



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

互换性与测量技术基础

■ 韩丽华 主 编
■ 班新龙 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

互换性与测量技术基础

主 编	韩丽华
副主编	班新龙
编 写	王继昆
主 审	王靖东



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。本书共分 11 章，主要包括：概述，极限与配合，几何公差，表面粗糙度，测量技术基础，键的公差与配合，普通螺纹连接的公差与配合，渐开线圆柱齿轮传动公差，滚动轴承的公差与配合，尺寸链基础，常见几何量检测。本书采用最新颁布的国家标准，侧重讲述概念和标准的应用；在测量部分重点阐述与测量有关的基本概念、典型仪器的测量原理与方法。

本书可作为高职高专院校机械类专业相关课程的教材，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

互换性与测量技术基础/韩丽华主编. —北京：中国电力出版社，2011.12

普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5123-2477-0

I. ①互… II. ①韩… III. ①零部件-互换性-高等职业教育-教材②零部件-测量技术-高等职业教育-教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 260832 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.25 印张 316 千字

定价 23.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

互换性与测量技术基础是机械类各专业的技术基础课，是工程技术语言的重要组成部分，其主要内容是研究和表达机械几何精度的设计与检测，与机械设计、机械制造、质量控制等多方面密切相关。随着现代工业的发展及产品性能与质量要求的提高，机械图样上所表述的内容也在不断丰富和完善。能够合理选择、标注、识读公差配合等内容，能够根据具体要求和条件进行正确的检测，是当今社会对高技能应用型人才提出的基本要求之一，是机械技术人员、管理人员、一线操作者必备的技术基础和基本技能。

本书在编写时力求突出以下特点：

（1）重点讲述极限与配合及测量技术的基本理论、基础知识，加强常用标准的应用和常用几何量测量基本技能的培养。

（2）根据新课程体系的特点和需要，筛选、精简内容，删除不必要的理论推导内容。

（3）为了便于教学与自学，加深理解并增强处理实际问题的能力，书中辅以针对性强的实例和习题。

（4）本书在编写过程中采用国家最新标准，内容涉及多个章节，重点是尺寸公差、表面粗糙度、渐开线圆柱齿轮等。

本书由包头职业技术学院韩丽华任主编，内蒙古北方重型汽车股份有限公司班新龙任副主编。包头职业技术学院王继昆参加编写。具体分工如下：第一～五章由韩丽华编写，第六～十章由班新龙编写，第十一章由王继昆编写。

本书由包头职业技术学院王靖东教授主审。主审老师提出了宝贵的意见和建议，在此表示由衷的感谢。

编 者

2011年11月

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 互换性与加工误差、公差及检测	1
1.2 标准化与优先数系	2
习题	5
第2章 极限与配合	7
2.1 极限与配合的基本术语及定义	7
2.2 极限与配合标准的主要内容	12
2.3 极限与配合的选用	26
习题	35
第3章 几何公差	37
3.1 基本概念	37
3.2 形状公差与形状误差	41
3.3 基准	45
3.4 方向公差与方向误差	46
3.5 位置公差与位置(定位)误差	50
3.6 跳动公差与跳动误差(跳动量)	53
3.7 几何公差与尺寸公差的关系	55
3.8 几何公差的选用	64
习题	70
第4章 表面粗糙度	75
4.1 概述	75
4.2 表面粗糙度的评定	75
4.3 表面粗糙度的选用与标注	79
习题	86
第5章 测量技术基础	87
5.1 概述	87
5.2 长度计量单位与量值传递	87
5.3 计量器具与测量方法	90
5.4 计量器具的选择	93
5.5 测量误差	98
5.6 直接测量列的数据处理	106
习题	112

第 6 章 键的公差与配合	113
6.1 单键的公差与配合	113
6.2 矩形花键的公差与配合	115
习题.....	119
第 7 章 普通螺纹连接的公差与配合	120
7.1 普通螺纹的几何参数及其对互换性的影响	120
7.2 普通螺纹的公差与配合	125
习题.....	131
第 8 章 渐开线圆柱齿轮传动公差	132
8.1 各种机械设备对齿轮传动的基本要求	132
8.2 影响渐开线圆柱齿轮精度的因素	133
8.3 渐开线圆柱齿轮精度的评定参数与检测	135
8.4 渐开线圆柱齿轮精度等级与应用	139
8.5 齿轮坯的精度与齿面粗糙度	146
8.6 渐开线圆柱齿轮副的精度	149
8.7 渐开线齿轮精度设计举例	153
8.8 新旧国家标准对照	156
习题.....	158
第 9 章 滚动轴承的公差与配合	160
9.1 滚动轴承的精度等级及其应用	160
9.2 滚动轴承与轴和箱体或轴承座孔的配合及选用	162
9.3 轴颈和外壳孔的几何公差和表面粗糙度	165
9.4 应用举例	166
习题.....	167
第 10 章 尺寸链基础	168
10.1 尺寸链的含义及其特性.....	168
10.2 尺寸链的建立与分析.....	170
10.3 用完全互换法解尺寸链.....	172
习题.....	177
第 11 章 常见几何量检测	178
11.1 游标测微类量具的测量读数原理和使用.....	178
11.2 螺旋测微类量具的测量读数原理和使用.....	179
11.3 光学计和扭簧比较仪的测量读数原理和使用.....	180
11.4 用内径百分表测量孔径.....	182
11.5 直线度误差测量.....	185
11.6 平面度误差测量.....	187
11.7 箱体零件孔中心线平行度、垂直度误差的测量.....	188
11.8 轴类零件跳动误差的测量.....	190

11.9 用双管（光切）显微镜测量表面粗糙度..... 191

11.10 螺纹中径测量 193

11.11 齿轮单个齿距偏差与齿距累积总偏差的测量实验 195

11.12 公法线长度变动 ΔF_w 和公法线平均长度偏差 ΔE_{wn} 的测量 198

习题..... 200

参考文献..... 202

第1章 概述

1.1 互换性与加工误差、公差及检测

1.1.1 互换性的含义

在日常生产、生活中互换性现象随处可见。例如,照明灯管儿坏了,可以换个新的;自行车、冰箱、手机中的零部件损坏了,也可以进行更换;汽车抛锚了,可以按相同规格的轮胎再安装一个……之所以这样方便,就是因为这些产品的零部件都具有互换性。

在制造业中,互换性是指同一规格的一批零部件,任取其一,不需进行任何挑选、调整或修配就能装到机器上,并且能够满足其使用功能要求的特性。换言之,零部件所具有的不经任何挑选、调整或修配便能在相同规格、相同应用条件下的可互相替换的特性称为互换性。按照互换性组织生产是机械制造业和仪器仪表制造业中产品设计和制造所遵循的重要原则之一。

1.1.2 互换性在机械制造业中的重要意义

在产品的设计方面,零部件具有互换性,就可以最大限度地采用标准件、通用件和标准部件,可大幅简化计算和绘图工作,缩短设计周期,有利于计算机辅助设计的应用和产品品种的多样化。

在制造方面,互换性有利于组织专业化生产,有利于采用先进工艺和高效率的专用设备,有利于计算机辅助制造的普及和应用,有利于实现加工过程和装配过程机械化、自动化,从而提高劳动生产率和产品质量,降低生产成本。

在使用和维修方面,具有互换性的零部件在发生磨损及损坏后可及时得到更换,进而减少机器设备的维修时间,降低维修费用,增加机器设备的连续运转时间,提高利用率。

总之,互换性在提高产品质量、可靠性、经济效益等方面具有重要的意义,已成为现代化机械制造业中一个普遍遵守的原则,对我国的现代化建设起着重要作用。

1.1.3 互换性的分类

机器和仪器制造业中的互换性,通常包括几何参数(如尺寸)和力学性能(如硬度、强度等)的互换。本书仅讨论几何参数的互换。

所谓几何参数互换,主要包括零部件的尺寸、几何形状、相互的位置关系、表面粗糙度等参数的互换。

1. 完全互换和不完全互换

互换性按其互换程度,可分为完全互换和不完全互换。

若一批零部件在装配时,不需进行任何挑选、调整或修配便能顺利装配,装配后即能满足产品预定的功能要求,这种情况称为完全互换。

当装配精度要求较高时,采用完全互换将使相互配合零件的制造精度更高,从而增加加工难度加大,提高生产成本,甚至根本无法加工。这时,可适当降低相关零件的制造精度,

减小加工难度。各个相关零件加工完成后，通过测量分别将其按实际尺寸大小分为若干组，使各组内零件间实际尺寸的差别减小，再按对应组进行装配。这样，既可保证装配精度和使用要求，又能解决加工上的困难，降低成本。此时，仅组内零件可以互换，组与组之间的零件不可互换，这种情况称为不完全互换。装配时需要进行挑选调整或修配的零部件也属于不完全互换。

一般而言，产品需若干厂家协作生产方可完成（即厂际之间协作生产）时，应采用完全互换。精度较高的部件或构件在同一厂制造和装配时，应采用不完全互换。

2. 内互换和外互换

对标准部件，互换性还可分为内互换和外互换。组成标准部件的零件的互换，称为内互换；标准部件与其他零部件的互换，称为外互换。例如，滚动轴承的外圈内滚道、内圈外滚道与滚动体的互换，称为内互换；外圈外径、内圈内径及轴承宽度与其相配的箱体孔、轴颈和轴承端盖的互换，称为外互换。

1.1.4 误差、公差及检测

制成的同一规格的零件，由于在其加工制造过程中会受到许多因素的综合影响，其几何参数不可能完全一致，也是不必要的。零件在加工过程中，尺寸、形状等总会与理想状态产生一定的偏离，这种偏离不可避免。将这种偏离统称为几何量误差，简称误差。实践证明，在实际生产中，只要将零部件的几何量误差控制在规定的范围内，就能满足互换性生产的要求。

允许零件几何参数的变动量，称为公差。工件的误差在公差范围内，为合格件；超出公差范围，为不合格件。

实现互换性生产的一个重要因素就是要正确地确定公差。

误差是在制造过程中产生的，公差是设计人员根据产品功能要求给定的。设计者的任务就在于根据设计对象的不同功能要求正确地确定公差，并将它以工程语言的形式在图样上明确地表示出来。显然，在满足产品功能要求的条件下，公差应尽量规定得大些，以获得最佳的技术经济效益。

完工后的零件是否满足公差要求，要通过检测加以判定，就是说检测是实现互换性生产的另一个重要因素。一般而言，检测包含检验与测量。检验是指确定零件的几何参数是否在规定的极限范围内，并做出合格性判断，而不必得出被检对象具体量值的过程；测量是将被测量与作为计量单位的标准量进行比较，以确定被测量具体量值的过程。检测不仅用来评定产品质量，还可用于分析产生不合格品的原因，监督工艺过程，及时调整生产，预防废次品的产生。检测是机械制造的“眼睛”。事实证明，产品质量的提高，除设计和加工精度的提高外，往往更有赖于检测精度的提高。

由此可见，合理确定公差并正确进行检测，是保证产品质量、实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。

1.2 标准化与优先数系

现代制造业的特点是生产规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高，需要协调各个生产部门、生产环节的作业，使分散的、局部的生产活动保持技术统一，形成一个具有统一

行动规范的能够保证互换性生产要求的有机生产系统。制定和实施标准、做好标准化工作就是实现这种要求的重要前提和基础。

1.2.1 标准与标准化

1. 标准与标准化的概念

标准是对重复性事物和概念所做的统一规定。标准的制定以当代科学技术和先进生产经验的综合成果为基础,经有关部门协商一致,由主管机构批准,并以特定形式颁布,作为共同遵守的准则和依据。标准一经颁布,就是相关技术领域内的技术法规,具有法制性,有关厂家和单位应当积极采用和执行。

标准化是指在经济、技术、科学、管理等社会实践中,对重复性事物和概念,通过制定、发布和实施标准达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。

标准化工作包括制定和修订标准、颁布标准、组织贯彻实施标准和对标准的实施进行监督的全部活动过程。这个过程是个不断循环而又不断提高的过程,如图1-1所示。

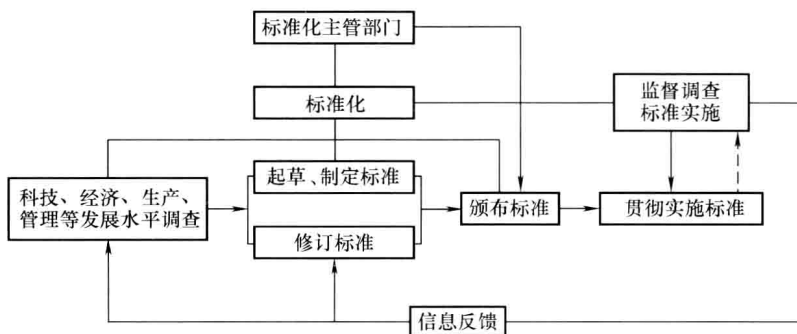


图 1-1 标准化工作动态过程示意图

从图1-1可见,标准化工作的目的和作用,都是通过制定和贯彻标准来实现的。因此,标准化活动离不开制定、修订和贯彻标准,这是标准化的基本任务和整个标准化活动的重要环节。

标准化是一个完整的不断循环的活动过程,工作的核心内容是标准。每经过一次循环,既能够促进各相关部门和单位按标准进行工作,又能使标准的内容更加充实和完善,使其客观反映当代生产力发展水平,确保标准的先进性,可使技术工作和管理工作的水平不断得到提高。

机械制造业中的重复事物有很多,例如,零件的批量生产,某种零件在不同的产品中得到应用,设计中反复使用的图形、符号、概念、计算公式、计算方法等。因此,对从事各种机电产品生产的工业企业、部门和单位,标准化活动的内容十分广泛,尤其在经济、技术、管理等许多实践活动中都应该广泛地开展标准化活动,积极贯彻执行新标准,不断提高标准化工作的水平,从而获得最佳的生产秩序和经济效果。

标准化是组织现代化生产的一个重要手段,是实现专业化协作生产的必要前提,是实现互换性生产的基础,同时也是联系产品设计、生产、使用等各个方面的纽带。标准化对于促进技术进步,改进产品质量,提高社会效益,发展对外经济关系等方面均具有重要意义。

2. 标准的分类

标准的种类繁多,从不同角度可对标准进行不同的分类,习惯上将标准分为三类:技术标准、管理标准和工作标准。本书仅介绍技术标准。技术标准是指为科研、设计、制造、检验和工程技术、产品、技术设备等制定的标准。

我国技术标准有国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四个层次。

(1) 国家标准(GB)。国家标准是指对全国技术、经济发展意义重大且必须制定的全国范围内统一的标准。例如,要在全中国范围内统一的名词术语、基础标准,基本原材料、重要产品标准,基础互换性标准,通用零部件和通用产品的标准等。

(2) 行业标准(原部颁标准或行业标准)。行业标准主要是指还没有国家标准,而又需要在全国某行业范围内统一的标准。例如,原石油工业部的石油标准(SY)、原机械工业部的机械标准(JB)、原轻工业部的轻工标准(QB)等。一旦制定了相应的国家标准,该项行业标准即行废止。

(3) 地方标准。地方标准是指省、直辖市、自治区制定的各种技术经济规定。例如,沪Q、京Q,分别表示上海、北京的地方企业标准。

(4) 企业标准。对企业生产的产品,在未制定国家标准、行业标准的情况下,应制定企业标准作为组织本企业生产的依据。通常鼓励企业根据自己的技术和管理水平发展状况制定严于国家标准或行业标准的企业标准,以提高企业的产品质量。

为了便于国际交流,扩大文化、科技和经济上的合作,在世界范围内促成标准化工作的开展,1947年国际上成立了国际标准化组织(简称ISO),其主要活动是负责制定国际标准、协调世界范围内的标准化工作与传播交流信息,与其他国际组织合作,共同研究相关问题,其成员国已包括了全世界大多数国家,我国也于1978年恢复参加了ISO组织。一般而言,国际标准集中反映了世界上最先进的科学技术水平。为便于国际技术、经济的交流和贸易,各国都应尽可能参照国际标准并结合本国实际情况来制定和修订本国的国家标准。

在互换性标准方面,我国从1959年开始,陆续制定了公差与配合、几何公差、公差原则、表面粗糙度、普通螺纹、平键、矩形花键、渐开线圆柱齿轮精度等一系列标准。随着生产的不断发展,从20世纪80年代开始,参照国际标准,我国对互换性标准进行了较大范围的修订。这些标准是机械制造业中产品设计、工艺设计、组织生产及产品质量检验的重要依据,其应用广泛,影响深远。

1.2.2 标准化过程中应用的优先数和优先数系

在设计机械产品和制定标准的过程中,产品的性能参数、尺寸规格参数等都要通过数值表达,而这些数值是具有扩散传播性的。例如,复印机的规格和复印纸的尺寸有关,复印纸的尺寸则取决于常规书报杂志的尺寸,书报杂志的尺寸又会影响到造纸、印刷设备的尺寸。又如,螺栓的直径确定后,会传播到螺母的直径上,也会传播到加工这些螺纹的刀具(如丝锥、板牙)上,还会传播到螺栓孔的尺寸和加工螺栓孔钻头的尺寸以及检测这些螺纹的量具及装配它们的工具上。这种技术参数的传播,在实际生产中是极为普遍的现象。工程技术上的参数数值,即使只有很小的差别,经过多次传播以后,也会造成尺寸规格的繁多杂乱。如果随意取值,一定会给组织生产、协作配套、设备维修等方面带来很大困难,降低社会效益。

为使产品的参数选择能遵守统一的规律，必须对各种技术参数的数值做出统一规定。GB/T 321—2005《优先数和优先数系》就是其中最重要的一个标准，要求工业产品主要技术参数应尽可能用它进行规范。

优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 、 $\sqrt[80]{10}$ ，且项值中含有10的整数幂的理论等比数列导出的一组近似等比的数列。各数列分别用符号R5、R10、R20、R40、R80表示，分别称为R5系列、R10系列、R20系列、R40系列、R80系列。

R5系列为以 $\sqrt[5]{10} \approx 1.60$ 为公比形成的数系；

R10系列为以 $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$ 为公比形成的数系；

R20系列为以 $\sqrt[20]{10} \approx 1.12$ 为公比形成的数系；

R40系列为以 $\sqrt[40]{10} \approx 1.06$ 为公比形成的数系；

R80系列为以 $\sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 为公比形成的数系。

R5、R10、R20和R40是常用系列，称为基本系列，R80作为补充系列。R5系列的项值包含在R10系列中，R10系列的项值包含在R20系列中，R20系列的项值包含在R40系列中，R40系列的项值包含在R80系列中。范围1~10的优先数系见表1-1，所有大于10的优先数均可按表列数乘以10、100、…求得，所有小于1的优先数均可按表列数乘以0.1、0.01、…求得。

表 1-1 优先数系的基本系列

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
1.00	1.00	1.00	1.00			2.24	2.24		5.00	5.00	5.00
			1.06				2.36				5.30
		1.12	1.12	2.50	2.50	2.50	2.50			5.60	5.60
			1.18				2.65				6.00
	1.25	1.25	1.25			2.80	2.80	6.30	6.30	6.30	6.30
			1.32				3.00				6.70
		1.40	1.40		3.15	3.15	3.15			7.10	7.10
			1.50				3.35				7.50
1.60	1.60	1.60	1.60			3.55	3.55		8.00	8.00	8.00
			1.70				3.75				8.50
		1.80	1.80	4.00	4.00	4.00	4.00			9.00	9.00
			1.90				4.25				9.50
	2.00	2.00	2.00			4.50	4.50	10.00	10.00	10.00	10.00
			2.12				4.75				

标准还允许从基本系列和补充系列中隔项取值组成派生系列。例如，在R10系列中每隔两项取值，得到R10/3系列，即1.00、2.00、4.00、8.00、…，此即常用的倍数系列。

国家标准规定的优先数系分挡合理，疏密均匀，简单易记，具有广泛的适用性。常见的量值，如关于长度、直径、转速、功率等的分级，基本都是按一定的优先数系进行的。本书涉及的相关标准中，如尺寸分段、公差分级、表面粗糙度参数系列等，也基本采用优先数系。

习 题

1-1 什么是互换性？互换性的优越性有哪些？

1-2 互换性的分类有哪些？完全互换和不完全互换有何区别？

1-3 误差、公差、检测、标准化与互换性有什么关系？

1-4 试述标准的种类、标准化的意义及制定公差标准的意义。

1-5 下面两列数据属于哪种系列？公比 q 为多少？

(1) 电动机转速（单位为 r/min ）：375、750、1500、3000、…。

(2) 摇臂钻床的主参数（最大钻孔直径，单位为 mm ）：25、40、63、80、100、125 等。

1-6 试述优先数系的优点。我国国家标准中规定的优先数系有哪些？其数值组成特点是什么？

1-7 试述在机械制造过程中进行检测的重要性。

第2章 极限与配合

极限与配合标准是机械工程设计制造领域经常要涉及的重要基础性标准,它不仅用于确定光滑圆柱体内外表面之间的结合关系,也用于其他几何体内外表面间结合中的由单一尺寸确定的部分,例如,平键结合中键宽与槽宽,花键结合中花键轴与花键孔的外径、内径及键齿宽与键槽宽等结合面之间的关系。

极限与配合的标准化有利于机器的设计、制造、使用和维修。极限与配合标准不仅是机械工业各部门进行产品设计、工艺设计和制定其他标准的基础,而且也是广泛组织专业化协作生产的重要依据。极限与配合标准几乎涉及国民经济的各个部门。

我们必须学习和掌握这些标准的构成特点、规定的术语定义,以及孔轴尺寸精度设计的原则和方法,只有这样才能够顺利完成产品尺寸精度设计与制造工作。

2.1 极限与配合的基本术语及定义

2.1.1 有关尺寸的术语及定义

1. 尺寸

尺寸是用特定单位表示的线性尺寸值的数值,由数字和长度单位组成,如20mm、40.06mm。

2. 基本尺寸(孔 D 、轴 d)

基本尺寸是由设计给定的,通过基本尺寸应用上、下偏差可算出极限尺寸。它是设计者根据使用要求,通过强度、刚度计算、结构等方面的考虑,并按《优先数和优先数系》标准加以圆整、规范而采用的标准直径或标准长度尺寸,这样做可尽量减少相关工艺装备的规格和数量,如图2-1所示。

3. 实际尺寸(孔 D_a 、轴 d_a)

实际尺寸是通过测量所得的尺寸。由于零件本身误差和测量误差的客观存在,实际尺寸

并非是被测尺寸的真值,它只是接近真值的一个随机尺寸。由于零件存在形状误差,同一表面不同部位的实际尺寸也不尽相同,因此,往往将它称为局部实际尺寸,用两点法测量,如图2-2所示。

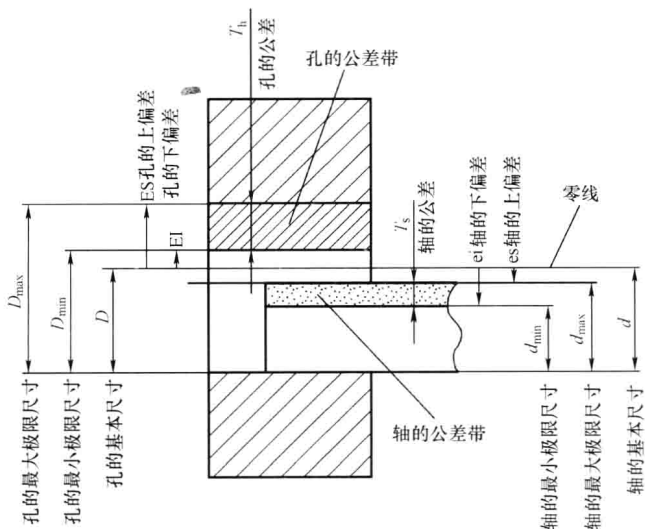


图 2-1 有关尺寸术语及定义图示

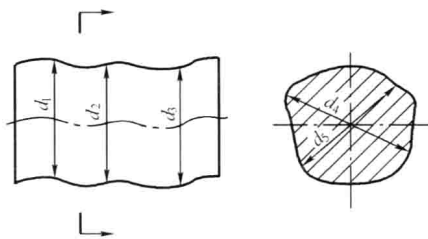


图 2-2 某轴实际尺寸示意

基本尺寸只表示设计尺寸的大小，并不是对完工后零件实际尺寸的要求，不能将它理解成理想尺寸，也不能认为零件的实际尺寸越接近基本尺寸越好。

上述定义中提到的真值是零件某部位客观存在的尺寸值，不能通过测量获得，因此只能以实际尺寸作为测量尺寸（测量数据）。

4. 极限尺寸（孔 $D_{\max}$ 、 $D_{\min}$ ；轴 $d_{\max}$ 、 $d_{\min}$ ）

极限尺寸是允许尺寸变化的两个界限值。它以基本尺寸为基数，在设计时加以确定。两个界限值中较大的称为最大极限尺寸，较小的称为最小极限尺寸，如图 2-1 所示。

2.1.2 有关尺寸偏差、公差术语及定义

1. 尺寸偏差

某一尺寸（实际尺寸、极限尺寸等）减去其基本尺寸所得的代数差，称为尺寸偏差（简称偏差）。偏差值可能为正或负，也可能为零，如图 2-1 所示。

2. 实际偏差

实际尺寸减去其基本尺寸所得的代数差，称为实际偏差。孔的实际偏差用 E_a 表示，轴的实际偏差用 e_a 表示。实际偏差可表示为

$$E_a = D_a - D, e_a = d_a - d$$

3. 极限偏差

极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差，称为极限偏差。

（1）上偏差。最大极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差，称为上偏差。孔的上偏差用 ES 表示，轴的上偏差用 es 表示。

（2）下偏差。最小极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差，称为下偏差。孔的下偏差用 EI 表示，轴的下偏差用 ei 表示，如图 2-1 所示。

极限偏差可表示为

$$\begin{aligned} ES &= D_{\max} - D \\ es &= d_{\max} - d \\ EI &= D_{\min} - D \\ ei &= d_{\min} - d \end{aligned} \quad (2-1)$$

除零外，偏差值前面必须标有正号或负号。上偏差总是大于下偏差。标注示例：

$$\phi 50_{+0.025}^{+0.050}, 50_{-0.042}^{-0.009}, \phi 30_{-0.018}^0, \phi 30_{+0.001}^{+0.021}, 80 \pm 0.015$$

4. 尺寸公差（孔 T_h 、轴 T_s ）

允许尺寸的变动量称为公差。公差是用来控制误差的（即控制实际尺寸的变动范围），工件实测的误差在公差范围内即为合格；反之，则不合格。

从定义可知，公差是一个变动量（变动范围）的概念，与上述尺寸偏差明显不同。偏差值可正、可负、可为零，但公差值不应该为零，更不可能为负值。因此，公差、极限尺寸和极限偏差之间的关系为

$$\text{孔的公差} \quad T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (2-2)$$

$$\text{轴的公差} \quad T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (2-3)$$

由式(2-2)和式(2-3)可知,公差在数学表达上用的是绝对值的概念,它等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之差的绝对值或等于上偏差与下偏差之差的绝对值。由于 $D_{\max} > D_{\min}$ 、 $ES > EI$ 、 $d_{\max} > d_{\min}$ 、 $es > ei$,所以实际计算时一般均略去了绝对值符号的表示,如图2-1所示。

5. 尺寸公差带及公差带图式

由代表上偏差和下偏差(或最大极限尺寸和最小极限尺寸)的两条直线所限定的区域,称为尺寸公差带,如图2-1所示。公差带由公差的大小和其相对零线的位置参数基本偏差来确定。

图2-1所示的图式显然不能简捷有效地分析公差问题:一是图中表示的内容不是按真实比例作的(基本尺寸数值与公差及偏差数值相差悬殊,不使用同一比例表示);二是作出的图较繁杂。所以要用特定的图式表示配合件公差带之间的关系,这种特定的图式称为公差带图,如图2-3所示。

图2-3是从图2-1中抽象简化得来的,与图2-1一样可以清楚地看出各有关术语及定义之间的关系。

从图2-3可见,公差带图式中主要由两部分构成:零线和尺寸公差带。

零线是一条确定极限偏差的基准线,是偏差的起始线,零线上方表示正偏差,零线下方表示负偏差。画公差带图时,必须在相应的位置注上“0”、“+”和“-”符号,并在零线左下端部标上带箭头的尺寸线,注明基本尺寸符号或数值。

图2-3中上、下偏差之间的宽度表示公差带的大小,即公差值。公差带沿零线方向的长度可适当选取。公差带图中尺寸单位为毫米(mm),偏差及公差的单位也可以用微米(μm)表示。

公差带大小由标准公差值决定,位置由基本偏差决定。

公差带图式是分析公差问题的一种有效工具,初学者应当尽快熟悉,并能熟练地用它分析解决公差问题。

2.1.3 有关配合的术语及定义

1. 孔

孔是指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(由两平行平面或切面形成的包容面)。孔的尺寸用 D 表示。注意,这是一个泛指的概念。

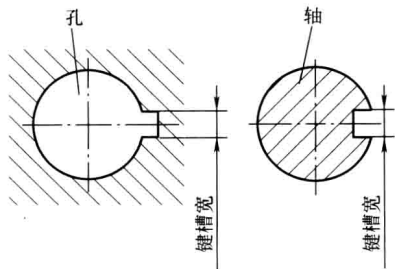


图2-4 泛指的孔、轴示意

2. 轴

轴是指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(由两平行平面或切面形成的被包容面)。轴的尺寸用 d 表示。同样,这也是一个泛指的概念。

从装配关系讲,孔是包容面,轴是被包容面。从加工过程看,随着余量的切除,孔的尺寸由小变大,轴的尺寸由大变小,如图2-4所示。

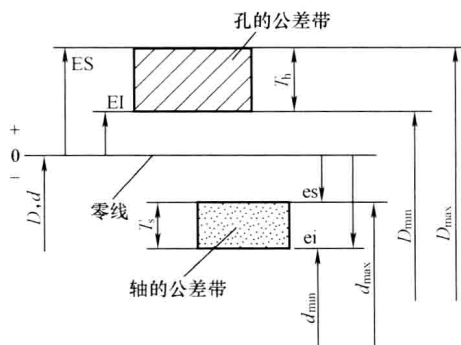


图2-3 尺寸公差带图式

3. 配合

配合是指基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的位置关系。

从图 2-3 可见, 若将孔的公差带位置确定, 上下改变轴公差带的位置, 显然两者的位置关系也在变化, 得到的效果是孔和轴结合的松紧程度在变化。

标准规定, 配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合。

4. 间隙 (X) 和过盈 (Y)

在轴与孔的配合中, 孔的尺寸减去轴的尺寸所得的代数差, 当差值为正时称为间隙, 用 X 表示; 当差值为负时称为过盈, 用 Y 表示。

5. 间隙配合

具有间隙 (包括最小间隙等于零) 的配合称为间隙配合。在间隙配合中, 孔的公差带在轴的公差带之上, 如图 2-5 所示。

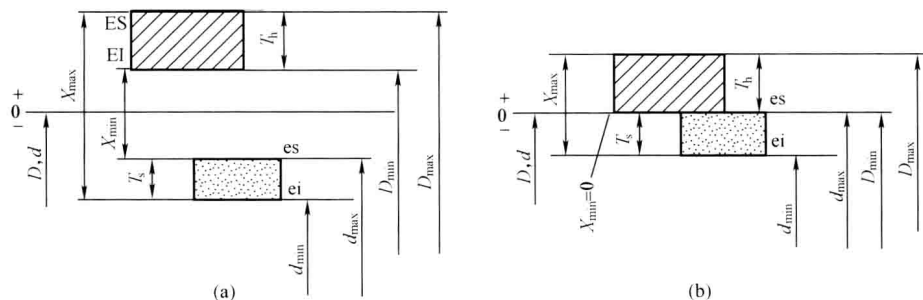


图 2-5 间隙配合

当孔为最大极限尺寸而轴为最小极限尺寸时, 装配后得到最大间隙 $X_{\max}$; 当孔为最小极限尺寸而轴为最大极限尺寸时, 装配后得到最小间隙 $X_{\min}$ 。

$$\text{最大间隙} \quad X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-4)$$

$$\text{最小间隙} \quad X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-5)$$

一批间隙配合的配合件所具有的平均松紧程度称为平均间隙 X_{av} 。

$$\text{平均间隙} \quad X_{av} = \frac{1}{2} (X_{\max} + X_{\min}) \quad (2-6)$$

6. 过盈配合

具有过盈 (包括最小过盈等于零) 的配合称为过盈配合。在过盈配合中, 孔的公差带在轴的公差带之下, 如图 2-6 所示。

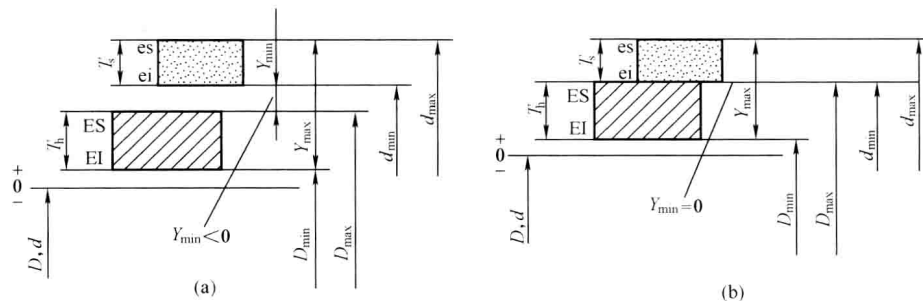


图 2-6 过盈配合