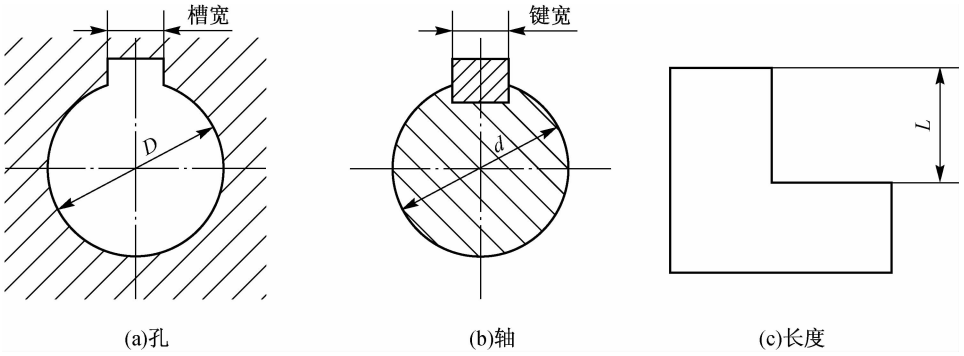


图 1-1　孔、轴和长度

二、有关尺寸的定义

视频
有关尺寸的定义

1. 尺寸

尺寸是指用特定单位表示线性尺寸值的数值。在技术图样中或在一定范围内，已注明共同单位（如在尺寸标注中以 mm 为通用单位）时，均可只写数字，不写单位。

2. 公称尺寸

公称尺寸也称为基本尺寸，是设计时给定的尺寸，它是计算极限尺寸和极限偏差的起始尺寸。孔用 D 表示，轴用 d 表示。公称尺寸是根据零件应具备的强度、刚度和结构等要求计算，并经圆整而得到的。公称尺寸可以是一个整数值或一个小数，应尽量采用优先数系中的数值。

公称尺寸一经确定，便成为确定孔和轴尺寸偏差的起始点。

3. 实际尺寸

实际尺寸是用两点法测得的尺寸。由于零件存在着形状误差，所以不同部位的实际尺寸不尽相同，故往往把它称为局部实际尺寸。

用两点法测量的目的在于排除形状误差对测量结果的影响。因为测量误差的存在，实际尺寸不可能等于真实尺寸，它只是接近真实尺寸的一个随机尺寸。孔和轴的实际尺寸分别用 D_a 和 d_a 来表示。

4. 极限尺寸

极限尺寸是允许尺寸变动的两个界限尺寸。两个界限尺寸中较大的一个称为上极限尺寸，较小的称为下极限尺寸。孔和轴的上极限尺寸与下极限尺寸分别用 D_{max}、d_{max} 与 D_{min}、d_{min} 表示。

实际尺寸的大小由加工决定，而极限尺寸是设计时给定的尺寸，不随加工而变化。

三、有关偏差、公差的定义

1. 尺寸偏差

尺寸偏差简称为偏差，是指某一尺寸（实际尺寸、极限尺寸）减去其公称尺寸所得的代数差。孔用 E 表示，轴用 e 表示。偏差可能为正或负，亦可为零。

尺寸偏差分为极限偏差和实际偏差。上极限尺寸与公称尺寸的代数差称为上极限偏差，孔和轴的上极限偏差分别用 ES 和 es 表示；下极限尺寸与公称尺寸的代数差称为下极限偏差，孔和轴的下极限偏差分别用 EI 和 ei 表示。上极限偏差与下极限偏差统称为极限偏差。实际尺寸与公称尺寸的代数差称为实际偏差，孔和轴的实际偏差分别用 Δ_a 和 δ_a 表示。各种偏差的计算公式为

$$\left.\begin{aligned} &ES=D_{max}-D,\quad EI=D_{min}-D \\ &es=d_{max}-d,\quad ei=d_{min}-d \\ &\Delta_a=D_a-D,\quad \delta_a=d_a-d \end{aligned}\right\} \tag{1-1}$$

上、下极限偏差可以为正、负或零。偏差值除零外，前面必须冠以正负号。极限偏差用于控制实际偏差。实际偏差若介于上极限偏差与下极限偏差之间，则该尺寸合格。

2. 尺寸公差

尺寸公差是上极限尺寸与下极限尺寸之差，或上极限偏差与下极限偏差之差。它是允许尺寸的变动量。尺寸公差小，表明零件精度小；尺寸公差大，表明零件精度低。

孔和轴的公差分别用 T_D 和 T_d 表示。公差与极限尺寸和极限偏差的关系为

$$\left.\begin{aligned} &T_D=D_{max}-D_{min}=ES-EI \\ &T_d=d_{max}-d_{min}=es-ei \end{aligned}\right\} \tag{1-2}$$

由式(1-2)可知，尺寸公差是一个没有符号的绝对值。

各种尺寸、偏差与公差的关系如图 1-2 所示。

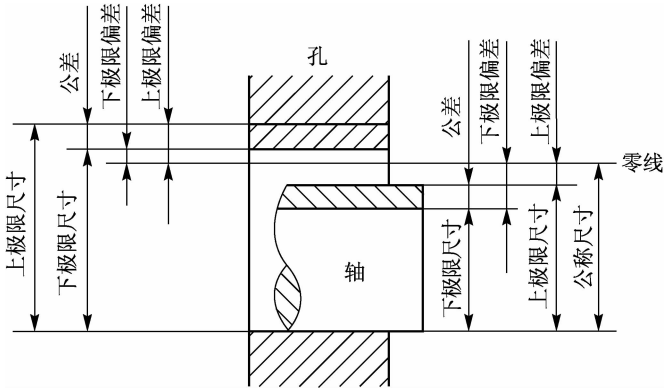


图 1-2　各种尺寸、偏差与公差的关系

3. 公差带及公差带图

公差带是由上、下极限偏差所确定的一个允许尺寸变动的区域。为了说明公称尺寸、极限偏差和公差三者之间的关系，需要画出公差带图，如图 1-3 所示。

由图 1-3 可以看出，公称尺寸是公差带图的零线，是衡量公差带位置的起始点。图中 EI 和 es 是决定孔、轴公差带位置的极限偏差。若 EI 和 es 的绝对值越大，孔、轴公差带离零线就越远；若绝对值越小，则孔、轴公差带离零线就越近。国家标准把用以确定公差带相对零线位置的上极限偏差或下极限偏差称为基本偏差，它往往是离零线近的或位于零线的那个偏差。

公差的大小即公差值的大小，它是指沿垂直于零线方向度量的公差带宽度。沿零线方向的宽度是画图时任意确定的，不具有特定含义。

在画公差带图时，公称尺寸以 mm 为单位标出，公差带的上、下极限偏差以 μm（或 mm）为单位标出，单位也可以省略不标。上、下极限偏差的数值前冠以“＋”或“－”号，零线以上为正，以下为负。与零线重合的偏差，其数值为零，不必标出，如图 1-4 所示。

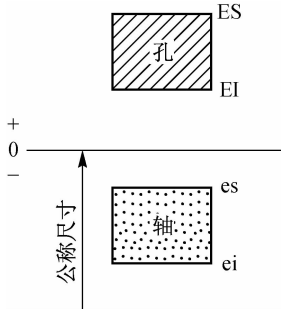


图 1-3　孔、轴公差带图

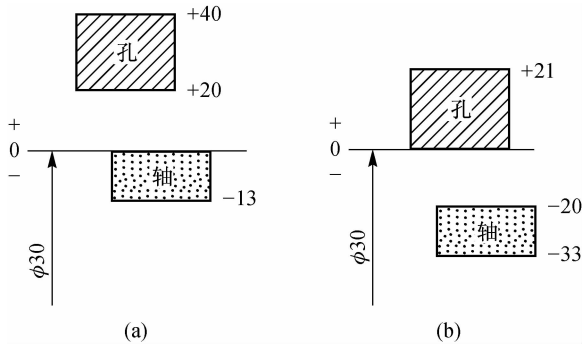


图 1-4　公差带图示例

四、有关配合的定义

1. 配合

配合是指公称尺寸相同、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

由于配合是指一批孔、轴的装配关系，而不是指单个孔和单个轴的装配关系，所以只有

用公差带关系来反映配合才比较准确。

2. 间隙或过盈

间隙或过盈是指相配合的孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差，此差值为正时称为间隙，用 X 表示；为负时称为过盈，用 Y 表示。

3. 配合类别

1）间隙配合

间隙配合是指具有间隙（包括最小极限间隙等于零）的配合。即使把孔做得最小，把轴做得最大，装配后仍具有一定的间隙（包括最小极限间隙等于零）。对于这类配合，孔的公差带在轴的公差带之上，如图 1-5 所示。

视频
过渡配合

这类配合的最大极限间隙 X_{max}、最小极限间隙 X_{min} 和平均间隙 X_{av} 的计算公式分别为

$$\left.\begin{aligned} X_{max}&=D_{max}-d_{min}=\mathrm{ES}-\mathrm{ei}\\ X_{min}&=D_{min}-d_{max}=\mathrm{EI}-\mathrm{es}\\ X_{av}&=\frac{X_{max}+X_{min}}{2}\end{aligned}\right\}\tag{1-3}$$

2）过盈配合

过盈配合是指具有过盈（包括最小极限过盈等于零）的配合。即使把孔做得最大，把轴做得最小，装配后仍具有一定的过盈（包括最小极限过盈等于零）。对于这类配合，孔的公差带在轴的公差带之下，如图 1-6 所示。

视频
过盈配合

这类配合的最大极限过盈 Y_{max}、最小极限过盈 Y_{min} 和平均过盈 Y_{av} 的计算公式分别为

$$\left.\begin{aligned} Y_{max}&=D_{min}-d_{max}=\mathrm{EI}-\mathrm{es}\\ Y_{min}&=D_{max}-d_{min}=\mathrm{ES}-\mathrm{ei}\\ Y_{av}&=\frac{Y_{max}+Y_{min}}{2}\end{aligned}\right\}\tag{1-4}$$

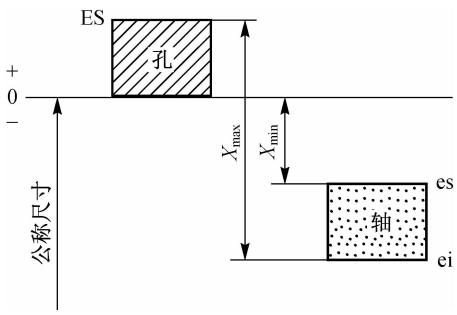


图 1-5　间隙配合

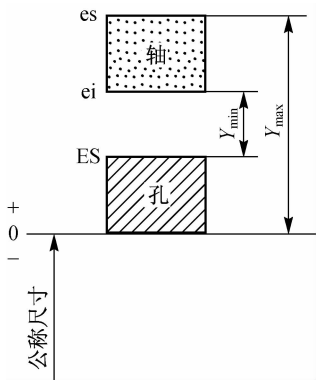


图 1-6　过盈配合

3）过渡配合

过渡配合是指可能具有间隙或过盈的配合。对于这类配合，孔的公差带与轴的公差带相互交叠，如图 1-7 所示。

视频
间隙配合

这类配合没有最小极限间隙和最小极限过盈，只有最大极限间隙 X_{max} 和最大极限过盈 Y_{max}，其计算公式为

$$\left.\begin{aligned} X_{max}&=D_{max}-d_{min}=ES-ei \\ Y_{max}&=D_{min}-d_{max}=EI-es \\ X_{av}(Y_{av})&=\frac{X_{max}+Y_{max}}{2} \end{aligned}\right\} \tag{1-5}$$

最大极限间隙和最大极限过盈的平均值为正时，表示平均间隙 X_{av}；为负时，表示平均过盈 Y_{av}。

4. 配合公差及配合公差带图

配合公差是指间隙或过盈的允许变动量，用 T_f 表示。

对于间隙配合　　$T_f=X_{max}-X_{min}$

对于过盈配合　　$T_f=Y_{min}-Y_{max}$

对于过渡配合　　$T_f=X_{max}-Y_{max}$

从上式看出，不论是哪一类配合，其配合公差都应表示为

$$T_f=T_D+T_d \tag{1-6}$$

式(1-6)是一个很重要的公式，在尺寸精度设计时经常用到。该式说明：配合精度要求越高，则孔、轴的精度也应越高(公差值越小)；配合精度要求越低，则孔、轴的精度也越低(公差值越大)。

为了直观地表示配合精度和配合性质，国家标准提出了配合公差带图，如图 1-8 所示。

画配合公差带图的规则与画孔、轴公差带图一样，配合公差带图用一长方形区域表示。零线以上为正，表示间隙；零线以下为负，表示过盈。公差带上、下两端到零线的距离为极限间隙或极限过盈，而公差带上、下两端之间的距离为配合公差。极限间隙和极限过盈以 μm 或 mm 为单位。

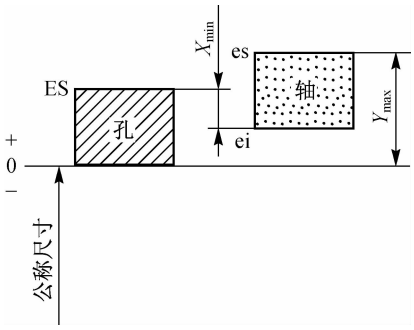


图 1-7　过渡配合

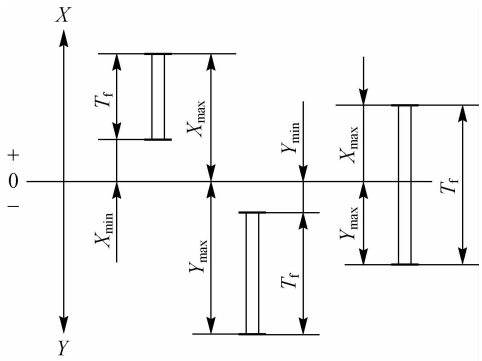


图 1-8　配合公差带图

例 1-1　计算 $\phi30^{+0.021}_{0}$ mm 孔与 $\phi30^{-0.020}_{-0.033}$ mm 轴配合的极限间隙、平均间隙和配合公差，并画出孔、轴公差带图和配合公差带图。

解　(1)画出孔、轴公差带图，如图 1-9(a)所示。

(2)计算极限间隙、平均间隙和配合公差

$$X_{max}=ES-ei=[21-(-33)]\ \mu m=+54\ \mu m$$

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

$$X_{av}=\frac{X_{max}+X_{min}}{2}=\left(\frac{54+20}{2}\right)\ \mu m=+37\ \mu m$$

$$T_f = X_{max} - X_{min} = (54-20)\ \mu m = 34\ \mu m$$

(3)画出配合公差带图，如图 1-9(b)所示。

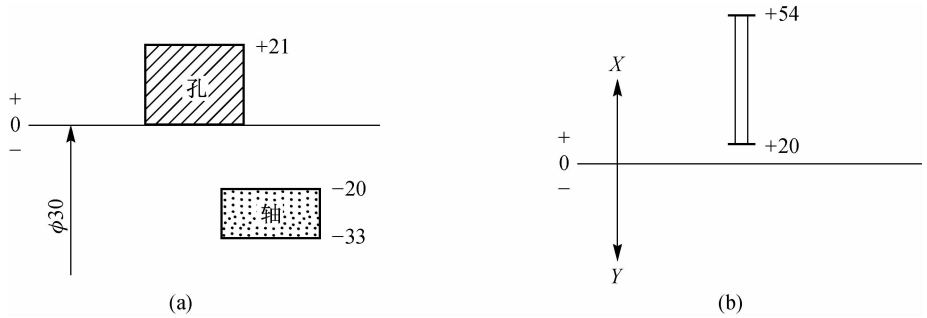


图 1-9　例 1-1 图

例 1-2　计算 $\phi 30^{+0.021}_{0}$ mm 孔与 $\phi 30^{+0.061}_{+0.048}$ mm 轴配合的极限过盈、平均过盈和配合公差，并画出孔、轴公差带图和配合公差带图。

解　(1)画出孔、轴公差带图，如图 1-10(a)所示。

(2)计算极限过盈、平均过盈和配合公差。

$$Y_{min} = ES - ei = (21-48)\ \mu m = -27\ \mu m$$

$$Y_{max} = EI - es = (0-61)\ \mu m = -61\ \mu m$$

$$Y_{av} = \frac{Y_{min} + Y_{max}}{2} = \left(\frac{-27-61}{2}\right)\ \mu m = -44\ \mu m$$

$$T_f = Y_{min} - Y_{max} = [-27-(-61)]\ \mu m = 34\ \mu m$$

(3)画出配合公差带图，如图 1-10(b)所示。

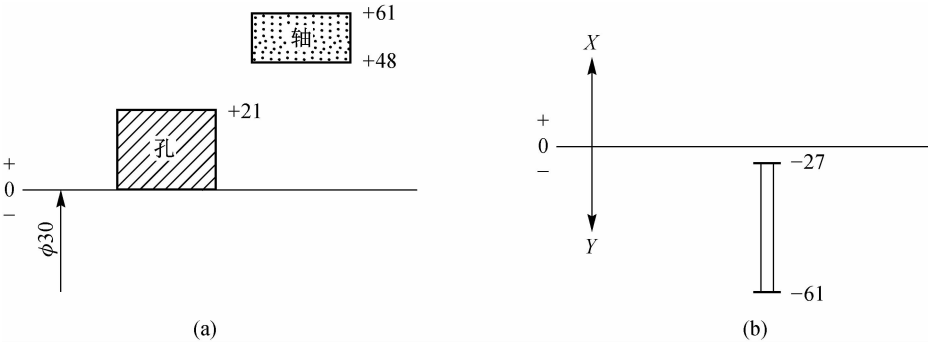


图 1-10　例 1-2 图

例 1-3　计算 $\phi 30^{+0.021}_{0}$ mm 孔与 $\phi 30^{+0.021}_{+0.008}$ mm 轴配合的极限间隙、极限过盈、平均间隙(或平均过盈)和配合公差，并画出孔、轴公差带图和配合公差带图。

解　(1)画出孔、轴公差带图，如图 1-11(a)所示。

(2)计算极限间隙、极限过盈、平均间隙(或平均过盈)和配合公差。

$$X_{max} = ES - ei = (21-8)\ \mu m = +13\ \mu m$$

$$Y_{max} = EI - es = (0-21)\ \mu m = -21\ \mu m$$

$$Y_{av} = \frac{X_{max} + Y_{max}}{2} = \left(\frac{13-21}{2}\right)\ \mu m = -4\ \mu m$$

$$T_f = X_{max} - Y_{max} = [13-(-21)]\ \mu m = 34\ \mu m$$

(3)画出配合公差带图，如图 1-11(b)所示。

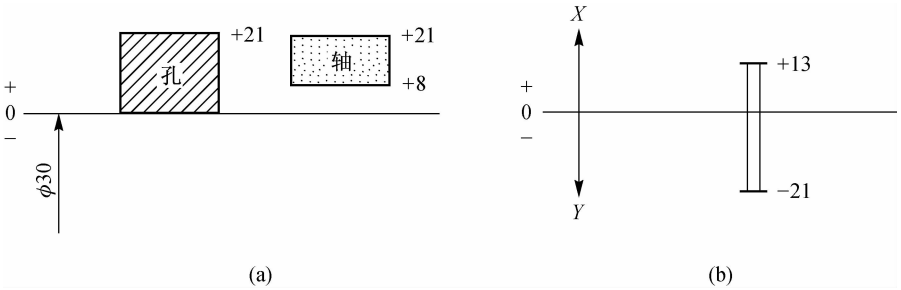


图 1-11　例 1-3 图

五、配合制

国家标准规定了基孔制和基轴制两种配合制，也称为基准制。

动画
基孔制

1. 基孔制

基孔制是指以孔的公差带位置为基准固定不变，与不同基本偏差的轴的公差带形成不同配合的一种制度，如图 1-12(a)所示。

基孔制的孔称为基准孔，它的基本偏差为下极限偏差 EI，偏差值为零。

动画
基轴制

2. 基轴制

基轴制是指以轴的公差带位置为基准固定不变，与不同基本偏差的孔的公差带形成不同配合的一种制度，如图 1-12(b)所示。

基轴制的轴称为基准轴，它的基本偏差为上极限偏差 es，偏差值为零。

基孔制和基轴制中两个基准件的公差带都是按向体原则分布的，即按加工时尺寸变化的方向分布的，它们均处于工件的实体之内。基准孔的公差带在零线以上，基准轴的公差带在零线以下。

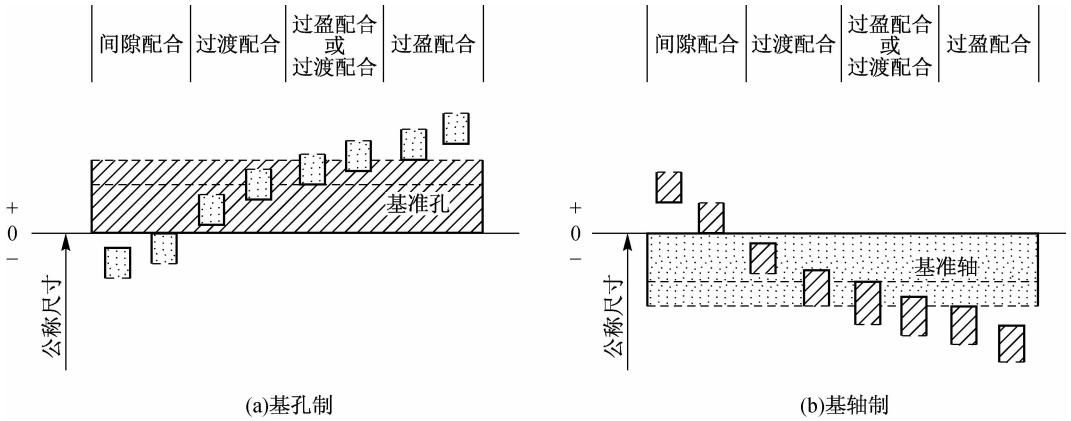


图 1-12　基准制配合

学习情境二　公差配合标准的基本知识

公称尺寸不大于 500 mm 的零件在产品中应用最广，因此，这一尺寸段称为常用尺寸段。为了使极限与配合实现标准化，规范尺寸精度设计，我国国家标准 GB/T 1800.1—2009 中规定了两个基本系列，即标准公差系列和基本偏差系列。其中，标准公差决定公差带的大小，基本偏差决定公差带的位置。

一、标准公差系列

1. 标准公差的等级和作用

GB/T 1800.1—2009 在公称尺寸不大于 500 mm 内规定了 IT01、IT0、IT1、IT2、…、IT17、IT18 共 20 个标准公差等级，在公称尺寸 500～3 150 mm 内规定了 IT1～IT18 共 18 个标准公差等级。其中，IT01 等级最高，依次降低，IT18 为最低级。标准公差的大小，即标准公差等级的高低，决定了孔、轴的尺寸精度和配合精度。在确定孔、轴公差时，应按标准公差等级取值，以满足标准化和互换性的要求。

2. 标准公差数值表的确定

对于公称尺寸不大于 500 mm 的标准公差，IT5～IT18 标准公差数值的计算公式为

$$\mathrm{IT}=ai \tag{1-7}$$

式中，a 为公差等级系数，等级越低，a 值越大，在 IT5～IT18 范围内该系数按等比数列排列，其公比系数 $q=1.6$；i 为标准公差因子（μm），它是公称尺寸的函数。即

$$i=0.45\sqrt[3]{D}+0.001D \tag{1-8}$$

式中，D 为公称尺寸的计算值（mm），该值为尺寸分段中首、尾两尺寸的几何平均值。

对于公称尺寸在 500～3 150 mm 的标准公差，IT1～IT18 标准公差数值是标准公差因子 I 的函数。标准公差因子 I 的计算公式为

$$I=0.004D+2.1 \tag{1-9}$$

IT01～IT4 为高等级公差，计算公式与式(1-7)不同。各级公差的计算公式见表 1-1。

表 1-1　标准公差计算公式(GB/T 1800.1—2009)

公称尺寸 /mm		标准公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	标准公差计算公式 /μm																			
—	500	0.3+	0.5+	—	—	—	—	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1 000i	1 600i	2 500i
500	3 150	0.008D	0.012D	2I	2.7I	3.7I	5I	7I	10I	16I	25I	40I	64I	100I	160I	250I	400I	640I	1 000I	1 600I	2 500I

按公式计算的各级公差数值，再以一定的规则进行圆整，最后排列成标准公差数值表，见附表 1-1。

例 1-4　试求公称尺寸为 ϕ30 mm 时 IT7 级的标准公差数值。

解　在附表 1-1 中查到，ϕ30 mm 属于＞18～30 mm 的尺寸分段。其公称尺寸的计算值为

$$D=\sqrt{18\times30}\ \mathrm{mm}\approx23.24\ \mathrm{mm}$$

$$i=0.45\sqrt[3]{D}+0.001D$$
$$=(0.45\times\sqrt[3]{23.24}+0.001\times23.24)\ \mu m$$
$$\approx1.31\ \mu m$$

查表 1-1 得，IT7＝16i，即

$$IT7=16\times1.31\ \mu m=20.96\ \mu m\approx21\ \mu m$$

验证上述计算结果。查附表 1-1 可知，对于公称尺寸为 $\phi30$ mm 的零件，IT7 级的公差数值为 21 μm。

应当指出的是，对同一公称尺寸的零件，可由其公差值的大小来判定精度等级的高低和加工的难易程度；而对于不同公称尺寸的零件，则不能以此判定；反之，同一公差等级中不同公称尺寸的公差值虽然不同，但应认为它们具有相同的精度等级和同等的加工难易程度。

二、基本偏差系列

1. 基本偏差及其作用

基本偏差一般是指上极限偏差或下极限偏差中离零线最近的那一个。它的作用是决定孔、轴公差带相对于零线的位置。为了改变配合性质，只要改变孔或轴当中一个零件的公差带位置就可达到目的。采用基孔制时则改变轴的公差带位置，采用基轴制时则改变孔的公差带位置。为了满足设计和生产的需要，国家标准对孔和轴各规定了 28 个基本偏差，即对孔和轴各给出了 28 个公差带位置供选择使用。

孔的基本偏差用大写英文字母表示，轴的基本偏差用小写英文字母表示，它们的排列次序如图 1-13 所示。

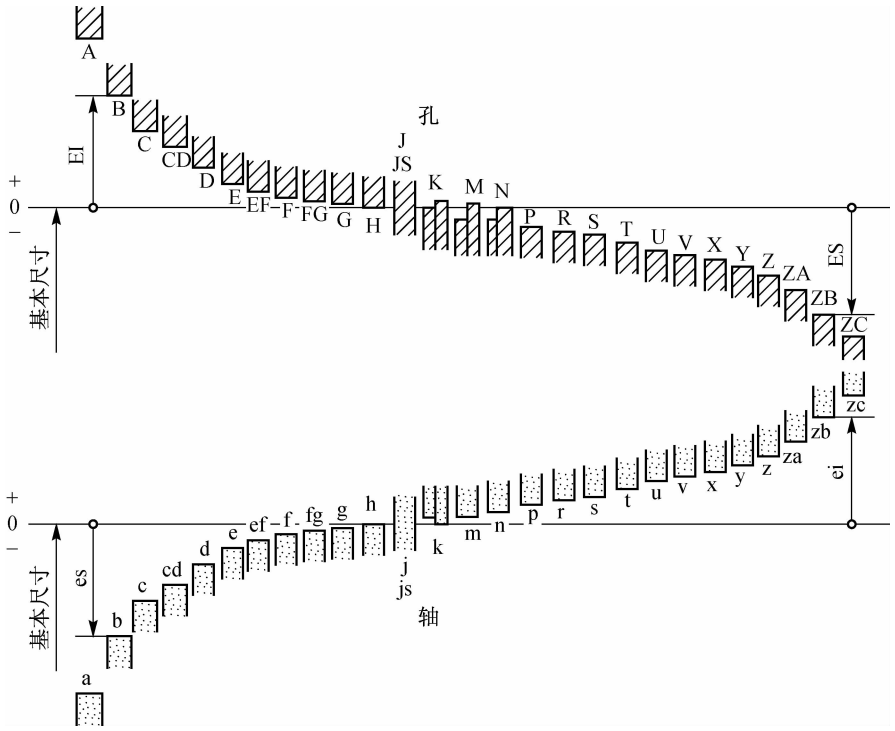


图 1-13　基本偏差系列

从图 1-13 可以看出，孔、轴基本偏差相对于零线对称分布，孔的基本偏差中 A～H 位于零线上方，其基本偏差为下极限偏差 EI；K～ZC 位于零线下方，其基本偏差为上极限偏差 ES，JS 位于零线中间，是双向对称偏差，其基本偏差为上极限偏差 ES 或下极限偏差 EI。而轴的基本偏差中，a～h 位于零线下方，其基本偏差为上极限偏差 es；k～zc 位于零线上方，其基本偏差为下极限偏差 ei；同样，js 位于零线中间，是双向对称偏差，其基本偏差为上极限偏差 es 或下极限偏差 ei 。

H 和 h 的基本偏差为零，符合基孔制和基轴制中的基准件偏差，故 H 代表基孔制的基准孔，h 代表基轴制的基准轴。

2. 轴的基本偏差数值的确定

轴的基本偏差数值实质是按相应的公式计算，并经过尾数圆整得到的。这些计算公式是通过实验和统计分析得到的，见表 1-2。

表 1-2　轴的基本偏差计算公式(GB/T 1800.1—2009)

公称尺寸/mm	基本偏差	符号	极限偏差/μm	计算公式	公称尺寸/mm	基本偏差	符号	极限偏差/μm	计算公式
1～120	a	－	es	$265+1.3D$	0～500	m	＋	ei	IT7－IT6
120～500				$3.5D$	500～3 150				$0.024D+12.6$
1～160	b	－	es	$\approx 140+0.85D$	0～500	n	＋	ei	$5D^{0.34}$
160～500				$\approx 1.8D$	500～3 150				$0.04D+21$
0～40	c	－	es	$52D^{0.2}$	0～500	p	＋	ei	IT7＋(0～5)
40～500				$95+0.8D$	500～3 150				$0.072D+37.8$
0～10	cd	－	es	C、c 和 D、d 值的几何平均值	0～3 150	r	＋	ei	P、p 和 S、s 值的几何平均值
0～3 150	d	－	es	$16D^{0.44}$	0～50	s	＋	ei	IT8＋(1～4)
0～3 150	e	－	es	$11D^{0.41}$	50～3 150	s	＋	ei	$IT7+0.4D$
0～10	ef	－	es	E、e 和 F、f 值的几何平均值	24～3 150	t	＋	ei	$IT7+0.63D$
0～3 150	f	－	es	$5.5D^{0.41}$	0～3 150	u	＋	ei	$IT7+D$
0～10	fg	－	es	F、f 和 G、g 值的几何平均值	14～500	v	＋	ei	$IT7+1.25D$
0～3 150	g	－	es	$2.5D^{0.34}$	0～500	x	＋	ei	$IT7+1.6D$
0～3 150	h	无符号	es	0	18～500	y	＋	ei	$IT7+2D$
0～500	j			无公式	0～500	z	＋	ei	$IT7+2.5D$
0～3 150	js	＋	es	$0.5IT_n$	0～500	za	＋	ei	$IT8+3.15D$
		＋	ei		0～500	zb	＋	ei	$IT9+4D$
0～500	k	＋	ei	$0.6\sqrt[3]{D}$	0～500	zc	＋	ei	$IT10+5D$
500～3 150				0					

注：公称尺寸至 500 mm 轴的基本偏差 k 的计算公式仅适用于标准公差等级 IT4～IT7，所有其他公称尺寸和所有其他 IT 等级的基本偏差 k＝0。

与各种等级的基准孔 H 相配合时，a～h 形成间隙配合，基本偏差的绝对值等于最小间隙。其中 a、b、c 这 3 种用于大间隙的热动配合，最小间隙采用与直径成正比的关系式计算；d、e、f 主要用于旋转运动，为保证良好的液体摩擦，最小间隙按直径的平方根关系计算，并应考虑表面粗糙度的影响，适当减小间隙；g 主要用于滑动和半液体摩擦，或用于定位配合，故直径指数减小；cd、ef、fg 分别是相邻两个基本偏差的几何插入值。

j～n 主要用于形成过渡配合，所得间隙或过盈均不太大，以保证孔、轴配合时能够对中、定心和拆卸方便。其计算公式由经验和统计方法确定，采用与直径的立方根成正比的关系式。

p～zc 主要用于形成过盈配合，其基本偏差按与一定公差等级的基孔制相配合时，最小过盈采用 R5 和 R10 系列优先数依次递增的规律确定。

3. 孔的基本偏差数值的确定

孔的基本偏差数值是以相应轴的基本偏差为基础换算得到的。换算的原则是：在孔和轴为同一公差或孔比轴低一级的配合条件下，按基孔制形成的配合和按基轴制形成的配合，两者的配合性质相同，即两种基准制的同名配合应得到相同的配合性质。例如，ϕ30H7/f6 和 ϕ30F7/h6、ϕ30H7/m6 和 ϕ30M7/h6、ϕ30H7/u6 和 ϕ30U7/h6 即为两种基准制的同名配合。

这一换算原则是基于工艺等价原则提出来的。所谓工艺等价是指加工孔和轴的难易程度相当。在常用尺寸段，加工同一公称尺寸和公差的孔和轴时，显然加工孔要比加工轴难一些，为了使它们的加工难易程度相当，需要使孔的公差等级比轴的公差等级低一级，如上述所列的 3 组配合。

根据上述换算原则，孔的基本偏差分别按两种规则进行换算。

1）通用规则

通用规则是指用同一字母（孔大写、轴小写）所代表的孔、轴基本偏差绝对值相同，符号相反。即

$$\left.\begin{aligned}EI&=-es\\ES&=-ei\end{aligned}\right\}\tag{1-10}$$

2）特殊规则

特殊规则是指孔的基本偏差等于用通用规则换算得到的基本偏差再加上一个修正值 Δ。其中，Δ 为孔的公差等级比轴低一级时，两者标准公差值的差值。即

$$\left.\begin{aligned}ES&=-ei+\Delta\\ \Delta&=IT_n-IT_{n-1}\end{aligned}\right\}\tag{1-11}$$

式中，IT_n 为孔的标准公差 T_D；IT_{n-1} 为比孔高一级的轴的标准公差 T_d。

特殊规则仅适用于公称尺寸大于 3 mm、标准公差等级小于或等于 IT8 的孔的基本偏差 K、M、N 和标准公差等级小于或等于 IT7 的孔的基本偏差 P～ZC。在查用国家标准“尺寸至 500 mm 孔的基本偏差数值”表（见附表 1-3）时务必注意。

例 1-5 查孔的基本偏差数值表和标准公差数值表，确定 ϕ30D7 孔的上、下极限偏差。

解 先查孔的基本偏差数值表（附表 1-3），确定孔的基本偏差数值。公称尺寸 ϕ30 mm 处于>24～30 mm 尺寸分段内，基本偏差为下极限偏差，D 的偏差数值为＋65 μm，于是 EI＝＋65 μm。

查标准公差数值表(附表 1-1),确定孔的上极限偏差。公称尺寸 ϕ30 mm 处于>18～30 mm尺寸分段内,IT7 级对应的公差数值为 21 μm,因为

$$T_D = ES - EI$$

故有

$$ES = EI + T_D = (65 + 21)\ \mu m = +86\ \mu m$$

例 1-6　查表确定 ϕ30M7 孔的上、下极限偏差。

解　先查孔的基本偏差数值表(附表 1-3),确定孔的基本偏差数值。孔的公称尺寸 ϕ30 mm处于>24～30 mm 的尺寸分段内,因孔的公差等级为 IT7 级,应属于等级小于或等于 IT8 级这一栏内,M 的偏差数值为

$$ES = -8 + \Delta$$

Δ 值可在附表 1-3 的最右端查出,Δ=8 μm,由该表知,M 为上极限偏差,即

$$ES = (-8 + 8)\ \mu m = 0$$

查标准公差数值表(附表 1-1),确定孔的下极限偏差。因 IT7 级对应的公差为 21 μm,于是

$$EI = ES - T_D = (0 - 21)\ \mu m = -21\ \mu m$$

例 1-7　查表确定 ϕ30U7 孔的上、下极限偏差。

解　先查孔的基本偏差数值表(附表 1-3),确定孔的基本偏差数值。孔的公称尺寸 ϕ30 mm处于>24～30 mm 的尺寸分段内,U 的基本偏差为上极限偏差,当公差等级大于 IT7 级时,数值为−48 μm,但这不符合本题的要求。按题意该孔的公差等级为 IT7 级,应属于小于或等于 IT7 级这一栏内,故应按表中的说明,即“在大于 IT7 级的相应数值上增加一个 Δ 值”,在该表右端查出 Δ=8 μm,于是 U 的上极限偏差数值应为

$$ES = -48 + \Delta = (-48 + 8)\ \mu m = -40\ \mu m$$

因为 IT7 级对应的公差数值为 21 μm,所以

$$EI = ES - T_D = (-40 - 21)\ \mu m = -61\ \mu m$$

三、公差带与配合在图样上的标注

1. 公差带代号

国家标准规定,孔、轴公差带由公称尺寸、基本偏差代号与公差等级代号组成,并且采用同一号大小字体书写。零件图上的标注如图 1-14(a)、(b)所示。

2. 配合代号

配合代号由相配合的孔、轴公差带代号组成,写成分数形式。分子为孔的公差带代号,分母为轴的公差带代号。装配图上的标注如图 1-14(c)所示。

在零件图上只标公差带代号或极限偏差数值,或两者同时标注(此时上、下极限偏差标在公差带代号后面,并用括号括上),见图 1-14(c)。

但也有例外,如滚动轴承内圈与轴的配合、外圈与机座孔的配合,不需标出轴承的公差带代号,只标轴和机座孔的公差带代号,如图 1-15 所示。这是因为滚动轴承是一个标准部件,它的尺寸精度另有专门的标准规定,由专门工厂制造,不需另行设计。滚动轴承的特殊性表现在滚动轴承外圈是基轴制,图 1-15 中,外圈和机座孔的配合中机座孔的公差为 ϕ100H7,滚动轴承内圈是基孔制,内圈和轴的配合中轴的公差

为 ϕ55j6。

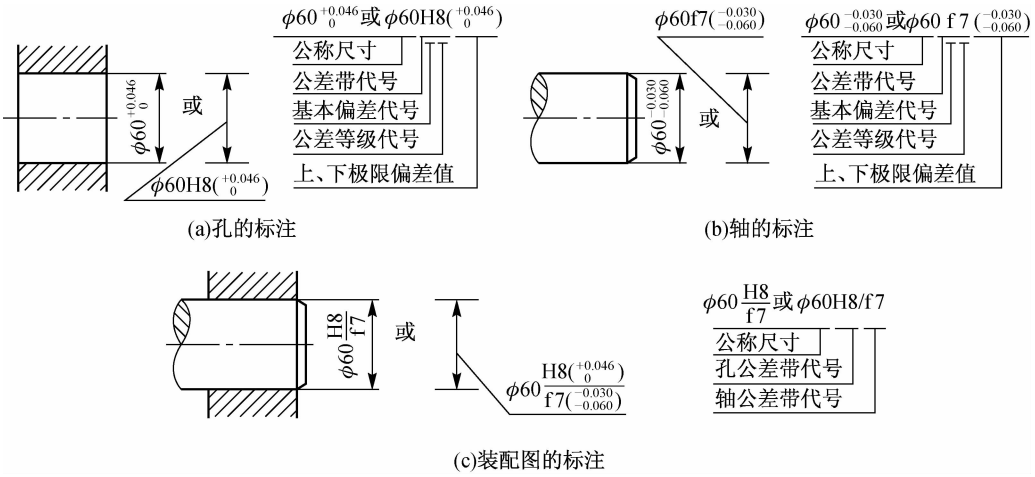


图 1-14　公差带与配合的标注

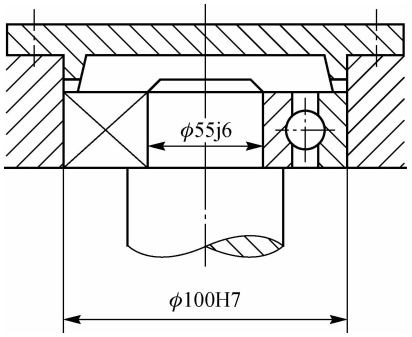


图 1-15　孔、轴与轴承配合的标注

学习情境三　公差与配合的选用

公差与配合的选用主要包括三个方面的内容：一是基准制的选用；二是公差等级的选用；三是配合的选用。本节将分别讲述其选用原则。

一、基准制的选用

基孔制和基轴制是两种平行的配合制度，在一定的条件下，同名配合的性质相同。国家标准规定基准制的目的是获得一系列不同配合性质的配合，以满足零件配合需要，又不致使实际选用的零件极限尺寸数目繁杂，以便于制造，从而获得良好的技术效果和经济效益。因此，基准制的选择主要应考虑零件结构、加工工艺、装配工艺以及经济性。也就是说，所选择的基准制应当有利于零件的加工、装配和降低制造成本。

国家标准推荐优先选用基孔制，因为加工轴所用的刀具一般为非定值刀具，同一把刀可加工不同尺寸的轴件。采用基孔制可减少刀具和量具的品种、规格、数量，降低孔的加工成

本。显然，基孔制是经济合理的选择。但并不是在所有情况下基孔制都是最好的选择，如在以下几种情况下就应当采用基轴制。

(1)在同一公称尺寸的轴上，同时安装几个不同配合的孔件时，采用基轴制。如图 1-16 所示，活塞连杆机构中，活塞销需要同时与活塞和连杆形成不同的配合。销轴两端活塞孔的配合为 M6/h5，销轴与连杆孔的配合为 H6/h5，显然它们的配合是不同的，应当采用基轴制。这样销轴各部位的直径尺寸是相同的(h5)，以便于加工；活塞孔和连杆孔则分别按 M6 和 H6 加工。装配时也比较方便，不致将连杆孔表面划伤。相反，如果采用基孔制，由于活塞孔和连杆孔尺寸相同，为了获得不同的配合，销轴的尺寸势必应当两端大中间小。这样的销轴较难加工，且装配时容易将连杆孔表面划伤。

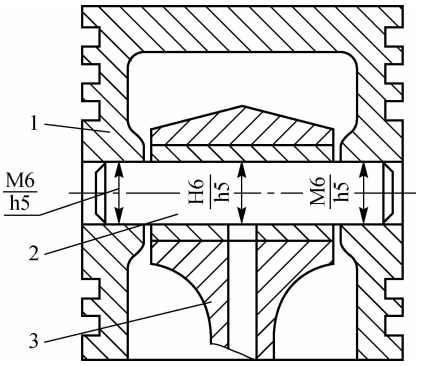


图 1-16　活塞连杆机构中的配合

1—活塞；2—活塞销；3—连杆

(2)采用冷拉棒材直接做轴时，不需进行机加工，可获得较明显的经济效益。因此，可把轴作为标准件，采用基轴制。这种情况在农机等行业中比较常见。

(3)标准件的外表面与其他零件的内表面配合时，也要采用基轴制，如轴承外圈与机座孔的配合应采用基轴制。但轴承的内圈与轴配合时，则应采用基孔制。

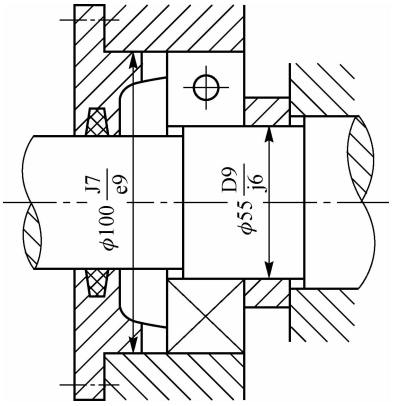


图 1-17　轴承盖与孔、轴承挡圈与轴的配合

有时根据实际情况，也可以采用非基准制配合，即相配合的孔和轴都不是基准件。如图 1-17 所示，为了使轴承盖与孔、轴承挡圈与轴获得更松的配合，轴承盖与孔的配合和轴承挡圈与轴的配合分别为 ϕ100J7/e9 和 ϕ55D9/j6，它们既不是基孔制也不是基轴制。轴承孔的公差带 J7 是由轴承外圈的基轴制配合决定的，轴的公差带 j6 是由基孔制配合决定的。

二、公差等级的选用

选用公差等级是为了解决零件使用要求与制造经济性之间的矛盾。

公差等级选用的基本原则是：在满足使用要求的前提下，尽量选用较低的公差等级。公差等级越高，加工难度越大，生产成本也随之增加；反之，成本将相应降低。在确定公差等级时要注意以下几个问题：

(1)一般非配合尺寸要比配合尺寸的精度低。

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

(3)在满足配合要求的前提下，孔、轴的公差等级可以任意组合，不受工艺等价原则的限制。见图 1-17，轴承孔的连接可靠性主要是靠螺钉连接来保证，它的配合要求很松，对配合

精度要求很低，相配合的孔件和轴件既没有相对运动，又不承受外界负载，所以轴承盖的配合外径采用 IT9 是经济合理的。孔的公差等级 IT7 是由轴承的外径精度决定的，如果轴承盖的配合外径按工艺等价原则采用 IT6，反而是不合理的设计。因为这样做势必要提高制造成本，同时对提高产品质量又起不到任何作用。同理，轴承挡圈的公差等级为 IT9，轴颈的公差等级为 IT6 也是合理的。

(4)与标准件配合的零件，其尺寸精度由标准件的精度要求所决定。见图 1-17，与轴承配合的孔和轴，其尺寸精度由轴承的精度等级来决定。与齿轮孔相配合的轴，其配合部分的尺寸精度由齿轮的精度等级所决定。

(5)用类比法确定尺寸精度时，可参考各公差等级的应用范围和公差等级的应用选择实例，见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3　公差等级的应用范围

公差等级 / 应用范围	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
量块	—	—	—																	
量规			—	—	—	—	—	—	—											
配合尺寸							—	—	—	—	—	—	—	—	—					
特别精密零件的配合				—	—	—	—													
非配合尺寸（大制造公差）														—	—	—	—	—	—	—
原材料公差										—	—	—	—	—	—	—				

注："—"表示应用的公差等级。

表 1-4　公差等级的应用选择实例

公差等级	应用条件说明	应用举例
IT01	用于特别精密的尺寸传递基准	特别精密的标准量块
IT0	用于特别精密的尺寸传递基准及宇航工业中极个别特别重要的精密配合尺寸	校对检验 IT6 级轴用量规的校对量规。 特别精密的标准量块、个别特别重要的精密机械零件尺寸
IT1	用于精密的尺寸传递基准、高精密测量工具、极个别特别重要的精密配合尺寸	校对检验 IT7～IT9 级轴用量规的校对量规。 高精密标准量规、个别特别重要的精密机械零件尺寸

续表

公差等级	应用条件说明	应用举例
IT2	用于高精密的测量工具，特别重要的精密配合尺寸	检验 IT6～IT7 级工件用量规的尺寸制造公差，校对检验 IT8～IT11 级轴用量规的校对量规。 个别特别重要的精密机械零件的尺寸
IT3	用于精密测量工具、小尺寸零件的高精度的精密配合及与 4 级滚动轴承配合的轴颈和外壳孔径	检验 IT8～IT11 级工件用量规和校对检验 IT9～IT13 级轴用量规的校对量规。 与特别精密的 4 级滚动轴承内圈孔（直径不大于 100 mm）相配合的机床主轴、精密机械和高速机械的轴颈；与 4 级向心球轴承外圈外径相配合的外壳孔径；航空工业及航海工业中导航仪器上特别精密的个别小尺寸零件的精密配合件
IT4	用于精密测量工具、高精度的精密配合和 4 级、5 级滚动轴承配合的轴颈和外壳孔径	检验 IT9～IT12 级工件用量规和校对检验 IT12～IT14 级轴用量规的校对量规。 与 4 级轴承孔（孔径大于 100 mm）及与 5 级轴承孔相配合的机床主轴，精密机械和高速机械的轴颈；与 4 级轴承相配合的外壳孔；柴油机活塞销及活塞销座孔径，高精度（1～4 级）齿轮的基准孔或轴；航空及航海工业所用仪器中特别精密的孔径
IT5	用于机床、发动机和仪表中特别重要的配合，在配合公差要求很小，形状精度要求很高的条件下，这类公差等级使配合性质比较稳定，相当于旧国标中最高精度（1 级精度轴的公差），故它对加工要求较高，一般机械制造中较少应用	检验 IT11～IT14 级工件用量规和校对检验 IT14～IT15 级轴用量规的校对量规。 与 5 级滚动轴承相配合的机床箱体孔；与 6 级滚动轴承孔相配合的机床主轴，精密机械及高速机械的轴颈，机床尾架套筒，高精度分度盘轴颈，分度头主轴，精密丝杠的基准轴颈，高精度镗套的外径等；发动机中主轴外径，活塞销外径与活塞的配合，精密仪器中轴与各种传动件轴承的配合；航空、航海工业的仪表中重要的精密孔的配合；5 级精度齿轮的基准孔及 5 级、6 级精度齿轮的基准轴
IT6	广泛用于机械制造中的重要配合，配合表面有较高的均匀性要求，能保证相当高的配合性质，使用可靠，相当于旧国标中 2 级精度轴和 1 级精度孔的公差	检验 IT12～IT15 级工件用量规和校对检验 IT15～IT16 级轴用量规的校对量规。 与 6 级滚动轴承相配合的外壳孔及与滚动轴承相配合的机床主轴轴颈；机床制造中，装配式齿轮、蜗轮、联轴器、带轮、凸轮的孔径，机床丝杠支承轴颈，矩形花键的定心直径，摇臂钻床的立柱等，机床夹具的导向件的外径尺寸；精密仪器、光学仪器、计量仪器中的精密轴；航空、航海仪器仪表中的精密轴；无线电工业、自动化仪表、电子仪器、电动机械中的特别重要的轴，以及手表中特别重要的轴；导航仪器中主罗经的方位轴、微电动机轴；电子计算机外围设备中的重要尺寸；医疗器械中牙科直车头、中心齿轴及 X 射线机齿轮箱的精密轴等；缝纫机中重要轴类尺寸；发动机中的汽缸套外径、曲轴主轴颈、活塞销、连杆衬套、连杆和轴瓦外径等；6 级精度齿轮的基准孔和 7 级、8 级精度齿轮的基准轴，以及特别精密（1 级、2 级精度）齿轮的顶圆直径

续表

公差等级	应用条件说明	应用举例
IT7	应用条件与 IT6 相类似，但它要求的精度可比 IT6 稍低些，在一般机械制造中应用相当普遍，相当于旧国标中的 3 级精度轴或 2 级精度孔的公差	检验 IT14～IT16 级工件用量规和校对检验 IT16 级轴用量规的校对量规。 机床制造中，装配式青铜蜗轮轮缘孔径，联轴器、带轮、凸轮等的孔径，机床卡盘座孔、摇臂钻床的摇臂孔、车床丝杠的轴承孔等，机床夹头导向件的内孔（如固定钻套、可换钻套、衬套、镗套等）；发动机中的连杆孔、活塞孔、铰制螺栓定位孔等；纺织机械中的重要零件，印染机械中要求较高的零件；精密仪器、光学仪器中精密配合的内孔；手表中的离合杆压簧等；导航仪器中主罗经壳底座孔、方位支架孔；医疗器械中牙科直车头、中心齿轮轴的轴承孔及 X 射线机齿轮箱的转盘孔；电子计算机、电子仪器、仪表中的重要内孔，自动化仪表中的重要内孔；缝纫机中的重要零件的内孔；电动机械中的重要零件的内孔；7 级、8 级精度齿轮的基准孔和 9 级、10 级精度齿轮的基准轴
IT8	用于机械制造中，属中等精度。在仪器仪表及钟表制造中，由于公称尺寸较小，所以属较高精度范畴。在配合确定性要求不太高时，是应用较多的一个等级，尤其是在农业机械、纺织机械、印染机械、自行车、缝纫机、医疗器械中应用最广	检验 IT16 级工件用量规。 轴承座衬套沿宽度方向的尺寸配合；手表中跨齿轴、棘爪拨针齿轮与夹板的配合；无线电仪表工业中的一般配合；电子仪器仪表中较重要的内孔；计算机中变速齿轮孔和轴的配合；医疗器械中牙科直车头的钻头套的孔与车针柄部的配合；导航仪器中主罗经粗刻度盘孔的月牙形支架与微电动机汇电环孔等；电动机制造中铁芯与机座的配合；发动机活塞油环槽宽、连杆轴瓦内径；低精度（9～12 级精度）齿轮的基准孔和 11～12级精度齿轮的基准轴，6～8 级精度齿轮的顶圆
IT9	应用条件与 IT8 相类似，但要求精度低于 IT8 时用，比旧国标 4 级精度公差值稍大	机床制造中，轴套外径与孔、操作件与轴、空转带轮与轴、操纵系统的轴与轴承等的配合；纺织机械、印染机械中的一般配合零件；发动机中机油泵内孔、气门导管内孔、飞轮与飞轮套圈衬套、混合气预热阀轴、汽缸盖孔径、活塞槽环的配合等；光学仪器、自动化仪表中的一般配合；手表中要求较高零件的未注公差尺寸的配合；单键连接中键宽配合尺寸，打字机中的运动件配合
IT10	应用条件与 IT9 相类似，但要求精度低于 IT9 时用，相当于旧国标的 5 级精度公差	电子仪器仪表中支架的配合；导航仪器中绝缘衬套孔与汇电环衬套轴；打字机中铆合件的配合尺寸；闹钟机构中的中心管与前夹板，轴套与轴的配合，手表中尺寸小于 18 mm、要求一般的未注公差尺寸及大于 18 mm、要求较高的未注公差尺寸；发动机中油封挡圈孔与曲轴带轮毂
IT11	用于配合精度要求较低，装配后可能有较大的间隙，特别适用于要求间隙较大，且有显著变动而不会引起危险的场合，相当于旧国标的 6 级精度公差	机床上法兰盘止口与孔、滑块与滑移齿轮、凹槽等；农业机械、汽车厢体部件及冲压加工的配合零件；钟表制造中不重要的零件，手表制造用的工具及设备中的未注公差尺寸；纺织机械中较粗糙的活动配合，印染机械中要求较低的配合；磨床制造中的螺纹连接及粗糙的活动连接；不作测量基准用的齿轮顶圆直径公差
IT12	配合精度要求很低，装配后有很大的间隙，适用于基本上没有配合要求的场合。要求较高的未注公差尺寸的极限偏差，比旧国标的 7 级精度公差值稍小	非配合尺寸及工序间尺寸；发动机分离杆；手表制造中工艺装备的未注公差尺寸；计算机行业切削加工中未注公差尺寸的极限偏差；医疗器械中手术刀刀柄的配合；机床制造中扳手孔与扳手座的连接

续表

公差等级	应用条件说明	应用举例
IT13	应用条件与 IT12 相类似，但比旧国标的 7 级精度公差值稍大	非配合尺寸及工序间尺寸；计算机、打字机中切削加工零件及圆片孔、两孔中心距的未注公差尺寸
IT14	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸，相当于旧国标的 8 级精度公差	在机床、汽车、拖拉机、冶金、矿山、石油化工、电动机、仪器仪表、造船、航空、医疗器械、钟表、自行车、缝纫机、造纸与纺织机械等设备中对切削加工零件未注公差尺寸的极限偏差，多用此等级
IT15	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸，相当于旧国标的 9 级精度公差	冲压件、木模铸造零件、重型机床制造，当尺寸大于3 150 mm时的未注公差尺寸
IT16	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸，相当于旧国标的 10 级精度公差	打字机中浇铸件尺寸；无线电制造中箱体外形尺寸；手术器械中的一般外形尺寸公差；压弯延伸加工用尺寸；纺织机械中构件尺寸公差；塑料零件尺寸公差；木模制造和自由锻造尺寸公差
IT17	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸，相当于旧国标的 11 级精度公差	塑料成型尺寸公差；手术器械中的一般外形尺寸公差
IT18	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸，相当于旧国标的 12 级精度公差	冷作、焊接尺寸公差

(6)在满足设计要求的前提下，应尽量考虑工艺的可行性和经济性。各种加工方法所能达到的精度公差等级可参照表 1-5。

表 1-5　各种加工方法的公差等级

加工方法	公差等级 IT																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
研 磨	—	—	—	—	—	—	—											
珩 磨						—	—	—	—									
圆 磨							—	—	—	—								
平 磨							—	—	—	—								
金刚石车							—	—	—									
金刚石镗							—	—	—									
拉 削							—	—	—	—								
铰 孔								—	—	—	—	—						
车									—	—	—	—	—					

续表

加工方法	公差等级 IT																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
镗									—	—	—	—	—					
铣										—	—	—	—					
刨、插												—	—					
钻												—	—	—	—			
滚压、挤压												—	—					
冲 压												—	—	—	—	—		
压 铸													—	—	—	—		
粉末冶金成型								—	—	—								
粉末冶金烧结									—	—	—	—						
砂型铸造、气割																		—
锻 造																	—	

注："—"表示可达到的公差等级。

(7)表面粗糙度是影响配合性质的一个重要因素，在选择尺寸公差等级时，应同时考虑表面粗糙度的要求。公差等级与表面粗糙度的对应关系见表 1-6。

表 1-6　公差等级与表面粗糙度的对应关系　　单位：μm

公差等级	公称尺寸/mm	表面粗糙度 Ra 值不大于		公差等级	公称尺寸/mm	表面粗糙度 Ra 值不大于		公差等级	公称尺寸/mm	表面粗糙度 Ra 值不大于	
		轴	孔			轴	孔			轴	孔
IT5	＜6	0.2	0.2	IT8	＜3	0.8	0.8	IT11	＜10	3.2	3.2
	＞6～30	0.4	0.4		＞3～30	1.6	1.6		＞10～120	6.3	6.3
	＞30～180	0.8	0.8		＞30～250	3.2	3.2		＞120～500	12.5	12.5
	＞180～500	1.6	1.6		＞250～500	6.3	6.3	IT12	＜80	6.3	6.3
IT6	＜10	0.4	0.4	IT9	＜6	1.6	1.6		＞80～250	12.5	12.5
	＞10～80	0.8	0.8		＞6～120	3.2	3.2		＞250～500	25	25
	＞80～250	1.6	1.6		＞120～400	6.3	6.3	IT13	＜30	6.3	6.3
	＞250～500	3.2	3.2		＞400～500	12.5	12.5		＞30～120	12.5	12.5
IT7	＜6	0.8	0.8	IT10	＜10	3.2	3.2		＞120～500	25	25
	＞6～120	1.6	1.6		＞10～120	6.3	6.3				
	＞120～500	3.2	3.2		＞120～250	12.5	12.5				

三、配合的选用

由前面已知，国家标准中规定了 20 个公差等级和孔、轴的 28 种基本偏差。这样，在公称尺寸小于或等于 500 mm 的常用尺寸范围内，孔可组成 543 种公差带，轴可组成 544 种公差带，这些孔、轴公差带又可组成更多数目的配合。如果不加限制，任意选用这些公差带和配合，将不利于生产。为了减少零件、定值刀具、量具和工艺装备的品种和规格，国家标准对所选用的公差带与配合作了必要的限制。

在常用尺寸段，GB/T 1801—2009 规定了一般、常用和优先孔公差带 105 种，其中带方框的 44 种为常用公差带，带圈的 13 种为优先公差带，如图 1-18 所示；一般、常用和优先轴公差带 119 种，其中带方框的 59 种为常用公差带，带圈的 13 种为优先公差带，如图 1-19 所示。

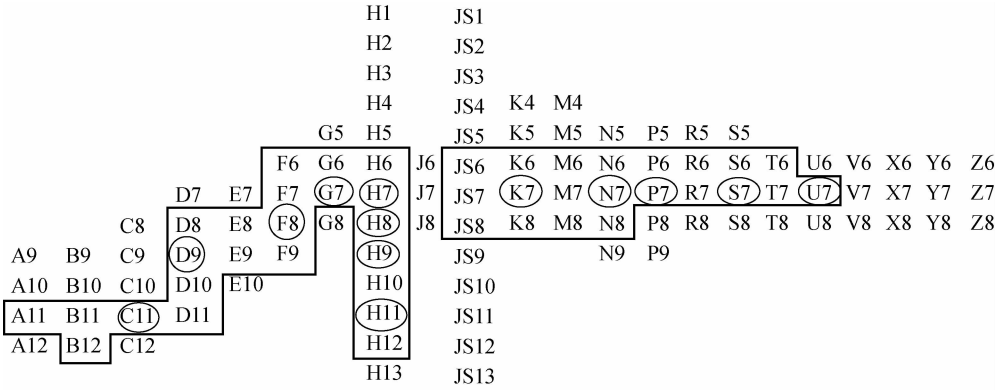


图 1-18　公称尺寸不大于 500 mm 时推荐使用的孔的公差带

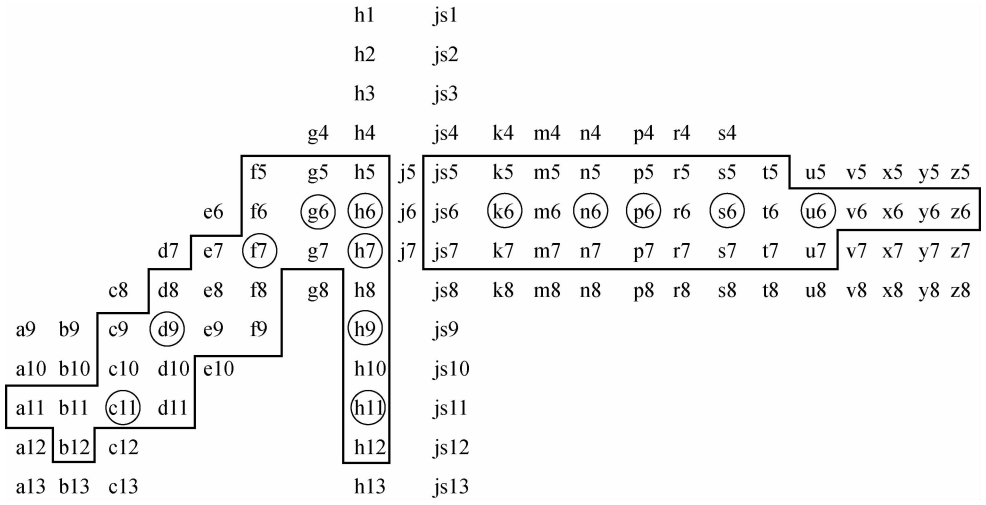


图 1-19　公称尺寸不大于 500 mm 时推荐使用的轴的公差带

同样，为了使配合的种类集中统一，GB/T 1801—2009 还规定了基孔制常用配合 59 种，其中优先配合 13 种，见表 1-7；基轴制常用配合 47 种，其中优先配合 13 种，见表 1-8。表 1-9 给出了优先配合选用说明，表 1-10 给出了基孔制配合的应用实例，可供设计时参考。

表 1-7　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	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
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	[H7/u6]	H7/v6	H7/x6	H7/y6	H7/z6
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	H8/u7				
				H8/d8	H8/e8	H8/f8		H8/h8													
H9			H9/c9	[H9/d9]	H9/e9	H9/f9		[H9/h9]													
H10			H10/c10	H10/d10				H10/h10													
H11	H11/a11	H11/b11	[H11/c11]	H11/d11				[H11/h11]													
H12		H12/b12						H12/h12													

注:带[ ]的配合为优先配合。

表 1-8 基轴制优先、常用配合(GB/T 1801—2009)

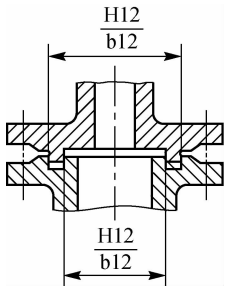
基准轴	孔																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
h5						$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{JS6}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{R6}{h5}$	$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$					
h6						$\frac{F7}{h6}$	$\left[\frac{G7}{h6}\right]$	$\left[\frac{H7}{h6}\right]$	$\frac{JS7}{h6}$	$\left[\frac{K7}{h6}\right]$	$\frac{M7}{h6}$	$\left[\frac{N7}{h6}\right]$	$\left[\frac{P7}{h6}\right]$	$\frac{R7}{h6}$	$\left[\frac{S7}{h6}\right]$	$\frac{T7}{h6}$	$\left[\frac{U7}{h6}\right]$				
h7					$\frac{E8}{h7}$	$\left[\frac{F8}{h7}\right]$		$\left[\frac{H8}{h7}\right]$	$\frac{JS8}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$									
h8				$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$		$\frac{H8}{h8}$													
h9				$\left[\frac{D9}{h9}\right]$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$		$\left[\frac{H9}{h9}\right]$													
h10				$\frac{D10}{h10}$				$\frac{H10}{h10}$													
h11	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\left[\frac{C11}{h11}\right]$	$\frac{D11}{h11}$				$\left[\frac{H11}{h11}\right]$													
h12		$\frac{B12}{h12}$						$\frac{H12}{h12}$													

注:带[ ]的配合为优先配合。

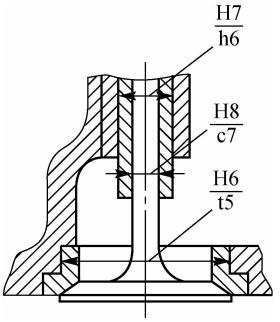
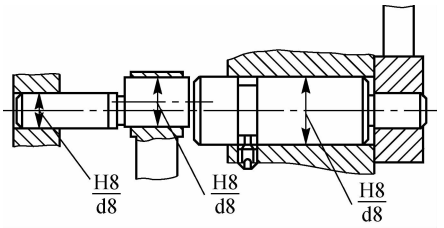
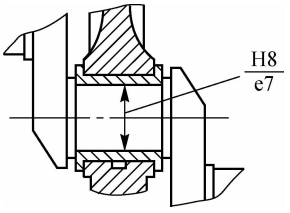
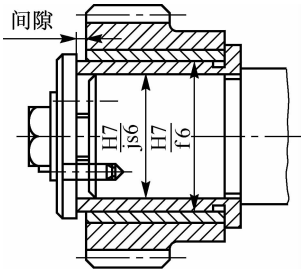
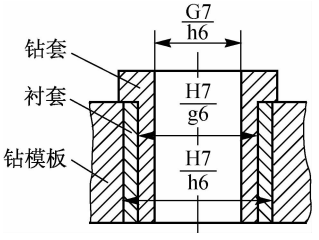
表 1-9　优先配合选用说明

优先配合		说　　明
基孔制	基轴制	
H11/c11	C11/h11	间隙非常大，用于很松的、转动很慢的动配合，要求大公差与大间隙的外露组件，要求装配方便的、很松的配合，相当于旧国标 D6/dd6
H9/d9	D9/h9	间隙很大的自由转动配合，用于精度要求不高或温度变动很大、转速高或轴颈压力大的配合部位，相当于旧国标 D4/de4
H8/f7	F8/h7	间隙不大的转动配合，用于中等转速与中等轴颈压力的精确转动，也用于装配比较容易的中等定位配合，相当于旧国标 D/dc
H7/g6	G7/h6	间隙很小的滑动配合，用于不希望自由转动，但可以自由移动和滑动并精密定位的配合，也可以用于要求明确的定位配合，相当于旧国标 D/db
H7/h6、H8/h7、H9/h9、H11/h11	H7/h6、H8/h7、H9/h9、H11/h11	均为间隙定位配合，零件可自由装拆，而工作时一般相对静止不动。在最大实体条件下的间隙为零，在最小实体条件下的间隙由公差等级决定，H7/h6 相当于旧国标 D/d，H8/h7 相当于旧国标 D3/d3，H9/h9 相当于旧国标 D4/d4，H11/h11 相当于旧国标 D6/d6
H7/k6	K7/h6	过渡配合，用于精密定位，相当于旧国标 D/gc
H7/n6	N7/h6	过渡配合，允许有较大过盈的精密定位，相当于旧国标 D/ga
H7/p6	P7/h6	过盈定位配合，即小过盈配合，用于定位精度特别重要，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载，能以最好的定位精度达到部件的刚性要求和对中性要求，H7/p6 相当于旧国标 D/ga～D/jf
H7/s6	S7/h6	中等压力压入配合，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，相当于旧国标 D/je
H7/u6	U7/h6	压入配合，适用于可以承受较大压力的零件或不宜承受大压入力的冷缩配合

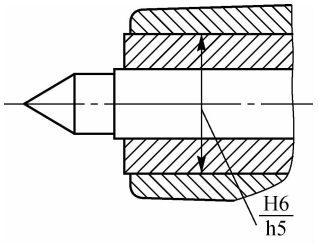
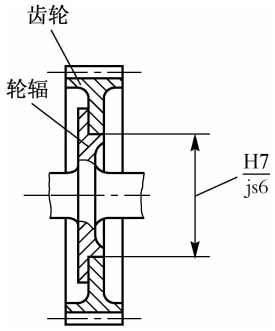
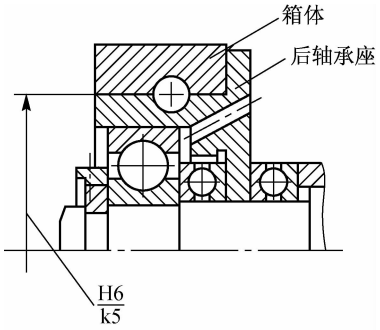
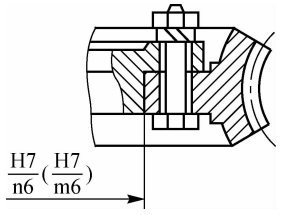
表 1-10　基孔制配合应用实例

配　　合	基本偏差	配合特性	应用实例
间隙配合	a b	可得到特别大的间隙，很少应用	 管道法兰连接用的配合

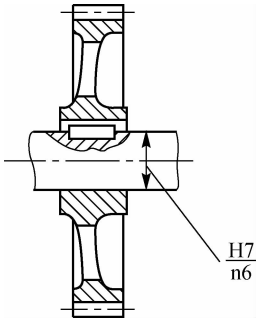
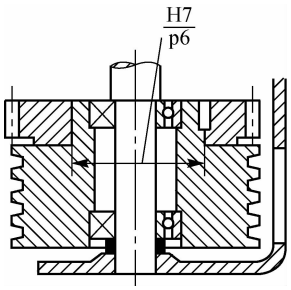
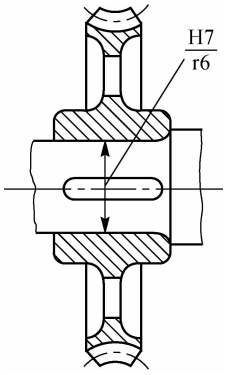
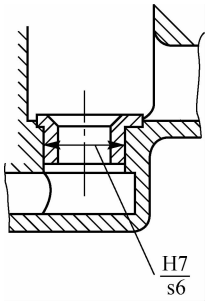
续表

配　　合	基本偏差	配合特性	应用实例
间隙配合	c	可得到较大的间隙，一般适用于缓慢、松弛的动配合。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的配合，推荐配合为 H11/c11。其较高等级的配合适用于轴在高温工作的紧密动配合，例如，内燃机排气阀和导管的配合 H8/c7	 内燃机排气阀和导管的配合
	d	一般用于 IT7～IT11 级，适用于松的转动配合，如密封盖、滑轮、空转带轮等与轴的配合，也适用于大直径滑动轴承配合，如透平机、球磨机、滚轧成形和重型弯曲机，以及其他重型机械中的一些滑动轴承	 C616 车床尾座中偏心轴与尾座体孔的结合
	e	用于 IT7～IT9 级，通常适用于要求有明显间隙，易于转动的支承配合，如大跨距支承、多支点支承等配合。高等级的 e 轴适用于高速、重载支承，如涡轮发电机、大功率电动机及内燃机的主要轴承、凸轮轴支承、摇臂支承等处的配合	 内燃机主轴承
	f	多用于 IT6～IT8 级的一般转动配合，当温度影响不大时，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	 轴承配合
	g	配合间隙很小，制造成本高，除很轻负载的精密装置外，不推荐用于转动配合。多用于IT5～IT7 级，最适合不回转的精密滑动配合，也用于插销等定位配合，如精密连杆轴承、活塞及滑阀、连杆销等处的配合	 钻套与衬套的配合

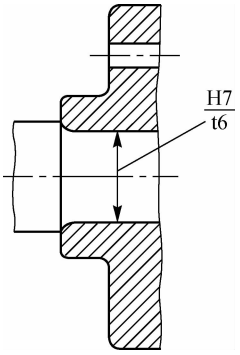
续表

配　　合	基本偏差	配合特性	应用实例
间隙配合	h	多用于 IT4～IT11 级，广泛用于无相对转动的零件，作为一般的定位配合。若没有温度变形影响，也可用于精密滑动轴承的配合	 车床尾座体孔与顶尖套筒的配合
过渡配合	js	为完全对称偏差（$\pm IT_n/2$），平均状态为稍有间隙的配合，多用于 IT4～IT7 级，要求间隙比 h 轴小，并允许略有过盈的定位配合，如联轴器的配合，可用手或木槌装配	 齿轮内圈与钢轮辐的配合
	k	平均状态为没有间隙的配合，适用于 IT4～IT7 级，推荐用于稍有过盈的定位配合，一般用木槌装配，如为了消除振动用的定位配合	 某车床主轴后轴承座与箱体孔的配合
	m	平均过盈量较小的过渡配合。适用于 IT4～IT7 级，一般可用木槌装配，当过盈量最大时，要用小压力压入	 蜗轮青铜轮缘与铸铁轮辐的配合

续表

配　　合	基本偏差	配合特性	应用实例
过盈配合	n	平均过盈比 m 轴稍大，很少有间隙，适用于 IT4～IT7 级，用木槌或压力机装配，推荐用于紧密组件的配合，H6/n5 为过盈配合	 冲床齿轮与轴的配合
	p	与 H6 或 H7 的孔配合时是过盈配合，与 H8 的孔配合时则为过渡配合。非铁制零件为较轻的压入配合，易于拆卸。铸铁或钢组件装配是标准压入配合	 卷扬机的绳轮与齿轮内圈的配合
	r	铁制零件为中等压力压入配合，非铁制零件为轻压入的配合，可以拆卸。与 H8 孔配合，直径大于 100 mm 时为过盈配合，直径小于 100 mm 时为过渡配合	 蜗轮与轴的配合
	s	用于钢和铁制零件的永久性和半永久性装配，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。例如，套环压装在轴上、阀座等配合。尺寸较大时，为了避免损伤配合表面，需用热套法或冷轴法装配	 水泵阀座与壳体的配合

续表

配　　合	基本偏差	配合特性	应用实例
过盈配合	t u v x y z	过盈量依次增大，除 u 外，一般不推荐	 联轴器与轴的配合

对于公称尺寸大于 500～3 150 mm 的孔，国家标准规定了 31 种常用公差带，如图 1-20 所示。对于公称尺寸大于 500～3 150 mm 的轴，国家标准规定了 41 种常用公差带，如图 1-21所示。在这一尺寸范围内国家标准没有推荐配合。基于工艺等价原则，国家标准规定在这一尺寸段一般采用基孔制的同级配合。

			G6	H6	JS6	K6	M6	N6
		F7	G7	H7	JS7	K7	M7	N7
D8	E8	F8		H8	JS8			
D9	E9	F9		H9	JS9			
D10				H10	JS10			
D11				H11	JS11			
				H12	JS12			

图 1-20　公称尺寸大于 500～3 150 mm 的孔的公差带

			g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6
		f7	g7	h7	js7	k7	m7	n7	p7	r7	s7	t7	u7
d8	e8	f8		h8	js8								
d9	e9	f9		h9	js9								
d10				h10	js10								
d11				h11	js11								
				h12	js12								

图 1-21　公称尺寸大于 500～3 150 mm 的轴的公差带

四、线性尺寸的一般公差

构成零件的所有几何要素总是具有一定的尺寸和几何形状。由于尺寸误差和几何特征(形状、方向、位置)误差的存在，为保证零件的使用功能就必须对它们加以限制，否则将会损害其功能。

对功能上无特殊要求的要素可给出一般公差。一般公差可应用在线性尺寸、角度尺寸、形状和位置等几何要素。为了明确而统一地处理这类尺寸的公差要求问题，国家标准GB/T 1804—2007中规定了线性尺寸一般公差的等级和极限偏差。

线性尺寸和角度尺寸的一般公差是指在车间普通工艺条件下，机床设备可保证的尺寸公差。在正常维护和操作情况下，它代表车间正常的加工精度。

线性尺寸的一般公差主要用于较低精度的非配合尺寸。采用一般公差的线性尺寸，在正常车间加工精度得到保证的条件下，一般可不用检验。

线性尺寸的一般公差规定了 4 个公差等级，即 f(精密级)、m(中等级)、c(粗糙级)、v(最粗级)。每个公差等级都规定了相应的极限偏差，线性尺寸的极限偏差数值见附表 1-4；倒圆角半径和倒角高度尺寸的极限偏差数值见附表 1-5。

规定图样上线性尺寸的未注公差时，应考虑车间的一般加工精度，由相应的技术文件或标准作出具体的规定。

采用 GB/T 1804—2007 规定的一般公差，应在图样标题栏附近或技术要求、技术文件(如企业标准)中注出本标准号及公差等级代号。例如，选用中等级时，标注为 GB/T 1804—m。

该标准规定的线性尺寸未注公差，适用于金属切削加工的尺寸，也适用于一般冲压加工的尺寸。非金属材料和其他工艺方法加工的尺寸可参照采用。

五、极限与配合国家标准的应用

正确合理地选择和应用极限与配合是机械设计中的关键环节，是关系到产品使用性能和制造成本的一项重要工作。几乎所有机器中的零件连接都少不了孔、轴结合的形式，这种结合的意义不仅在于把零件组装到一起，更重要的是要保证机器的正常工作。为此，孔、轴的结合特性应与机器的使用要求相适应，这也是孔、轴的极限与配合的含义。如果极限与配合选用不当，将会影响机器的使用性能，甚至不能正常工作。例如，测绘制造的机械产品，其所用的材料、零件的尺寸和结构形状完全与原机械产品一样，但使用性能却远不及原机械产品优良。只有经过反复试验，修改所选用的公差与配合后，产品的技术性能才能达到原机械产品的水平。这样的实例在生产实践中是经常遇到的。

极限与配合国家标准的应用主要是两个方面的内容：一是根据产品使用性能要求所提出的极限间隙(或极限过盈)，设计者选择适当的公差配合，即确定配合代号；二是工艺人员根据图样上的配合代号，通过查表确定孔、轴的极限偏差和零件的公差数值，以便合理地确定工艺系统和工艺过程。

1. 根据极限间隙(或极限过盈)确定公差与配合

根据极限间隙(或极限过盈)确定公差与配合的步骤如下。

1)由极限间隙(或极限过盈)求配合公差 T_f

配合公差 T_f 的计算公式为

$$T_f = X_{max} - X_{min} = Y_{min} - Y_{max} = X_{max} - Y_{max}$$

2)根据配合公差 T_f 求孔、轴公差

由式(1-6)可知，查标准公差数值表(附表 1-1)，即可得到孔、轴的公差等级。如果在公差表中找不到两个相邻或相同等级且公差之和恰为配合公差的孔、轴公差等级，则可通过计算确定孔、轴的公差等级，计算公式为

$$IT_D + IT_d \leqslant T_f \tag{1-12}$$

式中，IT_D 为孔的标准公差值，IT_d 为轴的标准公差值。

同时考虑到孔、轴精度匹配和工艺等价原则，孔和轴的公差等级应相同或孔比轴低一级，切不可为满足式(1-12)要求的关系而用任意两个公差等级进行组合。

3)确定基准制

选择时应从结构、工艺、经济等方面来综合考虑确定。

4)由极限间隙(或极限过盈)确定非基准件的基本偏差代号

(1)基孔制配合中非基准件的基本偏差代号的确定如下。

①间隙配合轴的基本偏差为上极限偏差 es,且为负值,其公差带在零线以下,如图 1-22 所示。由图 1-22 可知,轴的基本偏差 $|es|=X_{min}$。由 X_{min} 查轴的基本偏差表便可得到轴的基本偏差代号。

②过盈配合轴的基本偏差为下极限偏差 ei,且为正值,其公差带在零线以上,如图 1-23 所示。由图 1-23 可知,轴的基本偏差 $|ei|=ES+|Y_{min}|$。根据计算结果查轴的基本偏差表便可得到轴的基本偏差代号。

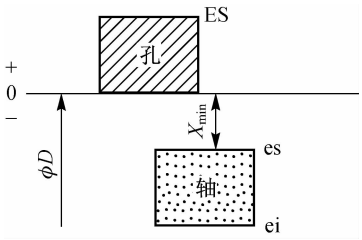


图 1-22　基孔制间隙配合的孔、轴公差带图

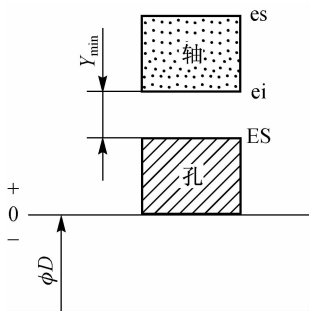
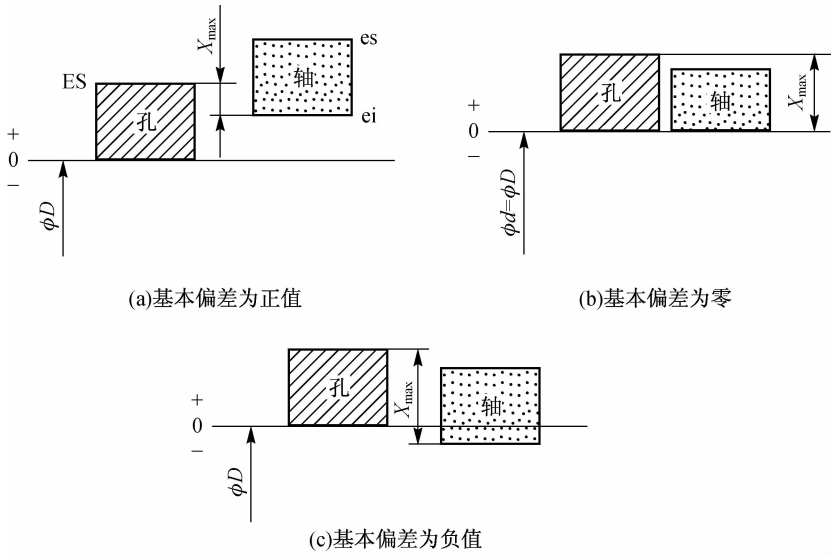


图 1-23　基孔制过盈配合的孔、轴公差带图

③过渡配合轴的基本偏差为下极限偏差。但从轴的基本偏差表可以看出,其值有正有负,有时也为零,如图 1-24 所示。由图 1-24 可知,轴的基本偏差均为 $ei=ES-X_{max}=T_D-X_{max}$(也可直接计算轴的上极限偏差 $es=|Y_{max}|$ 和下极限偏差 $ei=T_D-X_{max}$,根据基本偏差的概念选取)。



(a)基本偏差为正值　　(b)基本偏差为零

(c)基本偏差为负值

图 1-24　基孔制过渡配合的孔、轴公差带图

当根据已知条件计算出轴的基本偏差数值而查取轴的基本偏差代号时,如果表中没有哪一个代号的数值与计算出的数值相同,则应按下述原则近似地选取一个代号。

对于间隙配合或过盈配合

$$X'_{\min} \geqslant X_{\min} \text{或} |Y'_{\min}| \geqslant |Y_{\min}|$$

对于过渡配合

$$X'_{\max} \leqslant X_{\max}$$

式中，$X'_{\min}$、$Y'_{\min}$和$X'_{\max}$分别为由所取基本偏差代号形成的最小间隙、最小过盈和最大间隙。

(2)基轴制配合中非基准件的基本偏差代号的确定如下。

①间隙配合孔的基本偏差为下极限偏差，且为正值，其公差带在零线以上，如图 1-25 所示。根据孔的基本偏差 $EI=X_{\min}$查取孔的基本偏差代号。

②过盈配合孔的基本偏差为上极限偏差，且为负值，其公差带在零线以下，如图 1-26 所示。孔的基本偏差为 $ES=Y_{\min}+ei$。可按计算出的 ES 查孔的基本偏差表，获取孔的基本偏差代号。

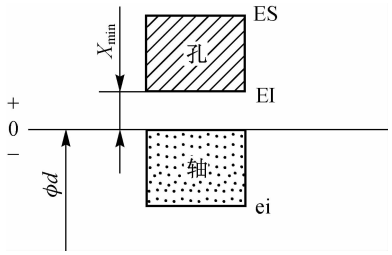


图 1-25　基轴制间隙配合的孔、轴公差带图

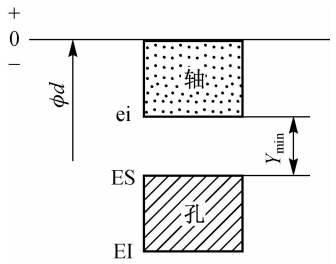


图 1-26　基轴制过盈配合的孔、轴公差带图

③过渡配合孔的基本偏差为上极限偏差，但其值有正也有负，有时也为零，如图 1-27 所示。由图可知，孔的基本偏差为 $ES=X_{\max}-T_d$。按计算出的 ES 值查孔的基本偏差表，即可获得孔的基本偏差代号。

当取近似代号时，所遵守的原则与基孔制相同。

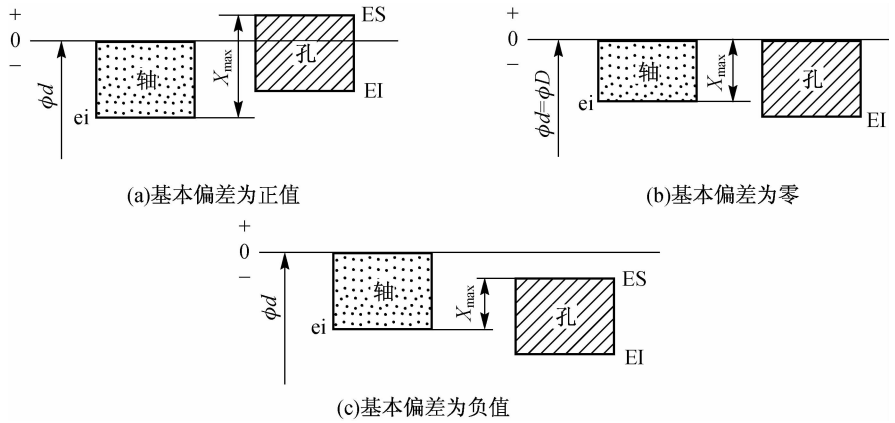


图 1-27　基轴制过渡配合的孔、轴公差带图

5)验算极限间隙或极限过盈

首先按孔、轴的标准公差计算出另一极限偏差，然后按所取的配合代号计算极限间隙或极限过盈，检验计算结果是否符合由已知条件限定的极限间隙或极限过盈。如果验算结果不符合设计要求，可采用更换基本偏差代号或变动孔、轴公差等级的方法来改变极限间隙或

极限过盈的大小，直至所选用的配合符合实际要求为止。

例 1-8 孔、轴的公称尺寸为 $\phi30$ mm，要求配合间隙为 $X_{min}=+20\ \mu m$，$X_{max}=+55\ \mu m$。试确定公差配合。

解 (1)计算配合公差。

$$T_f=X_{max}-X_{min}=(55-20)\ \mu m=+35\ \mu m$$

(2)查附表 1-1 确定孔、轴的公差等级。

$$IT7+IT6=(21+13)\ \mu m=34\ \mu m<35\ \mu m$$

故孔用 IT7，轴用 IT6。

(3)假定采用基孔制。

(4)查轴的基本偏差代号。

根据 $es=-X_{min}=-20\ \mu m$，查附表 1-2 确定轴的基本偏差代号为 f。

(5)验算极限间隙。

先画出孔、轴公差带图，如图 1-28 所示，并计算出孔、轴的其他各极限偏差，由式(1-13)可得

$$X'_{min}=+20\ \mu m,\quad X'_{max}=+54\ \mu m$$

故所选配合 $\phi30H7/f6$ 是合适的。

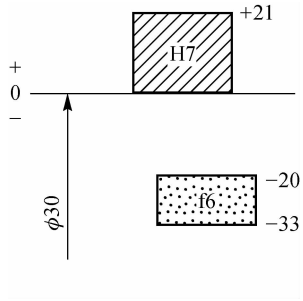


图 1-28 例 1-8 图

请读者考虑采用基轴制时的公差配合。

例 1-9 孔、轴的公称尺寸为 $\phi30$ mm，配合要求为 $Y_{min}=-26\ \mu m$，$Y_{max}=-63\ \mu m$。试确定公差配合。

解 (1)计算配合公差。

$$T_f=Y_{min}-Y_{max}=[-26-(-63)]=+37\ \mu m$$

(2)查附表 1-1 确定孔、轴的公差等级。

$$IT7+IT6=(21+13)\ \mu m=34\ \mu m<37\ \mu m$$

故孔用 IT7，轴用 IT6。

(3)假定采用基轴制。

(4)查孔的基本偏差代号。

因为这是一个过盈配合，所以孔的基本偏差应为上极限偏差，即为

$$ES=Y_{min}+ei=[-26+(-13)]\ \mu m=-39\ \mu m$$

查孔的基本偏差数值表(附表 1-3)可得孔的基本偏差代号为 U(其值为 $-41\ \mu m$)。

(5)验算极限过盈。

先画出孔、轴公差带图，如图 1-29 所示，并计算出孔、轴的其他各极限偏差，可得

$$Y'_{min}=-27\ \mu m,\quad Y'_{max}=-61\ \mu m$$

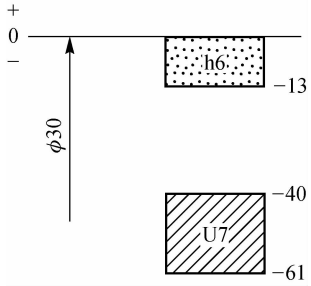


图 1-29 例 1-9 图

符合设计要求，所以选取的配合代号为 $\phi30U7/h6$。

请读者考虑采用基孔制时的公差配合。

例 1-10 孔、轴的公称尺寸为 $\phi30$ mm，配合要求为 $X_{max}=+20\ \mu m$，$Y_{max}=-16\ \mu m$。试确定公差配合。

解　(1)计算配合公差。

$$T_f = X_{max} - Y_{max} = [20-(-16)]\ \mu m = +36\ \mu m$$

(2)查附表 1-1 确定孔、轴的公差等级。

$$IT7 + IT6 = (21+13)\ \mu m = 34\ \mu m < 36\ \mu m$$

故孔用 IT7,轴用 IT6。

(3)假定采用基孔制。

(4)查轴的基本偏差代号。

因为已知条件给定的是最大间隙和最大过盈,所以这是一个过渡配合。轴的基本偏差为下极限偏差,其值为

$$ei = T_D - X_{max} = (21-20)\ \mu m = +1\ \mu m$$

查轴的基本偏差数值表(附表 1-2)可取轴的基本偏差代号为 k(其值为 2 μm)。

(5)验算最大间隙和最大过盈。

先画出孔、轴公差带图,如图 1-30 所示,并计算出孔、轴的其他各极限偏差。经验算可得

$$X'_{max} = +19\ \mu m,\quad Y'_{max} = -15\ \mu m$$

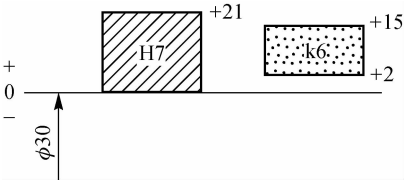


图 1-30　例 1-10 图

符合设计要求,所以选取的配合代号为 ϕ30H7/k6。

请读者考虑采用基轴制时的公差配合。

2. 根据配合代号确定孔、轴的公差和极限偏差

工艺人员在制定工艺过程时,必须根据图样给定的配合代号求得孔、轴的公差和极限偏差。其步骤如下:

(1)根据孔、轴公差等级查标准公差值。

(2)查非基准件的基本偏差值。

(3)计算另一极限偏差的数值。

(4)画公差带图,并计算极限间隙或极限过盈和配合公差。

例 1-11　已知某孔、轴的配合代号为 ϕ30H7/t6,试确定孔、轴的公差和极限偏差。

解　(1)根据孔、轴公差等级查附表 1-1,得

$$IT7 = 21\ \mu m,\quad IT6 = 13\ \mu m$$

(2)t 为非基准件的基本偏差(下极限偏差)代号,查附表 1-2 得其数值 ei=+41 μm。

(3)根据(1)、(2)可得孔、轴的另一极限偏差为

$$ES = EI + IT7 = +21\ \mu m,\quad es = ei + IT6 = +54\ \mu m$$

(4)画公差带图,如图 1-31 所示。由公差带图可知这是一个过盈配合。

$$Y_{min} = ES - ei = -20\ \mu m$$

$$Y_{max} = EI - es = -54\ \mu m$$

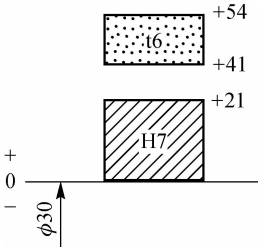


图 1-31　例 1-11 图

配合公差为

$$T_f = Y_{min} - Y_{max} = 34\ \mu m$$

工艺人员可根据孔、轴公差数值和极限偏差数值选择加工设备,制定工艺过程。

技能训练

实训一　外圆和长度检测

一、实训任务

用游标卡尺和千分尺测量零件的尺寸。

二、实训步骤

1. 游标卡尺的使用

(1)将零件被测表面和游标卡尺的测量面擦干净。

(2)校对游标卡尺的零位,若零位不能对正,记下此时的数值,测量后将零件的各测量数值减该数值即为零件尺寸。

(3)用游标卡尺测量标准量块,根据测量数值掌握游标卡尺量爪和工件接触的松紧程度。

(4)根据零件的图纸标注要求选择合适的游标卡尺和深度游标卡尺。

(5)若测量外圆,应在圆柱体不同截面、不同方向测量 3～5 次,记下读数;若测量长度,可沿圆周位置测量几次,记录读数。

(6)测量外圆时,可用不同分度值的计量器具测量,对结果进行比较,判断测量的准确性。

(7)剔除粗大误差的实测值后,将其余数据取平均值并和图纸要求比较,判断其合格性。

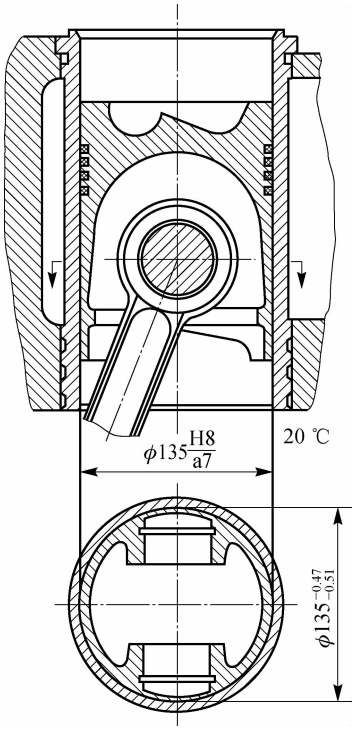


图 1-32　活塞和气缸装配图

2. 千分尺的使用

(1)将零件被测表面和千分尺的测量面擦干净。

(2)校对外径千分尺的零位。

(3)根据零件的图纸标注要求选择合适规格的千分尺。

(4)如果测量外圆,应在圆柱体不同截面、不同方向测量 3～5 次,记下读数;若测量长度,可沿圆周位置测量几次,记录读数。

(5)剔除粗大误差的实测值后,将其余数据取平均值并和图纸要求比较,判断其合格性。

实训二　判断活塞和气缸的配合类型并完成尺寸偏差设计

一、实训任务

图 1-32 所示为铝合金活塞和钢制气缸装配图,要求间隙为 0.1～0.2 mm,缸径为 $\phi135$ mm,气缸孔工作温度 $t_D=110$ ℃,活塞轴工作温度 $t_d=180$ ℃,活塞和气缸材料的线膨胀系数分别是 $\alpha_D=12\times10^{-6}\ K^{-1}$,$\alpha_d=24\times10^{-6}\ K^{-1}$。设计符

合尺寸精度要求的活塞轴和气缸孔尺寸偏差。

二、实训步骤

(1)确定基准制,优先选用基孔制。

(2)遵守工艺等价原则,确定孔、轴公差等级。按照公称尺寸小于或等于 500 mm 时,孔的公差等级比轴要低一级,选定气缸 8 级,活塞 7 级,符合工程精度要求:$T_f = X_{max} - X_{min} =$ (0.2－0.1)mm＝0.1 mm＝100 μm。

(3)计算由热变形引起的间隙变化量。

$$\Delta L = L[\alpha_1(t_1 - 20\ ℃) - \alpha_2(t_2 - 20\ ℃)]\text{mm}$$

(4)确定轴的基本偏差。根据 $X_{min} = EI - es$,$T_d = es - ei$,确定 es、ei,并将热补偿量考虑进去。考虑到 $t_d > t_D$,$\alpha_d > \alpha_D$,故对轴需要增加 ΔL。

实训三　分析新型对数螺线型面联接的配合性质并判断配合代号

一、实训任务

分析确定图 1-33 所示对数螺线型面轴(新型联接技术,《对数螺线轴 α＝16.284 在普通车床的应用》专利号:2011103119765.8)和图 1-34 所示对数螺线型面孔的无键联接配合性质,并查表确定配合代号。

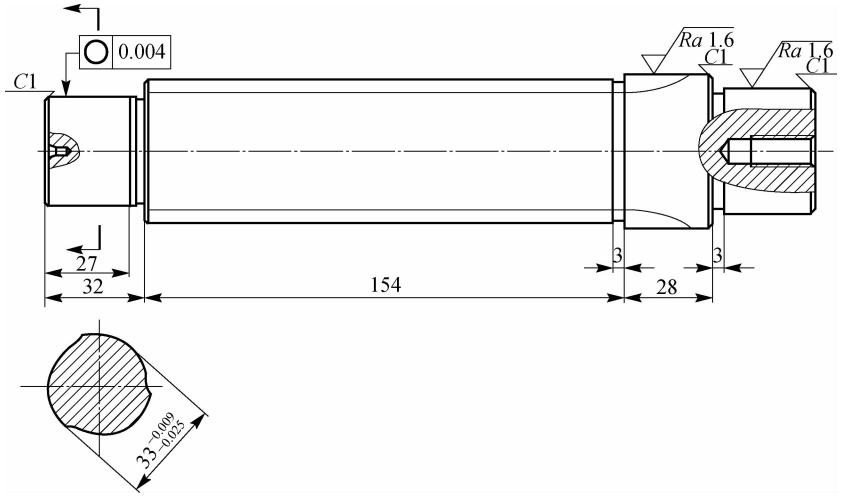


图 1-33　新型对数螺线型面联接轴

二、实训步骤

(1)读懂图 1-33 所示新型对数螺线型面联接轴的结构,确定其尺寸精度。

(2)读懂图 1-34 所示新型对数螺线型面联接孔的结构,确定其尺寸精度。

(3)分别根据对数螺线型面轴和对数螺线型面孔的尺寸精度查表确定公差代号,画出公

差带图，确定配合性质。

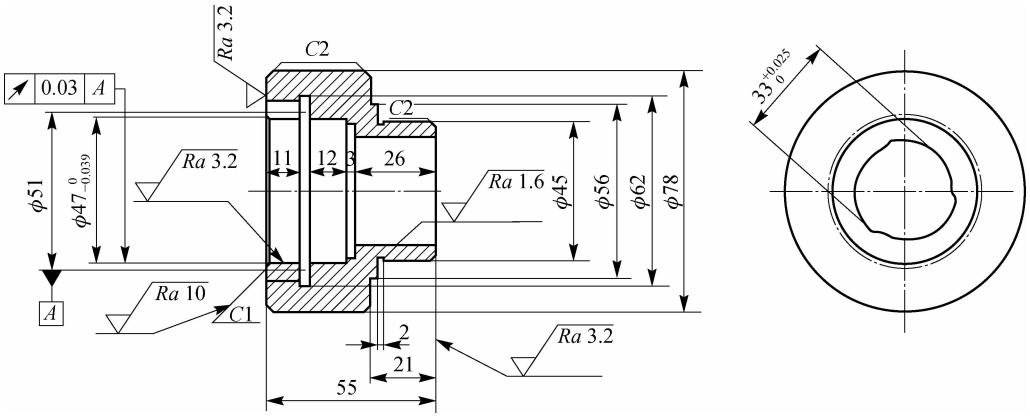


图 1-34　新型对数螺线型面联接孔

思考与练习

1. 零件的实际尺寸越接近其公称尺寸，是否表示它们的精度就越高？为什么？

2. 一批零件的尺寸公差为 0.025 mm，完工后经检测发现，这批零件的实际尺寸最大与最小之差为 0.020 mm。能否说明这批零件的尺寸都合格？为什么？

3. 按 ϕ50H7 加工一批零件，完工后经检测知道，最大的实际尺寸为 50.03 mm，最小的实际尺寸为 50.01 mm。这批零件的尺寸是否都合格？为什么？

4. 什么是一般公差？在图样中如何标注？

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

(1)ϕ20H8/f7。

(2)ϕ18H7/r6。

(3)ϕ50K7/h6。

(4)ϕ40H7/js6。

(5)ϕ30T7/h6。

(6)ϕ25H7/p6。

6. 按下列条件确定公差配合，并写出配合代号。

(1)$D(d)=\phi30$ mm，$X_{min}=107$ μm，$T_f=44$ μm。

(2)$D(d)=\phi50$ mm，$T_f=44$ μm，ei$=+9$ μm。

(3)$D(d)=\phi20$ mm，$Y_{max}=-48$ μm，ei$=+35$ μm，ES$=+21$ μm。

(4)$D(d)=\phi45$ mm，es$=0$，$T_D=25$ μm，$Y_{max}=-50$ μm，$Y_{min}=-9$ μm。

(5)$D(d)=\phi25$ mm，EI$=0$，$T_d=13$ μm，$X_{max}=+74$ μm，$X_{min}=+40$ μm。

(6)$D(d)=\phi15$ mm，EI$=0$，$T_d=11$ μm，$Y_{max}=-12$ μm，$X_{max}=+17$ μm。

7. 更正下列标注的错误。

(1)$\phi60^{-0.052}_{-0.033}$。

(2)$\phi30^{-0.021}_{0}$。

(3)$\phi50\ \dfrac{f7}{H8}$。

(4)$\phi 60H8^{+0.032}_{0}$。

8. 根据已经提供的数据填写表 1-11 的空白处。

表 1-11

序　　号	公称尺寸/mm	极限尺寸/mm	极限偏差/μm	公差值/μm	尺寸标注/mm
1	轴 $\phi 30$		es=－20 ei=－33		
2	轴 $\phi 40$				$\phi 40^{-0.009}_{-0.034}$
3	轴 $\phi 50$	50.015 49.990			
4	孔 $\phi 60$		ES= EI=0	60	
5	孔 $\phi 70$	70.015 69.985			
6	孔 $\phi 80$		ES= EI=＋36	35	

附　表　1

附表 1-1　标准公差数值表(GB/T 1800.1—2009)

公称尺寸/mm	标准公差等级																	
	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
	公差数值/μm											公差数值/mm						
≤3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.40	0.60	1.00	1.40
＞3～6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.20	1.80
＞6～10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.50	2.20
＞10～18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.80	2.70
＞18～30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.10	3.30
＞30～50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.50	3.90
＞50～80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.00	4.60
＞80～120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.50	5.40
＞120～180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.00	6.30
＞180～250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.60	7.20
＞250～315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.20	8.10
＞315～400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.70	8.90
＞400～500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.30	9.70

注：1. 公称尺寸大于 500 mm 的 IT1～IT5 的标准公差数值为试行的。

2. 公称尺寸小于或等于 1 mm 时，无 IT14～IT18。

附表 1-2　尺寸至 500 mm 轴的基本偏差数值表(GB/T 1800.1—2009)

单位:μm

公称尺寸/mm		基本偏差数值																													
		上极限偏差 es												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数值	−2	−4	−6	0	0	2	4	6	10	14		18		20		26	32	40	60
3	6	−270	−140	−70	−46	−30	−20	−14	−10	−6	−4	0		−2	−4		1	0	4	8	12	15	19		23		28		35	42	50	80
6	10	−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	14	−290	−150	−95		−50	−30		−16		−6	0		−3	−6		1	0	7	12	18	23	28	—	33		40		50	64	90	130
14	18																									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																							41	48	55	64	75	88	118	160	218
30	40	−310	−170	−120	—	−80	−50		−25		−9	0		−5	−10		2	0	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
40	50	−320	−180	−130																				54	70	81	97	114	136	180	242	325
50	65	−340	−190	−140	—	−100	−60		−30		−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																		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	—	−145	−85		−43		−14	0		−11	−18		3	0	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
140	160	−520	−280	−210																		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	−230	—	−147	−100		−50		−15	0		−13	−21		4	0	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1 150
200	225	−740	−380	−260																		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	—	−190	−110		−56		−17	0		−16	−26		4	0	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1 200	1 550
280	315	−1 050	−540	−330																		98	170	240	350	425	525	650	790	1 000	1 300	1 700
315	355	−1 200	−600	−360	—	−210	−125		−62		−18	0		−18	−28		4	0	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1 150	1 500	1 900
355	400	−1 350	−680	−400																		114	208	294	435	530	660	820	1 000	1 300	1 650	2 100
400	450	−1 500	−760	−440	—	−230	−135		−68		−20	0		−20	−32		5	0	23	40	68	126	232	330	490	595	740	920	1 100	1 450	1 850	2 400
450	500	−1 650	−840	−480																		132	252	360	540	660	820	1 000	1 250	1 600	2 100	2 600

注:1. 公称尺寸小于或等于 1 mm 时,基本偏差 a 和 b 均不采用。

2. 公差带 js7～js11,若 IT_n 数值是奇数,则取偏差$=\pm\frac{IT_n-1}{2}$。

附表 1-3　尺寸至 500 mm 孔的基本偏差数值(GB/T 1800.1—2009)

单位：μm

公称尺寸/mm		基本偏差数值																																		Δ值					
		下极限偏差 EI												上极限偏差 ES																											
大于	至	所有标准公差等级												IT6	IT7	IT8	≤IT8	>IT8	≤IT8	>IT8	≤IT8	>IT8	≤IT7	标准公差等级大于 IT7												标准公差等级					
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J			K		M		N		P～ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
—	3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	偏差=±IT_n/2，式中，IT_n是IT数值	2	4	6	0	0	−2	−2	−4	−4	在大于IT7的相应数值上增加一个Δ值	−6	−10	−14		−18		−20		−26	−32	−40	−60	0	0	0	0	0	0
3	6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0		5	6	10	−1+Δ		−4+Δ	−4	−8+Δ	0		−12	−15	−19		−23		−28		−35	−42	−50	−80	1	1.5	1	3	4	6
6	10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0		5	8	12	−1+Δ		−6+Δ	−6	−10+Δ	0		−15	−19	−23		−28		−34		−42	−52	−67	−97	1	1.5	2	3	6	7
10	14	290	150	95		50	32		16		6	0		6	10	15	−1+Δ		−7+Δ	−7	−12+Δ	0		−18	−23	−28		−33		−40		−50	−64	−90	−130	1	2	3	3	7	9
14	18																												−39	−45		−60	−77	−108	−150						
18	24	300	160	110		65	40		20		7	0		8	12	20	−2+Δ		−8+Δ	−8	−15+Δ	0		−22	−28	−35		−41	−47	−54	−63	−73	−98	−136	−188	1.5	2	3	4	8	12
24	30																										−41	−48	−55	−64	−75	−88	−118	−160	−218						
30	40	310	170	120		80	50		25		9	0		10	14	24	−2+Δ		−9+Δ	−9	−17+Δ	0		−26	−34	−43	−48	−60	−68	−80	−94	−112	−148	−200	−274	1.5	3	4	5	9	14
40	50	320	180	130																							−54	−70	−81	−97	−114	−136	−180	−242	−325						
50	65	340	190	140		100	60		30		10	0		13	18	28	−2+Δ		−11+Δ	−11	−20+Δ	0		−32	−41	−53	−66	−87	−102	−122	−144	−172	−226	−300	−405	2	3	5	6	11	16
65	80	360	200	150																					−43	−59	−75	−102	−120	−146	−174	−210	−274	−360	−480						
80	100	380	220	170		120	72		36		12	0		16	22	34	−3+Δ		−13+Δ	−13	−23+Δ	0		−37	−51	−71	−91	−124	−146	−178	−214	−258	−335	−445	−585	2	4	5	7	13	19
100	120	410	240	180																					−54	−79	−104	−144	−172	−210	−254	−310	−400	−525	−690						
120	140	460	260	200		145	85		43		14	0		18	26	41	−3+Δ		−15+Δ	−15	−27+Δ	0		−43	−63	−92	−122	−170	−202	−248	−300	−365	−470	−620	−800	3	4	6	7	15	23
140	160	520	280	210																					−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		170	100		50		15	0		22	30	47	−4+Δ		−17+Δ	−17	−31+Δ	0		−50	−77	−122	−166	−236	−284	−350	−425	−520	−670	−880	−1 150	3	4	6	9	17	26
200	225	740	380	260																					−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		190	110		56		17	0		25	36	55	−4+Δ		−20+Δ	−20	−34+Δ	0		−56	−94	−158	−218	−315	−385	−475	−580	−710	−920	−1 200	−1 550	4	4	7	9	20	29
280	315	1 050	540	330																					−98	−170	−240	−350	−425	−525	−650	−790	−1 000	−1 300	−1 700						
315	355	1 200	600	360		210	125		62		18	0		29	39	60	−4+Δ		−21+Δ	−21	−37+Δ	0		−62	−108	−190	−268	−390	−475	−590	−730	−900	−1 150	−1 500	−1 900	4	5	7	11	21	32
355	400	1 350	680	400																					−114	−208	−294	−435	−530	−660	−820	−1 000	−1 300	−1 650	−2 100						
400	450	1 500	760	440		230	135		68		20	0		33	43	66	−5+Δ		−23+Δ	−23	−40+Δ	0		−68	−126	−232	−330	−490	−595	−740	−920	−1 100	−1 450	−1 850	−2 400	5	5	7	13	23	34
450	500	1 650	840	480																					−132	−252	−360	−540	−660	−820	−1 000	−1 250	−1 600	−2 100	−2 600						

注：1. 公称尺寸小于或等于 1 mm 时，基本偏差 A 和 B 及大于 IT8 的 N 均不采用。

2. 公差带 JS7～JS11，若 IT_n 数值是奇数，则取偏差＝±(IT_n－1)/2。

3. 对小于或等于 IT8 的 K、M、N 和小于或等于 IT7 的 P～ZC，所需Δ值从表内右侧选取。例如，18～30 mm 段的 K7，Δ＝8 μm，所以 ES＝(－2＋8) μm＝＋6 μm；18～30 mm 段的 S6，Δ＝4 μm，所以 ES＝(－35＋4) μm＝－31 μm。

4. 特殊情况：250～315 mm 段的 M6，ES＝－9 μm（代替－11 μm）。

附表 1-4　线性尺寸的极限偏差数值(GB/T 1804—2000)　　单位:mm

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

附表 1-5　倒圆角半径和倒角高度尺寸的极限偏差数值(GB/T 1804—2000)　单位:mm

公差等级	公称尺寸分段			
	0.5～3	>3～6	>6～30	>30
精密 f	±0.2	±0.5	±1	±2
中等 m				
粗糙 c	±0.4	±1	±2	±4
最粗 v				

模块二
测量技术基础

知识目标

掌握测量技术的基本知识；

掌握量块按“等”、“级”使用的方法及计量器具和测量方法分类；

了解常用长度量具的基本结构，掌握其使用方法；

了解新技术在长度计量中的应用，掌握三坐标测量机的功能；

熟练掌握光滑工件尺寸验收极限的确定和量具的选择方法。

技能目标

会用量块校对测量工具；

能熟练使用内径千分尺和量块。

模块导读

在生产和科学实验中，经常遇见各种量的测量。为保证测量过程中标准量的统一，应采用统一的计量单位。国际单位制是我国法定计量单位的基础，一切属于国际单位的单位都是我国法定计量单位。

相关知识

学习情境一　测量技术概述

自然界中存在的各种物理量的特性都反映为“量”和“质”两个方面，而任何“质”通常都反映为一定的“量”，测量的任务就是确定物理量的数量特征。因此，测量成为认识和分析物理量的基本方法。从科学技术的发展看，各种物理量及其相互关系的定理和公式大多是通过测量而发现或证实的。测量是进行科学实验的基本手段，离开了精确的测量，科学实验就得不到正确的结论，许多学科领域的突破，也是由于测量技术的提高才得以实现。另一方面，其他学科的发展，尤其是新技术的发展，也为探求新的测量原理和先进的测量方法创造了条件，促进了测量技术的发展。

在工业生产中，测量技术占有非常重要的地位，它是进行质量管理的重要手段，是贯彻质量标准的技术保证。

一、测量技术的概念

测量就是将被测量与具有计量单位的标准量进行比较，从而确定被测量量值的过程，而测量结果则以带有计量单位的数值表示。为了获得正确、有意义的测量结果，必须有统一、可靠的计量单位和体现计量单位的标准量；必须针对测量对象的特征与要求，选择适用的测量方法与计量器具；必须保证测量精度符合要求，即保证测量所得的量值与被测量的真值的差异在允许范围内。简而言之，一个完整的测量过程应包括测量对象、计量单位、测量方法与计量器具以及测量精度等方面。

在机械制造中，测量对象主要是几何量，包括长度、角度、表面粗糙度、形状与位置误差以及螺纹、齿轮等较复杂零件的几何参数等。

二、长度基准与尺寸传递

在法定计量单位制中，长度的基本单位是 m；在机械制造中，常用的单位为 mm 和 μm；在精密测量时，多以 μm 为单位。

米的长度原以金属实物国际米原器上的两刻线间的距离为基准。虽然米原器所用的材料和结构的稳定性都很好，但不能保证其量值长期不变，同时又不便于复制。

随着激光稳频技术的发展，从 1973 年起，国际上就考虑采用稳定激光的波长作为长度基准，并在 1983 年第十七届国际计量大会上正式通过米的定义："米是光在真空中在 1/299 792 458 s 的时间间隔内的行程的长度。"

为了保证长度测量的量值统一，还必须建立从基准到生产中使用的各种计量器具，直至零件的长度量值传递系统，如图 2-1 所示。

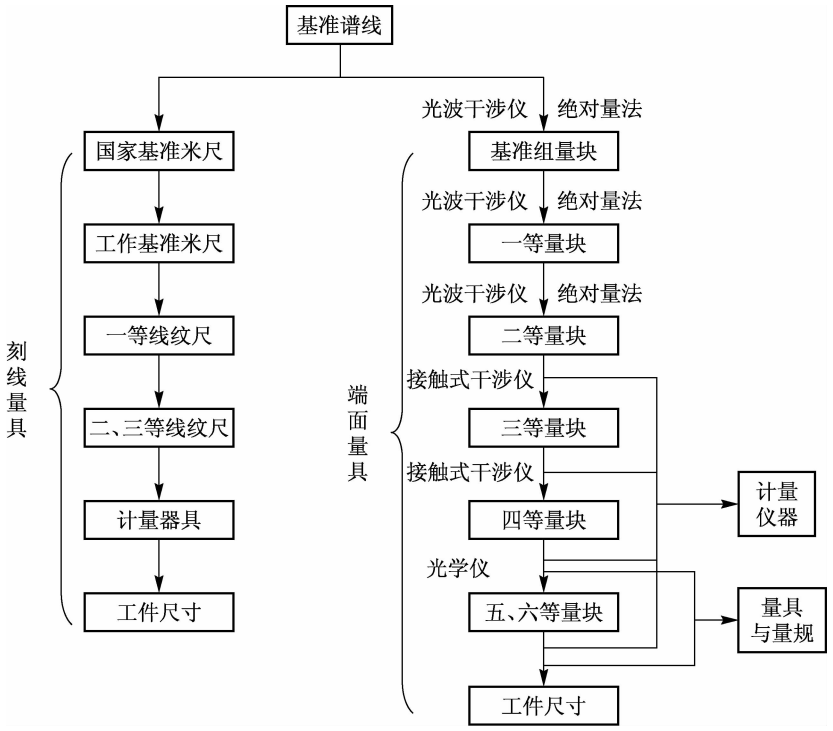


图 2-1　长度量值传递系统

从图 2-1 可以看出，长度量值分两个平行的系统向下传递，一个是端面量具（量块）系统，另一个是刻线量具（线纹尺）系统。因此，量块与线纹尺都是量值传递的媒介，其中量块的应用更广。

三、量块的基本知识

量块是一种没有刻度的平面平行端面量具，用膨胀系数小、不易变形、耐磨性好的材料制成，如铬锰钢。量块的形状有长方体和圆柱体两种，常用的是长方体量块，如图 2-2 所示。量块是一种重要的标准器，应用广泛，除了在长度量值传递中起重要作用外，还用来调整仪器、机床或直接检验工件。

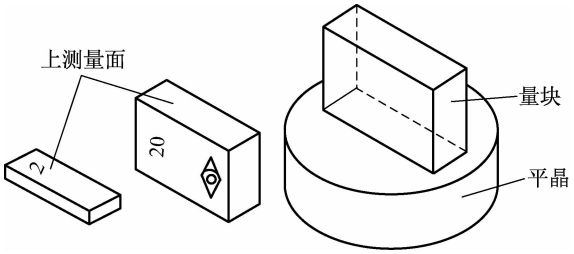


图 2-2　量块

1. 量块的精度

量块有两个平行的测量面，这两个测量面的平面度、表面粗糙度和相互平行度等要求都很高。量块一个测量面上的一点至与此量块另一测量面相研合的辅助体表面之间的垂直距离，称为量块长度。量块上标出的尺寸是量块长度的标称值，即标称长度。

为满足不同应用场合对量块精度的要求，量块按其制造精度（如量块长度的极限偏差和长度变动量的允许值等）分为 00、0、1、2、3 级。其中 00 级精度最高，其余各级精度依次降低。另外，还有一个校准级 K 级。

量块又按其检定精度（即中心长度的测量极限误差）和平面平行度允许偏差分为 1、2、3、4、5、6 等。其中 1 等精度最高，其余各等依次降低。

量块按“级”使用时，以其标称尺寸作为工作尺寸，该尺寸内包含了量块的制造误差；按“等”使用时，则应以量块经检定后所给出的实际中心长度作为工作尺寸，该尺寸内仅包含检定时的测量误差，而不包含量块的制造误差。因此，在精密测量中，量块按“等”使用比按“级”使用更经济合理。

但应注意，由于受平面平行度允许偏差等的限制，并不是任意级别的量块都可以检定为高等别的量块。

2. 量块的黏合性及组合

量块的测量面十分平整和光洁，当用较小的压力使两块量块紧贴着做切向相对滑动时，它们便黏合在一起，量块的这种特性称为黏合性。利用黏合性可将若干个量块组成量块组，而构成所需要的尺寸。为了能够在一定范围内组成各种尺寸，一套量块中的尺寸间隔需要按一定规律排列。为了减少量块组合的累积误差，应尽量减少组合量块的块数，一般每个量块组的块数为 2～5 块。组合时，可从消去尺寸的最小尾数开始，逐一选取。例如，从 83 块一套的量块中选取尺寸 28.285 mm 的量块组，则可分别选用 1.005 mm、1.28 mm、6.00 mm

和20.00 mm这四个量块。

学习情境二　计量器具与测量方法

一、计量器具的分类

动画
游标卡尺的使用

测量仪器和测量工具可统称为计量器具，按计量器具的原理、结构特点及用途可分为基准量具、通用计量器具、极限量规和检验夹具。

1. 基准量具

用来校对或调整计量器具，或作为标准尺寸进行相对测量的量具称为基准量具。它可分为定值基准量具（如量块、角度块等）和变值基准量具（如标准线纹尺等）。

视频
内径千分尺与深度千分尺

2. 通用计量器具

将被测量转换成可直接观测的指示值或等效信息的测量工具，称为通用计量器具。按其工作原理，通用计量器具分以下几种：

资料
通用计量器具

(1)游标类量具。游标类量具结构简单，使用方便，能满足一般精度的测量要求，是机械制造业中应用十分广泛的量具，可测量内、外尺寸，高度，深度等，如游标卡尺、游标高度尺和游标量角器等。

(2)微动螺旋类量具。微动螺旋类量具是指应用螺旋测微原理制成的量具，如内径千分尺、外径千分尺、公法线千分尺等。

(3)机械类量具。机械类量具是指用机械传动方法实现信息转换的量仪，如杠杆齿轮比较仪、扭簧比较仪等。

(4)光学类量具。光学类量具是指用光学方法实现信息转换的仪器，如光学计、投影仪、光学比较仪、光学测角仪、激光干涉仪等。

(5)电动量具。电动量具是指将原始信号转换为电工学参数的量仪，如电感比较仪、电动轮廓仪、容栅测位仪等。

(6)气动量具。气动量具是指通过气动系统的流量或压力变化实现原始信号转换的仪器，如水柱式气动量仪、浮标式气动量仪等。

(7)微机化量具。微机化量具是指在微机系统控制下，可实现测量数据的自动采集、处理、显示和打印的机电一体化量仪。如微机控制的数显万能测长仪、电脑表面粗糙度测量仪和三坐标测量机等。

3. 极限量规

极限量规是一种没有刻度（线）的用于检验被测量是否处于给定的极限偏差之内的专用检验工具，如光滑极限量规、螺纹量规、位置量规等。

4. 检验夹具

检验夹具是一种专用的检验工具，它在和相应的计量器具配套使用时，可方便地检验出被测件的各项参数。如检验滚动轴承用的各种检验夹具可同时测出轴承套圈的尺寸和径向跳动或端面跳动等。

二、计量器具的基本度量指标

度量指标是表征计量器具技术性能的重要标志，也是选择计量器具的依据。通常对计量器具规定如下几个度量指标。

1. 分度值

计量器具刻度尺或刻度盘上相邻两刻线所代表的量值之差称为分度值（又称为刻度值），用 i 来表示，单位为 mm。例如，千分尺微分筒上的分度值 $i=0.01$ mm。分度值是量仪能指示出被测件尺寸的最小单位。数字显示仪器的分度值称为分辨率，它表示最末一位数字间隔所代表的量值之差。一般说来，量仪的分度值愈小，其精度愈高。

2. 刻度间距

量仪刻度尺或刻度盘上两相邻刻线中心的距离称为刻度间距，用 a 来表示，单位为 mm。通常 a 值取1～2.5 mm。

3. 示值范围

计量器具所指示或显示的最低值到最高值的范围称为示值范围。例如，机械比较仪的示值范围为－100～＋100 μm。

4. 测量范围

在允许误差限度内，计量器具所能测量的最低值到最高值的范围称为测量范围。例如，某一千分尺的测量范围为 25～50 mm。

5. 灵敏度

计量器具示值装置对被测量变化的反应能力称为灵敏度。灵敏度也称为放大比，它与分度值 i、刻度间距 a 的关系为

$$k=\frac{a}{i} \tag{2-1}$$

式中，k 为灵敏度。

6. 灵敏限

能引起计量器具示值可觉察变化的被测量的最小变化值称为灵敏限。越是精密的仪器，其灵敏限越小。

7. 测量力

测量过程中，计量器具与被测表面之间的接触力称为测量力。在接触测量中，希望有一定的恒定测量力。太大的测量力会使零件产生变形，测量力不恒定会使示值不稳定。

8. 示值误差

计量器具示值与被测量真值之间的差值称为示值误差。计量器具的示值误差允许值可从其使用说明书或检定规程中查得。

9. 示值变动量

在测量条件不变的情况下，对同一被测量进行多次（一般为 5～10 次）重复测量读数时，其读数的最大变动量称为示值变动量。

10. 回程误差

在相同测量条件下，对同一被测量进行往返两个方向测量时，测量仪的示值变化量称为回程误差，也称为滞后误差。

11. 修正值

为清除或减少计量器具的系统误差，用代数法加到测量结果上的值称为修正值。测量仪某一刻度上的修正值等于该刻度的绝对误差的负值。例如，已知某千分尺的零位误差为－0.01 mm，则其零位的修正值为＋0.01 mm。若测量时千分尺读数为 20.04 mm，则测量结果为[20.04＋(＋0.01)] mm＝20.05 mm。

12. 不确定度

在规定条件下测量时，由于测量误差的存在，对测量值不能肯定的程度称为不确定度。计量器具的不确定度是一项综合精度指标，它包括测量仪的示值误差、示值变动量、回程误差、灵敏限以及调整标准件误差等，不确定度用误差界限表示。例如，分度值为 0.01 mm 的外径千分尺，在车间条件下测量一个尺寸为 50 mm 的零件时，其不确定度为±0.004 mm，这说明测量结果与被测量真值之间的差值最大不会大于 0.004 mm，最小不会小于－0.004 mm。

三、测量方法的分类

测量方法可按各种不同的形式进行分类。

1. 按实测量是否被测量分

按实测量是否被测量分为直接测量和间接测量。

直接测量是指被测量的量值能直接从测量器具上获得的测量方法。直接测量又可分为绝对测量和相对测量。能由仪器读数装置上读出被测量的整个量值的方法称为绝对测量。例如，用游标卡尺、千分尺测量零件的直径。若从读数装置上只能读出被测量相对于某一标准量的偏差值，这种测量方法称为相对(比较)测量。由于标准量是已知的，因此，被测量的整个量值等于仪器所指示的偏差与标准量的代数和。例如，用量块调整比较仪后测量零件的直径。

间接测量是指通过测量与被测量有已知函数关系的其他量而得到该被测量量值的测量方法。例如，用正弦规测量锥度偏差。

2. 按零件上同时被测量的多少分

按零件上同时被测量的多少分为综合测量和单项测量。

综合测量是指同时测量工件上的几个有关参数，综合地判断工件是否合格。其目的在于保证被测工件在规定的极限轮廓内，达到互换性的要求。例如，用花键塞规检验花键孔，用齿轮动态整体误差检查仪检验齿轮。

单项测量是指分别测量工件的各个参数。例如，分别测量螺纹的螺距或半角等。

3. 按被测工件表面与测量器具之间是否有机械作用的测量力分

按被测工件表面与测量器具之间是否有机械作用的测量力可分为接触测量和非接触测量。

接触测量是指仪器的测量头与零件被测表面直接接触，并有机械作用的测量力存在。

非接触测量是指仪器的测量头与零件被测表面不接触，没有机械作用的测量力。例如，

光投影测量、气动量仪测量。非接触测量不存在测量力对测量结果的影响，也避免了测量头的磨损或划伤工件表面。

学习情境三　测量误差及数据处理

一、测量误差的概念

资料
测量误差和错误的区别

在测量实践中，对被测量的任何一次测量，不论所用仪器和测量方法如何合理可靠，测量人员如何精心操作，所测得的值也只能是被测量真值的近似值。即使对被测量重复测量若干次，所获得的值与真值也不完全相同，其间总会有一个差值，被测量的测量值与真值之差称为测量误差，即

$$\Delta = X - X_0 \tag{2-2}$$

式中，Δ 为测量误差(mm)；X 为测量值(mm)；X_0 为被测量的真值(mm)。

由于真值 X_0 是未知的，因此无法得出测量误差 Δ，但往往可以用实验方法估算出测量误差可能达到的最大界限值 $\pm\Delta_{\lim}$，即

$$-\Delta_{\lim} < X - X_0 < +\Delta_{\lim}$$

由此可以估算出真值 X_0 在 $X\pm\Delta_{\lim}$ 内。

在尺寸大小相同的条件下，测量误差的绝对值越大，测量值 X 偏离真值越远，测量精度越低；反之，测量精度越高。

在测量工作中，根据实际需要通常有两种表达测量误差的方法。一种是绝对误差表示法，即式(2-2)所示；另一种是相对误差表示法，即相对误差 ε 为

$$\varepsilon = \left|\frac{X - X_0}{X_0}\right| = \left|\frac{\Delta}{X_0}\right| \approx \left|\frac{\Delta}{X}\right| \tag{2-3}$$

一般多采用绝对误差表示法测量误差。但在比较不同物理量或被测量大小不同时，则采用相对误差的形式表示。另外，在某些表示物理量的计量仪器(如电压表、电功率表)和量程可变的计量仪器(如测量表面粗糙度的电动轮廓仪)中，常采用相对误差表示法。例如，两尺寸及其测量误差界限值分别为 20±0.001 mm 和 500±0.001 mm，要比较两者的测量精度，用绝对误差是不合理的，只能用相对误差。两尺寸中 20±0.001 mm 的相对误差为 $\varepsilon_1 = 5\times10^{-5}$，500±0.001 mm 的相对误差为 $\varepsilon_2 = 2\times10^{-6}$，可见后者测量精度比前者高。

二、测量误差的来源

由于测量误差的存在，测量值只能近似地反映被测量的大小。为了尽量减小测量误差，必须分析产生测量误差的原因，以便设法减少各误差来源的影响，提高测量精度。在实际测量中，测量误差主要由下列因素引起。

1. 基准量具的误差

作为测量用的基准量具，如立式光学比较仪所用的量块，双管显微镜确定分度值的标准刻度尺，齿轮检验中所用的标准齿轮，它们本身都不可避免地存在一定的误差，这些误差都直接反映到测量结果中，构成测量误差的一部分。为了减少基准量具误差的影响及考虑到基准量具所需的价格，在选用基准量具时，一般要求基准量具误差约为测量极限误差的 1/10～1/3。

在相对测量中，需用基准量具调整仪器的零点，因此存在基准量具误差。在绝对测量中，有的基准量具已是仪器本身的构成部分，例如，投影仪的测微丝杠，万能工具显微镜的标准刻度尺，光学分度头的刻度盘等，此时基准量具误差已综合在仪器误差中，一般不再单独列出。

2. 计量器具的误差

计量器具的误差产生的原因很多，有设计的原理误差，制造过程中的加工、装调、安装误差，使用过程中的运行误差等。

1)原理误差

在设计计量器具时，经常采用近似机构代替理论机构实现所需的运动，或采用等分刻度的标尺代替理论上要求非等分刻度的标尺，这种情况引起的误差称为原理误差。

2)制造和装调误差

计量器具由许多零部件构成，它们在制造、装配和调整中都不可避免地存在误差，如读数机构标尺的刻划误差，分度盘的分度误差和装配时的偏心误差，导轨的直线度误差，光学系统的放大倍率误差及像差等。

3. 方法误差

由于所用测量方法不当或因对被测对象认识不全面而引起的误差，都是方法误差。例如，用粗略的近似值求解方程的系数，工件安装定位不正确，只在某一截面上测量具有形状误差的圆柱体的直径等。

4. 测量力引起的误差

在接触测量中，为了保证工件与计量器具的测头可靠地接触，测头与工件之间要有一定的测量力。这样，测头和工件表面就会产生压陷(弹性接触变形)而产生测量误差。

在相对测量中，当被测件的材料、表面质量及形状与基准件相同或近似时，若测量力相同或变化不大，则对误差无影响或影响很小，可忽略不计。在绝对测量中，测量力一般会引起测量误差，必要时，可以通过分析和计算对测量力引起的误差进行修正。

在测量过程中，控制测量力的大小并保持稳定，合理选择测头的形状和尺寸，适当加大接触面积，都可减小压陷量。

5. 读数误差

常见的读数误差有瞄准误差、斜视误差和估读误差。测量时，常要判断指针与刻度盘、刻线与被测工件影像的重合状况等。人眼认为重合，实际上没有重合的情况称为瞄准误差。瞄准误差与刻线宽度、瞄准方式、仪器鉴别率、被测工件形状、人眼分辨力及照明条件等因素有关。斜视误差与测量者主观因素及读数装置的结构有关。在指针式指示表头和光学仪器像面与分划板面不重合时，易产生此种误差。

6. 环境误差

测量时，对环境条件首要的要求是温度条件。其他条件，如湿度、气压、振动、灰尘等，则根据测量精度要求而定。

在长度测量中，规定的环境条件标准温度为 20 ℃。根据实际的可能和需要，通常给出一定的公差范围，如 20±5 ℃、20±2 ℃、20±1 ℃等。温度要求越高，因温度而引起的误差越小。实际测量时，被测件的温度和计量器具(基准件)的温度与标准温度均有偏差，被测件与计量器具(基准件)的材料不同时线膨胀系数不同，这些都将引起测量误差。由温度引起的测量误差 ΔL 为

$$\Delta L = L[\alpha_{t_1}(t_1 - 20) - \alpha_{t_2}(t_2 - 20)] \tag{2-4}$$

式中，L 为被测件的长度(mm)；t_1 为被测件的实际温度(℃)；t_2 为基准件的实际温度(℃)；α_{t_1} 为被测件的线膨胀系数(℃$^{-1}$)；α_{t_2} 为基准件的线膨胀系数(℃$^{-1}$)，常用材料的线膨胀系数见表 2-1。

表 2-1　常用材料的线膨胀系数　　单位：℃$^{-1}$

材料 \ 温度范围	20～100 ℃	20～200 ℃	20～300 ℃	20～400 ℃	20～600 ℃	20～700 ℃
碳钢	10.6～12.2	11.3～13	12.0～13.5	12.9～13.9	12.3～13.5	12.7～15
高速钢	—	—	10.2～12.6	—	—	—
铬钢	11.2	11.8	12.4	13	13.6	—
40CrSi	11.7	—	—	—	—	—
30CrMnSiA	11	—	—	—	—	—
3Cr13	10.2	11.1	11.6	11.9	12.3	12.8
1Cr18Ni9Ti	16.6	17	17.2	17.5	17.9	18.6
铸铁	8.7～11.1	8.5～11.6	10.1～12.2	11.5～12.7	11.5～12.7	12.9～13.2

测量误差产生的原因除上述因素外，测量人员的技术水平、工作状态也会影响测量误差。

三、测量误差的种类、特性及随机误差的处理

1. 测量误差的种类和特性

产生测量误差的原因很多，为了科学地分析和估计测量误差，需要按性质对其进行分类。通常可分为系统误差、随机误差和粗大误差 3 类。

1)系统误差

在相同条件下，多次测量同一被测量时，误差的绝对值与符号保持恒定，或在条件改变时，按某一确定规律变化的误差即系统误差。系统误差有定值与变值两种。

在测量时，对每次测量值的影响都是相同的称为定值系统误差；在测量时，对每次测量值的影响是按一定规律变化的称为变值系统误差。

从理论上讲，系统误差是可以消除的，特别是对多数定值系统误差，可采用实验或分析方法掌握其变化规律，从测量结果中加以修正。例如，0～25 mm 千分尺两测量面合拢时读数不对准零位，而是对准+0.005 mm，用此千分尺测量零件时，每个测量值都大 0.005 mm。此时，可用修正法减去 0.005 mm 对每个测量值进行修正。在实际测量中，系统误差难以全部消除，特别是消除变值系统误差更为困难。

2)随机误差

在相同条件下多次重复测量同一测量值时，误差的数值和符号以不可预计的方式变化，此类误差称为随机误差。其特点是：就任意一次测量而言，误差的数值和符号均无确定的规律，但是，如果进行多次重复测量，则其误差作为整体来看是有一定规律的。

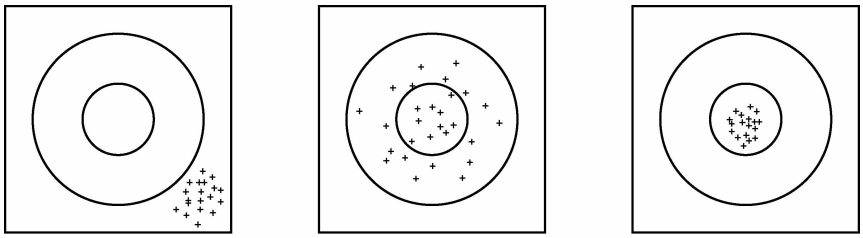
随机误差由一些未被掌握和不便控制的因素造成。例如，计量器具中配合的不稳定性，零件油膜不均匀，测量力和摩擦力的变化，温度波动等。

3)粗大误差

粗大误差是指明显歪曲测量结果的误差,一般由测量人员主观因素造成。例如,读错数值、记录错误、操作违规等,所以也称为过失误差。在正确的测量结果中,不能包含粗大误差。

应该指出,系统误差和随机误差在一定条件下可以互相转化。例如,在测量中多次进行仪器零点的调整,误差表现为随机误差;在一次调整后测量一批工件,则表现为系统误差。

系统误差与随机误差的区别可用打靶来说明。如图 2-3(a)所示,弹着点分散范围小,但偏离靶心,说明随机误差小而系统误差大;如图 2-3(b)所示,弹着点集中靶心,但分散范围大,说明系统误差小而随机误差大;如图 2-3(c)所示,弹着点集中靶心,且分散范围小,说明系统误差与随机误差都很小。



(a) (b) (c)

图 2-3 系统误差与随机误差的区别

对系统误差应设法消除或减小其对测量结果的影响,对随机误差需经计算确定其对测量结果的影响,对粗大误差应剔除。

2. 随机误差的处理

1)随机误差的分布规律及特性

根据大量测量实践的统计分析,多数随机误差的分布规律具有以下几个特性。

(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,都集中分布在其测量值的平均值附近,图形呈单峰状。

(2)对称性。绝对值相等,符号相反的误差出现的次数大致相等,图形近似对称分布。

(3)有界性。在一定的测量条件下随机误差的绝对值不会超出一定的界限,即不会出现绝对值太大的随机误差。

(4)抵偿性。在同一条件下对同一被测值进行重复测量,其误差的算术平均值随着测量次数的增加而趋于零。这一特性是由对称性推导出的,因为绝对值相等的正误差和负误差可以互相抵消,也可称为相消性。

如果将测量次数无限增大,分组间隔无限减小,则统计分布曲线就趋近一条光滑曲线,为正态分布曲线,如图 2-4 所示。大量实验表明,多数随机误差都符合正态分布规律。正态分布曲线的数学表达式为

$$y=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}\right) \tag{2-5}$$

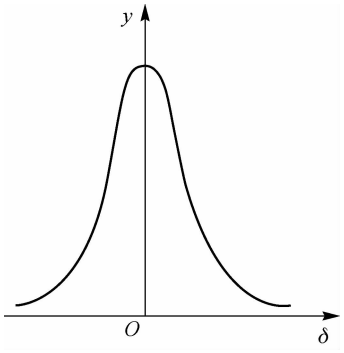


图 2-4 正态分布曲线

式中,y 为随机误差的概率密度;δ 为随机误差,$\delta=X-X_0$;

σ 为标准偏差。

2)随机误差的评定指标

在假定无系统误差的相同测量条件下，往往以算术平均值作为多次测量所得的一系列测量值中的真值，以标准偏差作为真值的分散程度和极限误差的评定指标。

(1)算术平均值$\overline{X}$。算术平均值决定了正态分布曲线的位置和中心。在有限次测量中，平均值最接近真值 X_0。所以，以算术平均值作为测量结果是可靠的，其公式为

$$\overline{X}=\frac{X_1+X_2+\cdots+X_n}{n}=\frac{\sum_{i=1}^{n}X_i}{n} \tag{2-6}$$

式中，X_1、X_2、…、X_n 为第 1～n 次测量的测量值(mm)；n 为测量次数。

(2)标准偏差 σ。算术平均值能表示测量结果，但不能表示各测量值的精度。各测量值的分散程度(精度)需用标准偏差 σ 表示。

标准偏差即随机误差平方和的平均值的算术平方根。即

$$\sigma=\sqrt{\frac{\delta_1^2+\delta_2^2+\cdots+\delta_n^2}{n}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\delta_i^2}{n}} \tag{2-7}$$

标准偏差决定了曲线的形状和分散程度，表示测量方法精度的高低(或仪器精度的高低)。由式(2-5)可知，不论 δ 是正值或负值，e 的指数恒为负值。当 δ 增大时，y 值变小；当 δ 减小时，y 值增大。当 $\delta=0$ 时，y 达到最大值 $y_{max}=1/(\sigma\sqrt{2\pi})$。此时 σ 值越小，y_{max}越大，曲线越陡，说明小误差出现的概率越大，即随机误差的分布越集中(测得的尺寸相近)，测量方法的精度越高。反之，σ 值越大，y_{max}越小，曲线越平直，说明小误差出现的概率越小，即随机误差的分布越分散(测得的尺寸不同)，测量方法的精度越低，如图 2-5 所示。

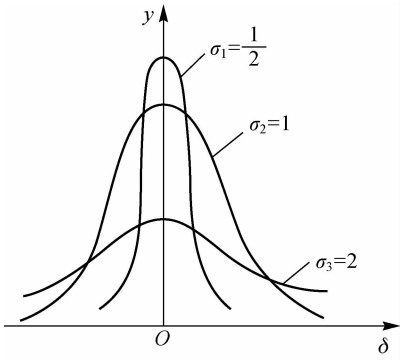


图 2-5　标准偏差对随机误差的分布特性的影响

在具体生产条件下，往往只取一列测量值中的一个作为测量结果，虽然测量条件相同，但是测量列中每个实测值一般都不相同，它们围绕着该测量列的算术平均值在一定范围内分散，这个分散程度说明了单次测量值的不可靠性。在等精度(测量条件不变)测量列中，单次测量的标准偏差 σ'可由式(2-10)表示。由于式(2-7)中的真差 $\delta_i=X-X_0$，实际上在有限次测量中并不能确定真值 X_0，所以真差也不能求出。因此，以算术平均值 $\overline{X}$ 代替真值 X_0，用剩余误差(每次测量所得的量值与所有测量值的算术平均值的代数差，称为剩余误差，也称为残差)V_i 来代替真差 δ_i

$$V_i = X_i - \overline{X} \tag{2-8}$$

则单次测量的标准偏差 σ' 可表示为

$$\sigma' = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + \cdots + V_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i^2}{n-1}} \tag{2-9}$$

式(2-9)就是由剩余误差求标准偏差的贝塞尔(Bessel)公式,即当 n 为有限次时,用 σ' 作为 σ 的估计值。实际测量中,由于测量次数 n 不会很大,由贝塞尔公式计算出的标准偏差称为实验标准偏差,是标准偏差的无偏估计。

四、关于测量精度的几个概念

通常见到的测量精度概念中,有精密度、正确度及精确度三个概念。

1. 精密度

精密度是指在一定条件下进行多次重复测量时,各测量值之间的接近程度。按此含义,在测量中随机误差越大,各测量值相互之间偏离也越大,精密度越低。所以,精密度表示测量结果中随机误差的大小。

2. 正确度

正确度是指在规定的条件下测量结果对其真值的偏离。测量中系统误差越大,测量结果对其真值的偏离也越大,正确度越低。因而正确度反映了测量结果中系统误差的大小。

3. 精确度

精确度是指在一定条件下进行多次重复测量时,测量结果与真值的接近程度,即所有测量值对其真值的接近程度和各测量值之间的接近程度,它表示系统误差与随机误差的综合影响程度。

五、测量结果的数据处理

前面介绍的三类误差中,系统误差中的定值系统误差可以消除或修正,变值系统误差可以按一定方法予以处理,有时也把它作为随机误差对待;粗大误差则可剔除。因此,随机误差的处理就成为测量误差研究的中心问题。

随机误差的处理原则是设法减小它对测量结果的影响,并运用概率统计的方法估算其误差范围。数据处理时应计算如下参数:

(1)算术平均值 $\overline{X}$。可利用式(2-6)求出算术平均值 $\overline{X}$。

(2)残差 V_i。可利用式(2-8)求得残差 V_i。

(3)单次测量的标准偏差 σ'。可利用式(2-9)求得单次测量的标准偏差 σ'。

(4)算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\overline{X}}$。标准偏差 σ 代表一组测量值的精密度,但是在系列测量中是以算术平均值作为被测量的测量结果,因此,更重要的是要知道算术平均值的精密度。

设在相同的条件下,对某一被测值重复进行 K 组的"n 次测量",则每组的"n 次测量"所得的算术平均值又并不完全相同,但都围绕着真值 X_0 波动,波动范围比单次测量的范围要小。因此,以多次测量的算术平均值作为测量结果。根据误差理论,算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\overline{X}}$ 与单次测量的标准偏差 σ' 的关系为

$$\sigma_{\overline{X}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}V_i^2}{n(n-1)}}=\frac{\sigma'}{\sqrt{n}} \tag{2-10}$$

由式(2-10)可知,单次测量的标准偏差 σ' 是多次测量的算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\overline{X}}$ 的 $\sqrt{n}$ 倍。说明测量次数愈多,$\sigma_{\overline{X}}$ 愈小,测量结果愈接近于真值,测量精度愈高。

(5)极限误差。随机误差的分散范围用测量"不确定度"来评定。所谓"不确定度"是在指定概率下,表征测量值分散的界限。由误差理论和概率论知识可知,读数值 X 与算术平均值 $\overline{X}$ 之差在 $\pm3\sigma'$ 之间的概率为 99.73%,也就是说,界限为 $\pm3\sigma'$ 的不确定度的置信概率为 99.73%,由不确定度所确定的误差界限也称为极限误差,用 $\delta_{\lim}$ 表示。目前我国一般以 $\delta_{\lim}=\pm3\sigma'$ 作为极限误差(国外也有用 $\pm2\sigma'$)。因此,单次测量的极限误差为

$$\delta_{\lim}=\pm3\sigma' \tag{2-11}$$

算术平均值的极限误差为

$$\delta_{\overline{X}\lim}=\pm3\sigma_{\overline{X}} \tag{2-12}$$

(6)测量结果。通过计算可得出测量结果为

$$X=\overline{X}\pm3\sigma_{\overline{X}} \tag{2-13}$$

例 2-1　对某零件进行 10 次重复测量,测量结果分别为 30.030,30.035,30.032,30.034,30.037,30.033,30.036,30.033,30.036,30.034。若测量过程中系统误差已经消除,粗大误差不存在,试给出测量结论(保留三位小数)。

解　(1)计算算术平均值 $\overline{X}$。

$$\overline{X}=\frac{X_1+X_2+\cdots+X_{10}}{10}=\frac{\sum_{i=1}^{10}X_i}{10}=30.034\ \text{mm}$$

(2)计算残差 V_i,其值见表 2-2。

(3)计算单次测量的标准偏差 σ'。

$$\sigma'=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}V_i^2}{n-1}}=\sqrt{\frac{40}{10-1}}\ \mu\text{m}\approx2.1\ \mu\text{m}$$

(4)计算算术平均值的标准偏差 $\sigma_{\overline{X}}$。

$$\sigma_{\overline{X}}=\frac{\sigma'}{\sqrt{n}}=\frac{2.1}{\sqrt{10}}\ \mu\text{m}\approx0.7\ \mu\text{m}$$

(5)计算极限误差。

$$\delta_{\lim}=\pm3\sigma'=\pm(3\times2.1)\ \mu\text{m}=\pm6.3\ \mu\text{m}$$

$$\delta'_{\overline{X}\lim}=\pm3\sigma_{\overline{X}}=\pm(3\times0.7)\ \mu\text{m}=\pm2.1\ \mu\text{m}$$

(6)测量结果。

$$X=\overline{X}\pm3\sigma_{\overline{X}}=30.034\pm0.002\ \text{mm}$$

表 2-2　数据整理

测量序号	X_i/mm	$V_i/\mu m(V_i=X_i-\overline{X})$	$V_i^2/\mu m^2$
1	30.030	−4	16
2	30.035	+1	1
3	30.032	−2	4
4	30.034	0	0
5	30.037	+3	9
6	30.033	−1	1
7	30.036	+2	4
8	30.033	−1	1
9	30.036	+2	4
10	30.034	0	0
整理结果	$\overline{X}=30.034$	$\sum_{i=1}^{10}V_i=0$	$\sum_{i=1}^{10}V_i^2=40$

技能训练

实训一　内孔直径测量

一、实训任务

用内径百分表测量工件的内孔直径，判断内孔尺寸精度是否合格。

二、实训步骤

(1)依据被测孔的基本尺寸选择相应尺寸的内径百分表可换测头。内径百分表的外形和工作原理如图 2-6 所示，测量孔径时，孔壁使测量杆 2 向左移动，使摆块 3 摆动，从而使百分表测杆 6 向上移动，于是百分表指针发生偏转，可读出孔径实际偏差。

(2)把可换测头装在内径百分表上，用螺母固定。

(3)百分表装入量杆并预压 0.2～0.5 mm，指针偏转 20～50 小格，拧紧百分表紧定螺母。

(4)选取量块组合为公差尺寸，将量块放入夹具，对内径百分表校对零位，并锁紧。

(5)内径百分表测头插入被测孔内，找到指针顺时针偏转到最低点时的读数，记下尺寸。

(6)对孔的不同位置和方向进行多次测量，如图 2-7 所示，记下直径尺寸。

(7)根据测量结果判断被测孔的合格性。

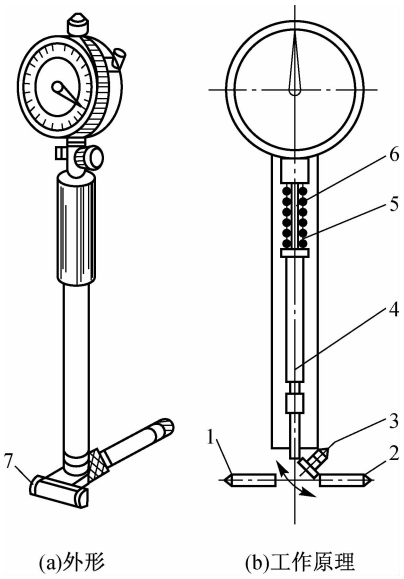


图 2-6　内径百分表的外形和工作原理

1—可换测头；2—测量杆；3—摆块；4—杆；5—弹簧；6—百分表测杆；7—定位护桥

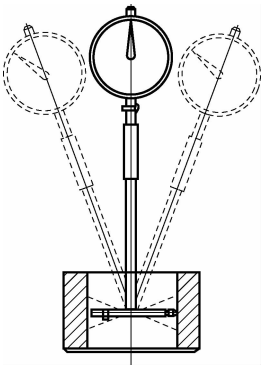


图 2-7　内径百分表测量

实训二　内孔中心高测量

一、实训任务

用杠杆百分表测量零件内孔中心高，并根据被测零件的中心高要求判断其合格性。

二、实训步骤

(1)把零件的基准面放在检验平板上，用塞尺检查零件和检验平板是否接触良好(以最薄的塞尺不能插入为好)。

(2)将杠杆百分表装入磁性表座。

(3)计算出量块的高度。

量块高度＝中心高基本尺寸－被测孔实际半径

(4)根据计算出的量块高度选择合适的量块将之搭配(尽量不超过四块),并用组合量块校正杠杆百分表的零位。校正时,使杠杆百分表压表 0.2～0.3 mm。

(5)移动已调整好的表座,将杠杆百分表的测量头伸入被测内孔,找到被测内孔的最低位置,读出杠杆百分表的值,并计算出其孔下壁到基准面的高度值。

(6)重复第五步,沿轴线方向多测量几处位置,并作记录。

(7)将被测零件转过 180°(绕垂直于基准面的轴线旋转),再次重复第五步。

(8)将上述的高度值加上被测的孔的实际半径尺寸即为中心高值。

(9)根据被测零件的中心高要求判断其合格性。

思考与练习

1. 分度值、刻度间距与灵敏度三者有何关系?

2. 灵敏度与灵敏限有何关系?

3. 计量器具的示值范围与测量范围有何区别?

4. 测量误差按性质可分为几类? 各有何特征?

5. 用什么方法消除或减少测量误差可以提高测量精度?

6. 用两种方法测量真值分别为 40 mm 和 80 mm 的物体,测量值分别为 40.004 mm 和 80.006 mm。试评定两种测量方法测量精度的高低。

7. 在相同条件下,在立式光学比较仪上,对某轴同一部位的直径重复测量 10 次,按测量顺序记录测量值(单位为 mm)为 30.417 0,30.418 0,30.418 5,30.418 0,30.418 5,30.418 0,30.417 5,30.418 0,30.418 0,30.418 5。

(1)判断有无变值系统误差。

(2)判断有无粗大误差,若有则删除。

(3)求该部位直径的最接近真值。

(4)求测量系列值的标准偏差。

(5)求算术平均值的标准偏差与极限误差。

(6)写出最后的测量结果。

模块三
光滑极限量规

知识目标

掌握塞规和卡规的用途、功能和公差带特点；
了解孔用和轴用工作量规的设计方法。

技能目标

具有分析工作量规尺寸精度的能力；
具有精确设计孔用和轴用工作量规的能力；
熟练使用光滑极限量规判断零件的合格性。

模块导读

为确保《公差与配合》标准的贯彻实施，保证和提高产品质量，必须制定光滑工件的检测标准。目前，光滑工件是用光滑极限量规检验或普通计量器具测量的，我国据此制定了相应的检测标准《光滑极限量规》和《光滑工件尺寸的检验》。

《光滑极限量规》标准采用 GB/T 1957—2006，通用于国际标准。

相关知识

学习情境一　光滑极限量规概述

一、光滑极限量规的概念

工件的尺寸在实际使用中一般采用通用量具测量，但是，在成批或大批量的工件制造当中，采用单个测量的方式不能适应生产需要，因此，常采用光滑极限量规来检验。

光滑极限量规是一种没有刻线的专用工具，它不能测量零件的实际尺寸，只能检验零件是否在允许的极限尺寸范围内。

二、光滑极限量规的分类及用途

光滑极限量规有塞规和卡规之分，无论塞规或卡规都有通规和止规，且成对使用，检验原则是“通规通，止规止”。通规又称为通端，用字母“T”表示；止规又称为止端，用字母“Z”表示。

塞规是孔用量规，其通规是根据孔的最大实体尺寸确定的，作用是防止孔的作用尺寸小于孔的下极限尺寸；其止规是按孔的最小实体尺寸设计的，作用是防止孔的实际尺寸大于孔的最大实体尺寸，如图 3-1 所示。

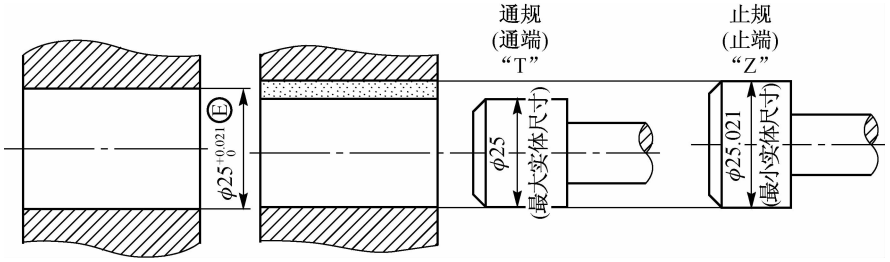


图 3-1　用塞规检验孔

卡规是轴用量规，其通规是按轴的最大实体尺寸设计的，作用是防止轴的作用尺寸大于轴的上极限尺寸；其止规是按轴的最小实体尺寸设计的，作用是防止轴的实际尺寸小于轴的下极限尺寸，如图 3-2 所示。

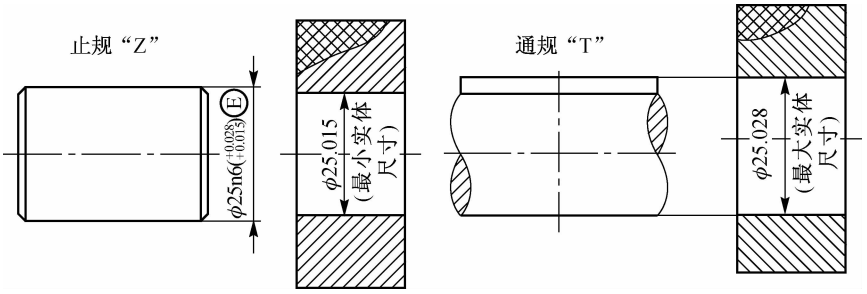


图 3-2　用卡规检验轴

根据量规的使用场合不同，量规又可分为工作量规、验收量规和校对量规三种。

1)工作量规

在零件制造过程中，操作者对零件进行检验所使用的量规称为工作量规。为了保证加工零件的精度，操作者应该使用新的或者磨损较小的量规。

2)验收量规

检验部门或用户代表在验收产品时所使用的量规称为验收量规。验收量规的形式与工作量规相同，只是其磨损较大，但未超过磨损极限。这样，由操作者自检合格的零件，检验部门或用户代表验收时也一定合格，从而保证了零件的合格率。

3)校对量规

检验轴用量规在制造时是否符合制造公差的要求，在使用中是否已达到磨损极限的量规称为校对量规。由于轴用量规是内尺寸，不易检验，所以才设立校对量规。校对量规是外尺寸，可以用通用量仪检验。孔用量规本身是外尺寸，也可以用通用量仪检验，所以不设校对量规。校对量规又可分为以下三类。

(1)“校通—通”量规。“校通—通”量规(代号“TT”)是检验轴用工作量规的通规是否符合要求的校对量规。检验时应通过轴用工作量规的通规，否则通规不合格。

(2)“校止—通”量规。“校止—通”量规(代号“ZT”)是检验轴用工作量规的止规是否符

合要求的校对量规。检验时应通过轴用工作量规的止规，否则止规不合格。

(3)“校通—损”量规。“校通—损”量规(代号“TS”)是检验轴用工作量规的通规是否达到磨损极限的校对量规。检验时不应通过轴用工作量规的通规，否则该通规已达到或超过磨损极限，不应再使用。

学习情境二　量规的设计原则

一、泰勒原则

由于加工后的孔或轴的实际形状不可能是一个理想的圆柱体，工件上各处的实际尺寸往往都不相等，从而影响到工件的实际配合性质。因此，工件的实际配合性质应该由尺寸误差和形状误差在配合表面上形成的综合状态(即作用尺寸)决定，单凭实际尺寸是否处于极限尺寸的范围内来判断工件合格与否，是不全面的。为保证《公差与配合》标准的顺利实施，国家标准规定以泰勒原则(即极限尺寸判断原则)作为判断工件是否合格的依据。

泰勒原则规定：孔或轴的作用尺寸不允许超过最大实体尺寸，即孔的作用尺寸应不小于下极限尺寸，而轴的作用尺寸应不大于上极限尺寸；孔或轴在任何位置上的实际尺寸(即局部实际尺寸)不允许超过最小实体尺寸，即孔的实际尺寸应不大于上极限尺寸，轴的实际尺寸应不小于下极限尺寸。由此可见，孔或轴的最大实体尺寸主要是控制其作用尺寸，孔或轴的最小实体尺寸主要是控制其实际尺寸。无论孔或轴，只有当其实际尺寸和作用尺寸均不超过其最大、最小实体尺寸时才算合格。

由于通规是用来控制工件的作用尺寸的，而作用尺寸受零件的形状误差影响，根据泰勒原则，通规的表面应该是与孔或轴形状相同的完整表面，且长度应等于配合长度，通常称为全形量规。通规表面与被测件应是面接触。由于止规是用来控制工件的实际尺寸的，而实际尺寸不应受零件的形状误差影响，因此，止规的测量面应该是点状的，且长度也可以短些，通常称为不全形量规。止规表面与被测件是点接触。

在实际生产中，完全按泰勒原则设计量规，经常会
形的塞规或环规过于笨重；轴用通规做成全形环规，不
小直径孔用止规做成不全形，制造困难；为使量规标准
长，等等。所以国家标准规定，在实际应用时只要能保
质，允许使用偏离泰勒原则的量规。这时，量规宜在被
便消除或尽可能减小量规形状偏离泰勒原则的影响。

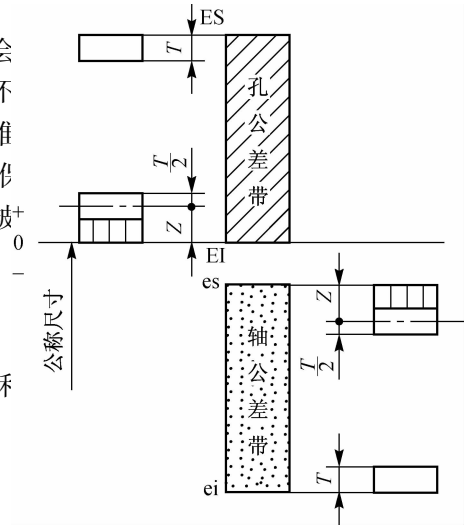


图 3-3　光滑极限量规公差带图

二、量规公差带

由于加工误差的存在，量规也需要给出尺寸公差和

1. 工作量规公差带

1)量规制造公差

量规的制造精度比工件高得多，但量规在制造过程中，不可避免会产生误差，因而对量规规定了制造公

差，用字母 T 表示。通规在检验零件时，要经常通过被检验零件，其工作表面会逐渐磨损以致报废。为了使通规有一个合理的使用寿命，还必须留有适当的磨损量。因此，通规公差由制造公差和磨损公差两部分组成。止规由于不经常通过零件，磨损较小，所以只规定了制造公差。

量规设计时，以被检验零件的极限尺寸作为量规的公称尺寸。

如图 3-3 所示为光滑极限量规公差带图。国家标准规定量规的公差带不得超越工件的公差带。

通规尺寸公差带的中心到工件最大实体尺寸之间的距离称为公差带位置要素，用字母 Z 表示。它体现了通规的平均使用寿命。通规在使用过程中会逐渐磨损，所以在设计时应留出适当的磨损储量，其允许磨损量以工件的最大实体尺寸为极限；止规的制造公差带是从工件的最小实体尺寸算起，分布在尺寸公差带之内。

制造公差 T 和通规公差带位置要素 Z 是综合考虑了量规的制造工艺水平和一定的使用寿命，按工件的公称尺寸、公差等级给出的。由图 3-3 可知，量规制造公差 T 和位置要素 Z 的数值越大，对工件的加工越不利；T 值越小则量规制造越困难，Z 值越小则量规使用寿命越短。因此，根据我国目前量规制造的工艺水平，国家标准合理规定了量规制造公差 T 和位置要素 Z 值，具体数值见表 3-1。

表 3-1　IT6～IT10 级工作量规制造公差 T 和位置要素 Z 值　　单位：μm

工件公称尺寸 D/mm	IT6			IT7			IT8			IT9			IT10		
	IT6	T	Z	IT7	T	Z	IT8	T	Z	IT9	T	Z	IT10	T	Z
≤3	6	1	1	10	1.2	1.6	14	1.6	2	25	2	3	40	2.4	4
>3～6	8	1.2	1.4	12	1.4	2	18	2	2.6	30	2.4	4	48	3	5
>6～10	9	1.4	1.6	15	1.8	2.4	22	2.4	3.2	36	2.8	5	58	3.6	6
>10～18	11	1.6	2	18	2	2.8	27	2.8	4	43	3.4	6	70	4	8
>18～30	13	2.1	2.4	21	2.4	3.4	33	3.4	5	52	4	7	84	5	9
>30～50	16	2.4	2.8	25	3	4	39	4	6	62	5	8	100	6	11
>50～80	19	2.8	3.4	30	3.6	4.6	46	4.6	7	74	6	9	120	7	13
>80～120	22	3.2	3.8	35	4.2	5.4	54	5.4	8	87	7	10	140	8	15
>120～180	25	3.8	4.4	40	4.8	6	63	6	9	100	8	12	160	9	18
>180～250	29	4.4	5	46	5.4	7	72	7	10	115	9	14	185	10	20
>250～315	32	4.8	5.6	52	6	8	81	8	11	130	10	16	210	12	22
>315～400	36	5.4	6.2	57	7	9	89	9	12	140	11	18	230	14	25
>400～500	40	6	7	63	8	10	97	10	14	155	12	20	250	16	28

国家标准规定的工作量规的形状和位置误差，应在工作量规制造公差范围内，其形位公差为量规尺寸公差的 50%，考虑到制造和测量的困难，当量规制造公差≤0.002 mm 时，其形位公差为 0.001 mm。

2）量规极限偏差的计算

量规极限偏差的计算步骤如下：

（1）确定工件的公称尺寸及极限偏差。

（2）根据工件的公称尺寸及极限偏差确定工作量规制造公差 T 和位置要素 Z 值。

（3）计算工作量规的极限偏差，见表 3-2。

表 3-2　工作量规极限偏差的计算公式

偏差类型	检验孔的量规	检验轴的量规
通端上极限偏差	$T_{Ds}=EI+Z+\frac{T}{2}$	$T_{ds}=es-Z+\frac{T}{2}$
通端下极限偏差	$T_{Di}=EI+Z-\frac{T}{2}$	$T_{di}=es-Z-\frac{T}{2}$
止端上极限偏差	$Z_{Ds}=ES$	$Z_{ds}=ei+T$
止端下极限偏差	$Z_{Di}=ES-T$	$Z_{di}=ei$

2. 验收量规公差带

在光滑极限量规国家标准中，没有单独规定验收量规公差带，但规定了检验部门应使用磨损较多的通规，用户代表应使用接近工件最大实体尺寸的通规，以及接近工件最小实体尺寸的止规。

3. 校对量规公差带

校对量规的尺寸公差带应完全位于被校对量规的制造公差和磨损极限内。校对量规的尺寸公差等于被校对量规尺寸公差的一半，校对量规的形状误差应控制在其尺寸公差带内。

学习情境三　工作量规设计

一、量规的结构

进行量规设计时，应明确量规设计原则，合理选择量规的结构，然后根据被测工件的尺寸公差带计算出量规的极限偏差，并绘制量规的公差带图及量规的零件图。

通规和止规的形状对检验的影响如图 3-4 和图 3-5 所示。

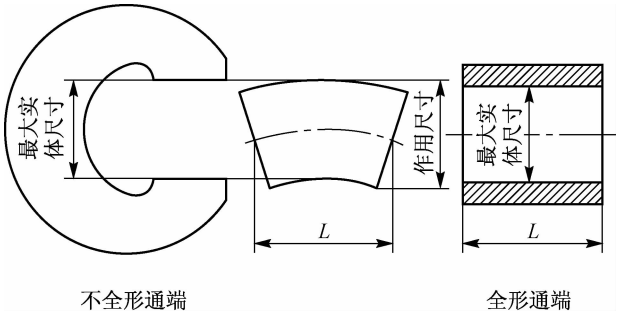


图 3-4　通规形状对检验的影响

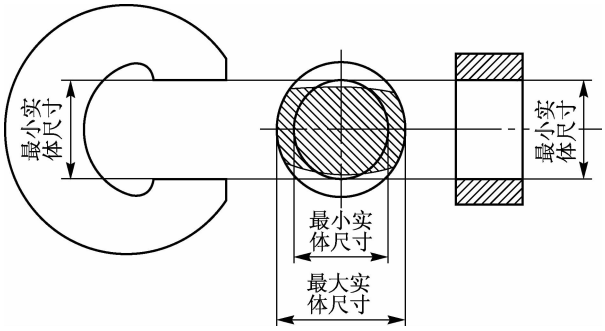


图 3-5　止规形状对检验的影响

光滑极限量规的设计应符合极限尺寸判断原则，只有在保证被检验工件的形状误差不致影响配合性质的前提下，才允许使用偏离极限尺寸判断原则的量规。

检验光滑工件的光滑极限量规形式很多，如图 3-6 所示。图中推荐了不同尺寸范围的不同量规形式，左边纵向的“1”、“2”表示推荐顺序，推荐优先用“1”。零线以上为通规，零线以下为止规。

GB/T 10920—2008 中对孔、轴的光滑极限量规的结构、通用尺寸、适用范围、使用顺序都作了详细的规定和阐述，设计时可参考相关手册。选用量规结构形式时，同时必须考虑工件结构、大小、数量和检验效率等。

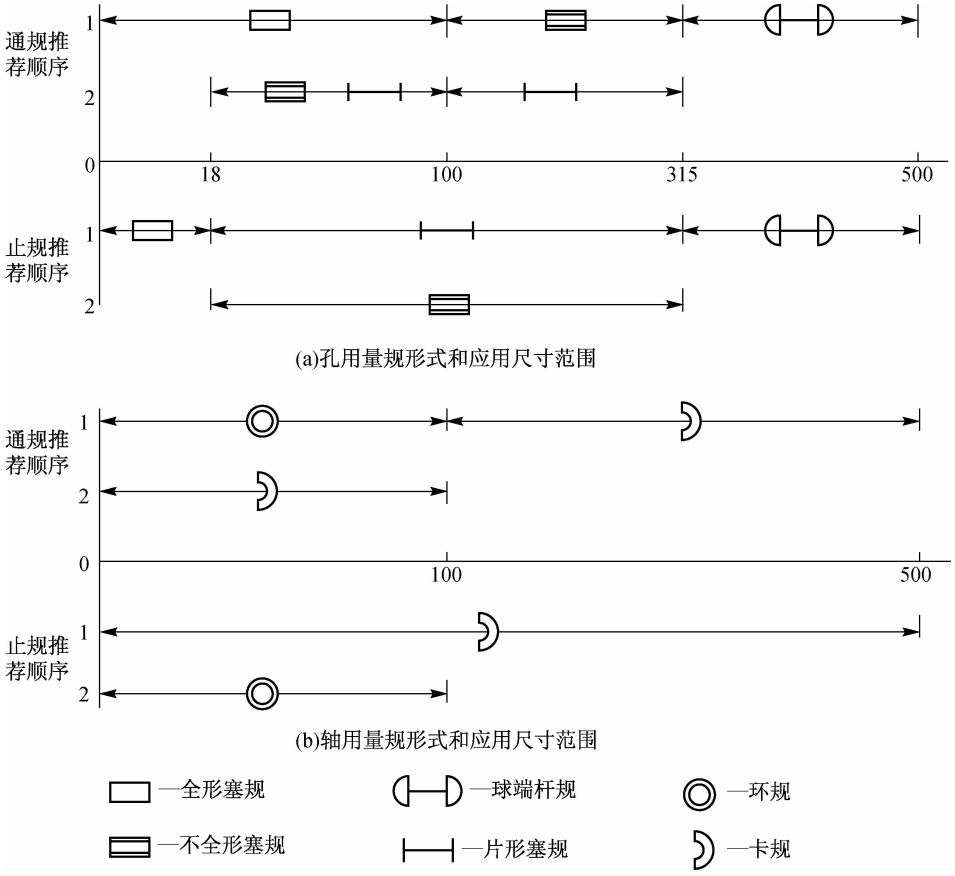


图 3-6　量规形式和应用尺寸范围

二、量规的技术要求

工作量规的形状误差应在量规的尺寸公差带内，形状公差为尺寸公差的50%，但形状公差应小于0.001 mm时，由于制造和测量都比较困难，都规定为0.001 mm。

量规测量面的材料可用淬火钢（合金工具钢、碳素工具钢等）和硬质合金，也可在测量面上镀耐磨材料，测量面的硬度应为58～65 HRC。

量规测量面的表面粗糙度主要是从量规使用寿命、工件表面粗糙度以及量规制造的工艺水平等方面考虑。一般对量规测量面的表面粗糙度要求应比对被检工件的表面粗糙度要求严格些，对量规测量面的表面粗糙度 Ra 值的要求见表3-3。

表3-3　量规测量面的表面粗糙度 Ra 值的要求　　单位：μm

工件公称尺寸/mm 工作量规	至120	大于120～315	大于315～500
IT6级孔用量规	0.04	0.08	0.16
IT6～IT9级轴用量规	0.08	0.16	0.32
IT7～IT9级孔用量规			
IT10～IT12级孔、轴用量规	0.16	0.32	0.63
IT13～TI16级孔、轴用量规	0.32	0.63	0.63

技能训练

设计检验 ϕ30H8/f7 孔、轴用的工作量规

一、实训任务

设计检验 ϕ30H8/f7 孔、轴用的工作量规。工作量规设计步骤如下。

(1)选择量规的结构形式。

(2)计算工作量规的极限偏差。

(3)绘制工作量规的工作图。

二、实训步骤

(1)确定被测孔、轴的极限偏差。

查附表1-1、附表1-2和附表1-3可得，ϕ30H8的上、下极限偏差分别为

$$ES=+0.033\ \text{mm},EI=0$$

ϕ30f7的上、下极限偏差分别为

$$es=-0.020\ \text{mm},ei=-0.041\ \text{mm}$$

(2)选择量规的结构形式分别为锥柄双头圆柱塞规和单头双极限圆形片状卡规。

(3)确定工作量规制造公差 T 和位置要素 Z。由表 3-1 查得,塞规的制造公差和位置要素分别为

$$T=0.003\ 4\ \text{mm},Z=0.005\ 0\ \text{mm}$$

卡规的制造公差和位置要素分别为

$$T=0.002\ 4\ \text{mm},Z=0.003\ 4\ \text{mm}$$

(4)计算工作量规的极限偏差。

①ϕ30H8 孔用塞规。

通规 $T_{Ds}=\text{EI}+Z+\dfrac{T}{2}=(0+0.005\ 0+\dfrac{0.003\ 4}{2})\ \text{mm}=+0.006\ 7\ \text{mm}$

$T_{Di}=\text{EI}+Z-\dfrac{T}{2}=(0+0.005\ 0-\dfrac{0.003\ 4}{2})\ \text{mm}=+0.003\ 3\ \text{mm}$

磨损极限等于其下极限偏差,EI=0。故塞规通端尺寸为 $\phi30^{+0.006\ 7}_{+0.003\ 3}$ mm,磨损极限尺寸为 ϕ30 mm。

止规 $Z_{Ds}=\text{ES}=+0.033\ 0\ \text{mm}$

$Z_{Di}=\text{ES}-T=(+0.033\ 0-0.003\ 4)\ \text{mm}=+0.029\ 6\ \text{mm}$

故塞规止端尺寸为 $\phi30^{+0.033\ 0}_{+0.029\ 6}$ mm。

②ϕ30f7 轴用卡规。

通规 $T_{ds}=\text{es}-Z+\dfrac{T}{2}=(-0.020\ 0-0.003\ 4+\dfrac{0.002\ 4}{2})\ \text{mm}=-0.022\ 2\ \text{mm}$

$T_{di}=\text{es}-Z-\dfrac{T}{2}=(-0.020\ 0-0.003\ 4-\dfrac{0.002\ 4}{2})\ \text{mm}=-0.024\ 6\ \text{mm}$

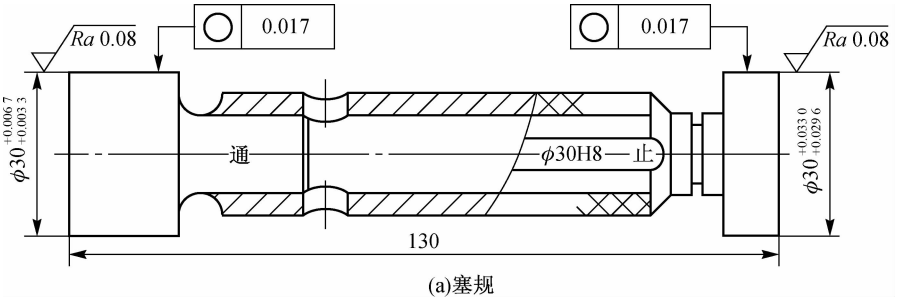
磨损极限等于其上极限偏差,es=−0.020 0 mm。故卡规通端尺寸为 $\phi30^{-0.022\ 2}_{-0.024\ 6}$ mm,磨损极限尺寸为 29.980 mm。

止规 $Z_{ds}=\text{ei}+T=(-0.041\ 0+0.002\ 4)\ \text{mm}=-0.038\ 6\ \text{mm}$

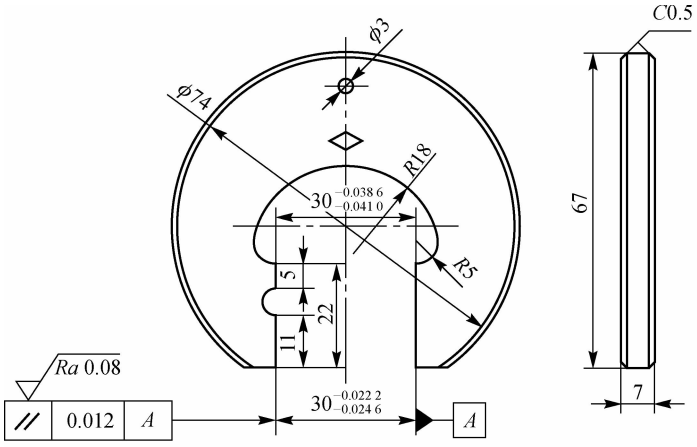
$Z_{di}=\text{ei}=-0.041\ 0\ \text{mm}$

故卡规止端尺寸为 $\phi30^{-0.038\ 6}_{-0.041\ 0}$ mm。

(5)绘制工作量规的工作简图,如图 3-7 所示。



(a)塞规



(b)卡规

图 3-7　工作量规的工作简图

思考与练习

1. 光滑极限量规有何特点？
2. 试述光滑极限量规的分类及用途。
3. 光滑极限量规的设计原则是什么？
4. 孔、轴用工作量规公差带的布置有何特点？
5. 试设计检验 ϕ25H7/n6 孔、轴用的工作量规。
6. 如何确定量规极限偏差？
7. 简述泰勒原则。
8. 什么是止规？什么是通规？简述两者的作用。
9. 校对量规有哪几种？试述其作用。
10. 量规的技术要求有哪些？

模块四
形状和位置公差与检测

知识目标

掌握形状和位置公差及公差带的含义；
掌握正确选用和标注形位公差的方法；
了解公差原则的含义、应用要素、功能要求、控制边界和检测方法；
了解形位公差的评定基本原则及应用。

技能目标

具有正确解释机械图样上形位公差等几何要素技术要求的基本能力；
能用刀口尺、百分表、水平仪、塞尺、V 形铁、综合量规等检测形位公差。

模块导读

近年来，根据科学技术和经济发展的需要，按照与国际标准接轨的原则，我国对形位公差国家标准进行了几次修订，本模块中涉及目前推荐使用的标准如下。

(1)GB/T 1182—2008《产品几何技术规范(GPS)　几何公差形状、方向、位置和跳动公差标注》。

(2)GB/T 1184—1996《形状和位置公差　未注公差值》。

(3)GB/T 4249—1996《公差原则》。

(4)GB/T 16671—1996《形状和位置公差　最大实体要求、最小实体要求和可逆要求》。

(5)GB/T 18780.1—2002《产品几何量技术规范(GPS)　几何要素　第 1 部分：基本术语和定义》。

(6)GB/T 1958—2004《产品几何量技术规范(GPS)　形状和位置公差检测规定》。

(7)GB/T 18779.1—2002《产品几何量技术规范(GPS)　工件与测量设备的测量检验　第 1 部分：按规范检验合格或不合格的判定规则》。

(8)GB/T 18779.2—2004《产品几何量技术规范(GPS)　工件与测量设备的测量检验　第 2 部分：测量设备校准和产品检验中 GPS 测量的不确定度评定指南》。

(9)GB/T 17851—1999《形状和位置公差　基准和基准体系》。

(10)GB/T 17852—1999《形状和位置公差　轮廓的尺寸和公差标注》。

GB/T 1182—2008 是于 2008 年 8 月 1 日公布实行的国家标准，其中的“几何公差”即旧标准中的“形状和位置公差”。由于该标准的规范性引用文件中特别说明在标准中所引用到的 GB/T 4249—1996、GB/T 16671—1996、GB/T 18780.1—2002、GB/T 18780.2—2003、GB/T 17851—1999、GB/T 17852—1999 等国家标准，通过该标准的引用而成为该标准的

条款，这些引用文件的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。而在这些引用文件中，均使用“形状和位置公差”。故本模块中仍然使用“形状和位置公差”，不做改动。

相关知识

学习情境一　形状和位置公差概述

在加工过程中，零件受到力变形、热变形、刀具磨损、工件材料内应力变化等的影响，以及机床—夹具—刀具—工件系统本身存在的几何误差的影响，使零件几何要素不可避免地产生误差。这些误差包括尺寸误差、形状与位置误差、表面形貌误差。其中形状与位置误差是指零件几何要素自身的形状误差和零件的不同几何要素之间、不同零件的几何要素之间的位置误差，简称为形位误差。例如，在车削圆柱表面时，刀具的运动轨迹若与工件的旋转轴线不平行，会使完工零件表面产生圆柱度误差；铣轴上的键槽时，若铣刀刀杆轴线的运动轨迹相对于零件的轴线有偏离或倾斜，则会使加工出的键槽产生对称度误差等。

零件几何要素的形位误差又会直接影响机械产品的工作精度、连接强度、运动平稳性、密封性、耐磨性、使用寿命和可装配性等。例如，轴的圆柱度误差会影响轴在结合时的配合均匀性，即在间隙配合中，会使间隙分布不均匀，加快局部磨损，从而降低零件的工作寿命；在过盈配合中，则会使过盈量各处不一致，影响连接强度。齿轮轴线的平行度误差会影响齿轮的啮合精度和承载能力。键槽的对称度误差会使键安装困难并且安装后受力状况恶化等。形状和位置公差就是为控制零件的形位精度而针对构成零件的点、线、面的各种形位误差所规定的许可变动范围，简称为形位公差。因此，为了满足零件装配后的功能要求，以及保证零件的互换性和经济性，必须对零件的形位公差进行合理的设计。

一、形状和位置公差的研究对象

视频
几何公差

如前所述，形位公差的研究对象就是零件的几何要素。不同零件尽管形状各异，但却都是由点、线、面构成，这些几何要素可按以下方式进行分类。

1. 按几何特征分

几何要素按几何特征可分为组成要素和导出要素。

1）组成要素

组成要素是指构成零件的外轮廓并能为人们直接感觉到的要素，如图 4-1(a)所示的球面、圆锥面、端平面、圆柱面、锥顶、素线。

2）导出要素

导出要素是指由一个或几个组成要素得到的中心点、中心线或中心面。虽然不能为人们直接感觉到，但却随着相应的组成要素的存在而客观地存在着，如图 4-1(a)、(b)所示的球心、轴线、中心平面。

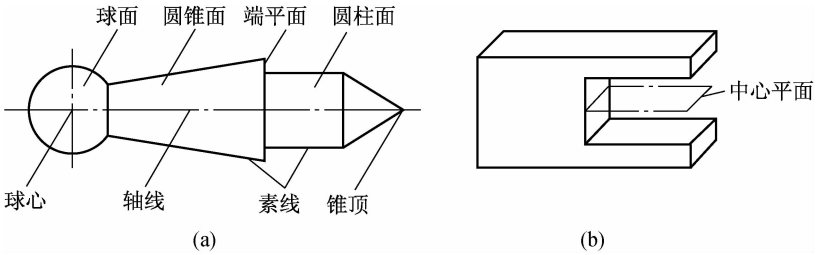


图 4-1　组成要素和导出要素

需要注意的是，在后面各节中，术语“轴线”和“中心平面”一律用于具有理想形状的导出要素；术语“中心线”和“中心面”一律用于非理想形状的导出要素。

2. 按存在的状态分

几何要素按存在的状态可分为公称要素和实际要素。

1）公称要素

公称要素是指由技术制图或其他方法确定的理论正确的要素。它们具有几何学意义，不存在任何误差。图样是用以表达设计意图的，零件图就是设计者在零件的理想几何状态基础上，加上尺寸公差、形位公差等技术条件绘制而成的。因此，图样上组成零件的点、线、面都是指理想状态下的点、线、面，也就是说，它们是没有几何误差的公称要素。

由一个或几个公称组成要素导出的中心线、轴线或中心平面称为公称导出要素。

2）实际（组成）要素

实际（组成）要素是指接近实际（组成）要素所限定的工件实际表面的组成要素部分，是零件上实际存在的要素。零件加工时，由于种种原因会产生形位误差，所以实际零件上存在的是有形位误差的要素。

3. 按在形位公差检测中的功能分

几何要素按在形位公差检测中的功能可分为提取要素和拟合要素。

1）提取要素

提取要素是提取组成要素和提取导出要素的统称。提取组成要素是按规定的方法，由实际（组成）要素提取有限数目的点所形成的实际（组成）要素的近似替代，用来在工件检测过程中替代工件上的实际（组成）要素。该替代方法由要素所要求的功能确定，每个实际（组成）要素可以有若干个这种替代。

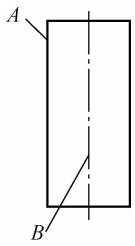
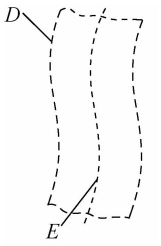
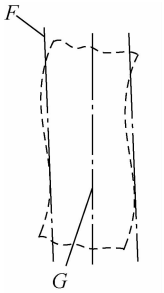
提取导出要素是由一个或几个提取组成要素导出的中心点、中心线或中心面。受测量误差的影响，对于具体零件的不同位置其提取组成要素各不相同，零件的实际（组成）要素只能由提取组成要素的平均状态来代替，故实际（组成）要素并非该要素的真实情况。

2）拟合要素

拟合要素是拟合组成要素和拟合导出要素的统称。拟合组成要素是按规定的方法由提取组成要素形成的并具有理想形状的组成要素，用来在工件评定过程中替代工件上具有理想形状的实际（组成）要素。

拟合导出要素是由一个或几个拟合组成要素导出的中心点、轴线或中心平面。这些几何要素之间的相互关系见表 4-1。

表 4-1　几何要素分类之间的相互关系

要素类型	公称要素	实际要素	提取要素	拟合要素
图形	 (a)制图	(b)工件	 (c)工件的替代(一)	 (d)工件的替代(二)
备注	A—公称组成要素 B—公称导出要素	C—实际要素	D—提取组成要素 E—提取导出要素	F—拟合组成要素 G—拟合导出要素

4. 按在形位公差中所处的地位分

几何要素按在形位公差中所处的地位可分为被测要素和基准要素。

1)被测要素

被测要素是被测公称要素和被测提取要素的统称。

被测要素是指给出了形状或(和)位置公差要求的组成要素或导出要素。在技术图样中,被测要素都是没有形位误差的要素,即为被测公称要素。如图 4-2 所示,根据零件的功能要求,对 ϕd_2 圆柱面和 ϕd_2 圆柱的台肩面设计了形位精度。而在完工零件上,它们是检测的对象,即为被测提取要素。

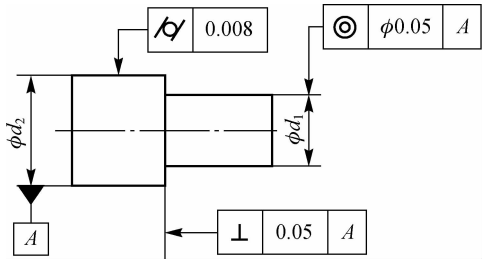


图 4-2　被测要素与基准要素

视频
几何公差的标注方法

被测要素按功能关系又可分为单一要素和关联要素。

单一要素是指仅针对本身给出形状公差要求的被测要素,见图 4-2 中的 ϕd_2 圆柱面。关联要素是与零件上其他要素有功能关系而给出位置公差要求的被测要素,见图 4-2 中的 ϕd_1 圆柱的轴线和 ϕd_2 圆柱的台肩面。

2)基准要素

基准要素是用来确定被测要素的方向和位置的组成要素或导出要素。在技术图样中,基准要素都是没有形位误差的要素,即为基准公称要素,通常称为基准。在图 4-2 中,ϕd_2 圆柱的台肩面方向和 ϕd_1 圆柱的轴线位置是用 ϕd_2 圆柱的轴线来确定的,因此,ϕd_2 圆柱轴线

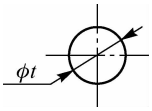
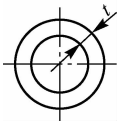
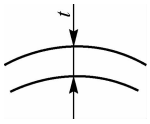
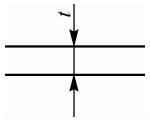
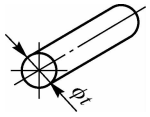
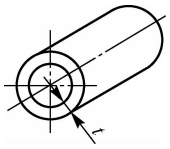
是基准。在完工零件上，由于加工误差的影响，基准要素本身也有一定的形位误差，即为基准提取要素；在完工零件的检测过程中，为了保证被测零件检测的准确性，基准提取要素则在基准建立后被其基准拟合要素所替代。基准的建立和体现的方法将在本模块的学习情境二中具体介绍。

二、形位公差带

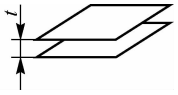
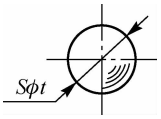
形位公差带是由一个或几个理想的几何线或面所限定的区域，一般用线性公差值表示其大小。线性公差值是指被测提取要素在评定时被给定的相应几何特征的最小包容区域的宽度或直径。公差带的形状由提取要素被给定的形位公差的几何特征及其标注方式决定，其主要形状及描述见表 4-2。

要素规定的形位公差确定了公差带后，该要素就应限定在公差带之内。故公差带是用来限制要素的变动区域的，只要要素完全落在给定的公差带内，就表示其形位公差符合设计要求。

表 4-2　形位公差带的形状及描述

公差带形状	公差带描述
	圆内的区域
	两同心圆之间的区域
	两等距线或两平行直线之间的区域
	
	圆柱面内的区域
	两同轴圆柱面之间的区域

续表

公差带形状	公差带描述
	两等距面或两平行平面之间的区域
	
	圆球面内的区域

三、形位公差的几何特征及符号和附加符号

按设计要求表示形位公差几何特征的符号，称为几何特征符号。

GB/T 1182—2008 中规定的形位公差的几何特征及符号见表 4-3。

表 4-3　形位公差的几何特征及其符号

公差类型	几何特征	符　　号	有无基准
形状公差	直线度	—	无
	平面度	⏥	无
	圆度	○	无
	圆柱度	⌭	无
	线轮廓度	⌒	无
	面轮廓度	⌓	无
方向公差	平行度	//	有
	垂直度	⊥	有
	倾斜度	∠	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有

续表

公差类型	几何特征	符　　号	有无基准
位置公差	位置度	⌖	有或无
	同心度 （用于中心点）	◎	有
	同轴度 （用于轴线）	◎	有
	对称度	⌯	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有
跳动公差	圆跳动	↗	有
	全跳动	⌰	有

GB/T 1182—2008 规定了被测要素和基准要素的标注要求及与公差值和基准有关的附加符号等内容，其中，形位公差的附加符号见表 4-4。

表 4-4　形位公差的附加符号

说　　明	符　　号	说　　明	符　　号
被测要素		全周（轮廓）	
		包容要素	E
基准要素	A　A	公共公差带	CZ
基准目标	$\phi 2$ / $A1$	小径	LD
理论正确尺寸	50	大径	MD
延伸公差带	P	中径、节径	PD
最大实体要求	M	线素	LE
最小实体要求	L	不凸起	NC
自由状态条件（非刚性零件）	F	任意横截面	ACS

注：1. GB/T 1182—1996 中规定的基准符号为 A 。

2. 如需标注可逆要求，可采用符号Ⓡ，见 GB/T 16671—1996。