

高等学校教材

互换性与检测技术

邵晓荣 段福来 主编



机械工业出版社

高等学校教材

互换性与检测技术

主编 邵晓荣 段福来

编者 (按姓氏笔划为序)

方福来 艾 佳 曲 恩 邵晓荣

段福来 姜乃厚 金嘉琦 曾焕浪

主审 鄂峻峤



机械工业出版社

本书为高等院校机械类、仪器仪表类及机电结合类各专业适用教材,也可供机械制造及仪器仪表等专业的工程技术人员参考。本书分四个部分共十章:基础部分(绪论、几何量的加工误差和公差、形位公差与尺寸公差的关系),典型件部分(孔与轴类件的精度设计基础、键联结的互换性、渐开线圆柱齿轮传动的互换性、螺纹联结的互换性),多尺寸部分(尺寸链)和检测部分(测量技术基础、光滑极限量规和位置量规)。

本书整个体系在阐述互换性原则的同时,强调精度要求;理论与实践密切联系,符合认识和讲授规律;章节结构脉络清晰,内容少而精,适用于不同专业、不同学时。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与检测技术 / 邵晓荣, 段福来主编. —北京: 机械工业出版社, 1998. 8

高等学校教材

ISBN 7-111-06582-4

I. 互… I. ①邵… ②段… III. ①互换性-高等学校-教材 ②技术测量-高等学校-教材 N. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 16364 号

出版人 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 贺毓鑫 版式设计: 杨丽华 责任校对: 贾利平

封面设计: 李 明 责任印制: 侯新民

北京市昌平振南印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

1998 年 8 月第 1 版 · 1998 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm $1/16$ · 9 $1/2$ 印张 · 228 千字

0 001—2 000 册

定价: 20.00 元

前 言

《互换性与检测技术》是高等院校机械类、仪器仪表及机电结合类各专业一门重要的技术基础课程，是由互换性和检测技术这两个密切联系的部分组成。通过本门课程的讲授，可使学生获得互换性、标准化、测量技术及精度设计的基本知识和基本技能，为学生毕业后从事机电产品的设计、开发和科研工作打下坚实的基础。

本书打破了以往教材按标准划分章节和内容受宣贯国家标准影响较深的旧体系，以互换性和精度要求为主线贯穿全部内容。在结构上，划分为基础部分、典型件部分、多尺寸部分和检测部分四大部分；在内容上，注重基础知识和实践应用。在阐述互换性原则的同时，强调精度要求，各章均从使用要求、研究加工误差出发展开讨论，再给出具体的控制误差项目及其选择与应用。从理论到实践，从简单到复杂，符合认识和讲授规律，教材的脉络清晰、系统性好。同时，删除了许多陈旧无用的内容，并考虑到许多院校最后进行实验和部分专业不讲量规设计，因而将检测部分列在最后两章中。这样便于教师在讲授不同专业、不同学时课程时，可方便地取舍各章节而不破坏教材的系统性。

本书是由东北、华北、华南、西南、西北地区六所专业各有侧重的高等院校，根据全国高等工科学校本课程的教学大纲和教学基本要求，结合几十年来的教学经验，通力合作编写。邵晓荣、段福来主编，鄂峻峭主审。

本书可供高等院校机械类、仪器仪表类及机电结合类各专业作为教材使用，也可供从事机械设计与制造、标准化及检测等工作的工程技术人员参考。

限于作者的水平，书中难免有谬误，敬请读者批评指正。

编者

1998.2

目 录

前言

基 础 部 分

第一章 绪论	1
第一节 互换性概述	1
第二节 精度要求与加工误差的评定	3
第三节 标准化与优先数系	4
第四节 本课程的特点与任务	6
第二章 几何量的加工误差和公差	7
第一节 几何量的加工误差	7
第二节 公差与配合的基本术语及定义	8
第三节 公差与配合的国家标准	12
第四节 形位公差及其公差带	20
第五节 表面粗糙度	30
第三章 形位公差与尺寸公差的关系	34
第一节 基本概念	34
第二节 公差原则	36

典 型 件 部 分

第四章 孔与轴类件的精度设计基础	41
第一节 孔与轴类件的使用要求	41
第二节 尺寸公差与配合的选用	41
第三节 形位公差的选用	55
第四节 表面粗糙度的选用	58
第五节 滚动轴承的公差与配合	60
第五章 键联结的互换性	67
第一节 概述	67
第二节 平键的公差与配合	68
第三节 矩形花键的公差与配合	70
第六章 渐开线圆柱齿轮传动的互换性	75
第一节 齿轮传动的使用要求	75
第二节 影响传递运动准确性的误差及其评定参数	75
第三节 影响齿轮传动平稳性的误差及其评定参数	81
第四节 影响齿轮载荷分布均匀性的误差及其评定参数	84
第五节 影响齿轮传动侧隙的误差及其评定参数	87
第六节 控制齿轮副传动和安装误差的检测参数	88
第七节 《渐开线圆柱齿轮精度》国家标准及其应用	91
第七章 螺纹联接的互换性	102

第一节	螺纹联接的使用要求和基本牙型	102
第二节	影响互换性的几何参数误差	104
第三节	作用中径及其合格条件	105
第四节	普通螺纹的公差与配合	107

多 尺 寸 部 分

第八章	尺寸链	111
第一节	尺寸链的基本概念	111
第二节	尺寸链的分析与计算	113
第三节	保证装配精度的其它工艺措施	118

检 测 部 分

第九章	测量技术基础	121
第一节	测量单位和量值传递	121
第二节	测量器具和测量方法	124
第三节	测量误差与数据处理	126
第四节	测量器具的选择	130
第十章	光滑极限量规和位置量规	133
第一节	光滑极限量规的设计与计算	133
第二节	位置量规设计	138
习题与思考题		140

基础部分

第一章 绪 论

现代化工业生产的显著特点是专业化协作的高度社会化的大生产。在生产过程中，要求在保证产品质量的同时，大力提高产品的精度和生产率，以满足飞速发展的科学技术及人们日益增长的物质方面的需求。实现社会化大生产的技术措施是产品应具有互换性及广泛的标准化。这就要求设计者除具备设计能力外，还必须具备互换性、标准化、检测技术等诸方面的知识，本书将系统地介绍与此有关的一些基本概念、基本知识及其实际应用。

第一节 互换性概述

任何机器和产品都是由大小不同、形状各异的零部件组成的。当这些零部件经过一定的机械加工装配在一起时能否顺利组装，装配后是否满足预定的使用性能要求，都与这些产品的互换性有关。因此，产品的互换性要求是基本要求之一。

一、互换性的涵义

产品的互换性(Interchangeability)是指按同一规格标准制成的合格零部件在尺寸上和功能上具有相互替换的性能。且为产品设计与制造的原则。

设计时，产品应按同一规格标准要求；制造时，零部件可分别在不同地区、不同工厂、不同时间完成；装配时，不需要挑选或附加修配，任选其一就能顺利组装，装配后，能满足预定的使用性能要求。这样的生产方式称为互换性生产，生产出来的零部件就称为具有互换性的零部件。因而，互换性生产原则能满足专业化协作生产的要求。

机械制造业中的互换性通常包括几何参数（如尺寸）、力学性能（如硬度、强度）及理化性能（如化学性能）的互换，本课程仅讨论几何参数（几何量）的互换。

零部件应具有互换性不仅是使用者的要求，也是生产制造者的要求。

在加工过程中，零部件具有互换性要求后，就可将一部机器中的所有零部件分散到不同工厂、不同车间进行专业化生产，然后再集中到一个工厂进行装配。另外，加工中还可以采用高效率的专用设备，进而实现生产过程的自动化，既可促进自动化生产的发展，也有利于降低加工成本，提高产品质量。

在装配过程中，零部件具有互换性要求后，就可在装配时从按同一标准制成的合格零件中任取其一，不挑、不选就能顺利组装，使装配过程能够连续而顺利地进行，从而大大缩短了装配周期。也可以采用流水作业方式，使装配生产率大大提高（如汽车的总装线）。

在使用维修时，产品具有互换性后，某些易损的零部件一旦损坏，可以方便地用同一规格的配件更换，而不致影响整部机器的使用。例如，我们日常生活中使用的自行车、手表，机

械产品中的齿轮、滚动轴承，其它的产品如汽车、拖拉机、农业机械等，当它们之中的某些零部件损坏时，可以用新的迅速更换，将会大大缩短维修时间，节约修理费用，保证了机器工作的连续性和持久性。尤其在修理影响范围大的重要设备（如大型发电设备），零部件具有互换性的意义就更加明显了。

既然互换性是现代化生产的生产原则，就应该在设计时切实遵循。不但在大批量生产时要求互换性，而且在单件，小批生产时也必须遵循互换性原则。

二、互换性的种类

根据零部件互换性的程度与范围不同，可以分为完全互换和不完全互换。

1. 完全互换

按同一标准规格设计的零件加工后，装配或更换时不需要挑选、调整或附加修配，装配后能保证预定的使用性能要求。这样的零件具有完全互换性，如齿轮、轴、端盖、螺钉、螺母等。

完全互换性有利于组织专业化协作生产，并可实现加工和装配过程的机械化、自动化，大大提高劳动生产率，降低生产成本，同时也有利于维修。但是，当装配精度要求很高时，采用完全互换将使各零件的尺寸变动范围很小，造成加工困难，甚至于无法加工。因此可采用不完全互换法。

2. 不完全互换

在有限的范围内可以互换（又称有限互换）。通常采用分组装配法、调整法、修配法等工艺措施来实现。

分组装配法是将相配合的两个零件，按现场加工的经济性规定合适的尺寸变动范围。加工后，经精确测量将零件按实际尺寸的大小分组（通常分为2~4组），装配时采用按对应组大配大、小配小的措施，使装配后的配合精度达到很高的要求。这样，既可保证装配精度的要求，又可解决加工困难的问题，生产成本大大降低。采用分组装配法时，对应组内的零件可以互换，非对应组之间不能互换，所以称为不完全互换或有限互换。例如，滚动轴承中的滚动体与滚道，发动机活塞与活塞销等，都是分组装配法的实例。

调整法也是一种保证装配精度的工艺措施。它是指在装配时，预先设置某个可以补偿误差的特殊零件，通过调整它的尺寸，达到装配精度的要求。这种特殊零件一般称为补偿件或调整件。调整法在生产实际中应用很广，例如一般减速器中经常采用不同厚度的垫片作为调整件，来调整齿轮副或蜗杆副正确的啮合位置；用螺钉改变轴承外圈的位置来调整轴承的游隙；机床中常用镶条、锥套、调节螺旋副等作为调整件，来保证其装配精度。由于调整件的尺寸是按装配时各零件的实际尺寸综合进行调整的，装配后，如欲更换任一零件时，均需重新调整或更换调整件，所以调整法属于不完全互换。

修配法是另一种工艺措施。它是在装配地点对某一零件的指定部位进行辅助加工，以达到装配精度的要求。由于按修配法装配后，如欲更换某个零件时，可能要对修配件重新修配，所以修配法属于不完全互换。

综上所述，完全互换性通常简称互换性，它是以零、部件在装配或更换时不需要挑选或修配为条件的，区别于不完全互换。一般而言，对于厂际协作适宜选择完全互换，而不完全互换仅限于厂内的生产装配。无论是采用完全互换还是不完全互换，都应根据具体情况，在设计时事先确定。

第二节 精度要求与加工误差的评定

机械产品除具有互换性要求外，还有精度要求，这项要求同样是机械产品的基本要求之一。

一、精度及精度要求

在机械产品中，几何精度通常简称为精度 (Accuracy)，它是指零部件的实际几何形体与理想几何形体相接近的程度，包括尺寸、形状相互位置的精度。

零件的几何形体是通过加工后得到的。在实际生产中，任何加工方法都无法将零件制造得绝对准确，总是存在加工误差。精度要求得越高，则加工误差应越小。

各类机械产品对精度的要求是不同的。例如车间用的精度最低的 $630\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的划线平台，工作面的平面度误差要求不大于 0.07mm ；而 0 级千分尺测砧平面的平面度误差则要求不大于 $0.6\mu\text{m}$ ；直径为 $\phi 100\text{mm}$ 的轴，按中等精度要求，尺寸误差不大于 0.035mm ，高精度要求时，尺寸误差不大于 0.015mm 。

随着科学技术的发展和生产水平的提高，对产品几何精度的要求也越来越高。例如用于精密配合的 $\phi 100\text{mm}$ 的轴，尺寸误差不大于 0.006mm ；而 10mm 的 00 级量块的尺寸误差则不大于 0.00012mm ；大规模集成电路，要在 1mm^2 的硅片上集成数以万计的元件，其上的线条宽度约为 $1\mu\text{m}$ ，允许的 shape 和位置误差仅为 $0.05\mu\text{m}$ 。

由此可见，要保证零部件及产品的精度要求，必须将加工误差限制在一定的范围，并应在零件加工后给予正确的评定。

二、加工误差的限制与评定

机械加工的零件总是存在有各种误差 (Error)，由于产品的精度要求不同，允许其误差的大小也不同。同时，为了满足互换性的要求，也应使同一规格的零部件的几何参数接近一致，即必须限制加工误差的大小。对于加工误差的限制与评定，主要从以下两方面进行。

1. 公差 (Tolerance)

允许零件几何参数的变动范围称为公差。公差是限定零件加工误差范围的几何量，是保证互换性生产的一项基本的技术措施。因此，对有互换性和精度要求的零件，就可以用公差来控制其加工误差，以满足互换性和精度的要求。另外，零件的尺寸大小一定时，给定的公差值越小，精度就越高，但随之而来的是加工越困难。所以设计者不能任意规定公差值，必须按国家标准选取公差数值。

2. 检测 (Inspection and Measurement)

即检验和测量，是将被测几何参数与单位量值进行比较或判断的过程，由此确定被测几何参数是否在给定的极限范围之内。零件在加工中或加工后是否达到了要求，其误差是否在给定的公差范围内，这些都需要按一定的标准进行正确的检验和测量，因此检测是保证互换性生产的又一基本措施。因为检测本身也有误差，导致将合格品误判为废品，或将废品误判为合格品，所以应从保证产品质量和考虑经济性这两方面综合加以解决，并制订和贯彻统一的检测标准。

第三节 标准化与优先数系

标准化是指制订标准和贯彻标准以促进经济全面发展的全部活动过程。要实现互换性生产，就要求广泛的标准化。一切标准都是标准化活动的结果，而标准化的目的，又是通过制订标准来体现的，所以制订标准和修订标准是标准化的基本任务。

一、标准

标准 (Standard) 是指对重复性事物和概念所做的统一规定。它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础，经有关部门协调一致，由主管部门批准，以特定的形式发布，作为共同遵守的准则和依据。我国现已颁布实施的《标准化法》规定，作为强制性的各级标准，一经发布必须遵守，否则就是违法。

根据不同的适用范围，我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准、企业标准四个层次。

国家标准 (代号 GB) 是由国务院标准化行政主管部门制订，在全国范围内统一的技术要求。主要包括：有关通用的名词术语、公差配合等基础标准；基本原料、材料标准；通用的零部件、元器件、构件、配件和工具，量具标准；通用的试验方法和检验方法的标准；有关安全、卫生 and 环境保护的标准等几方面。

行业标准 (代号 ZB) 是对那些没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求所制订的标准。如机械标准 JB、冶金标准 YB、石油标准 SY、轻工标准 QB、邮电标准 YD 等。在公布国家标准之后，该行业标准即行废止。

地方标准 (代号 DB) 是对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生要求等所制订的标准。在公布了相应的国家标准或行业标准之后，该项地方标准即行废止。

企业标准是对没有国家标准和行业标准的產品，可制定企业标准，作为组织生产的依据。对已有国家标准或行业标准的，国家鼓励企业制订严于国家标准或行业标准的企业标准，在企业内部适用。有利于提高产品的质量。

二、标准化

标准化 (Standardization) 是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中，对重复性事物和概念，通过制定、发布和实施标准，达到统一，以获得最佳秩序和社会效益的有组织的活动过程。

标准与标准化虽然是两个不同的概念，但又有着不可分割的联系。没有标准，也就没有标准化；反之没有标准化，标准也就失去了存在的意义。

目前标准化已渗透到社会的各个方面，通过制订、发布和实施的手段，使标准达到统一，可以获得最佳秩序（如最佳的生产秩序、工作秩序等）和最佳社会效益（如最大限度地减少不必要的劳动消耗，增加社会生产力）。显然，标准化的意义在于积极地推动社会的进步和生产的发展，其作用是很重要的。

三、优先数和优先数系

优先数系 (Series of Preferred Numbers) 是国际上统一的数值分级制度，是一个重要的基础标准。我国也采用这种制度，国家标准为 GB 321—80《优先数和优先数系》。

在生产中，为了满足用户不同的需求，产品必然出现不同的规格，有时，同一产品的同一参数也要从小到大取不同的数值。这些数值的选取，直接影响到加工过程中的刀具，夹具、量具等的规格数量。为了便于组织互换性生产和协作、配套及维修，合理解决要求产品多样化的用户同只生产单一品种的生产者之间的矛盾，就需要对各种技术参数的数值进行简化和优选，最后统一为合理的标准数系，以便使设计者优先选用数系中的数值，使设计工作从一开始就纳入标准化的轨道。这个标准的数系就是优先数系。它可以使工程上采用的各项参数指标分档合理，并能使生产部门以较少的品种和规格，经济合理地满足用户对各种规格产品的需求。

优先数系是一种十进制的等比数列。所谓十进，是要求在数系中包括 $1, 10, 100 \dots, 10^n$ 和 $0.1, 0.01, \dots, 10^{-n}$ (n 为整数)。所谓等比，是按一定的公比形成的数列。每后一项的数值相对于前一项数值增长率（后项减前项的差值与前项之比的百分比）是相等的，它符合分级均匀的需要。数列中 $1 \sim 10, 10 \sim 100, 100 \sim 1000$ 等称为十进段。每个十进段中的项数都是相等的，相邻段对应项值只是扩大或缩小 10 倍。这种性质有利于简化工程设计。

在现行国家标准中优先数系有五个系列，它们分别是：

- R5 系列 公比为 $\sqrt[5]{10} \approx 1.6$
- R10 系列 公比为 $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$
- R20 系列 公比为 $\sqrt[20]{10} \approx 1.12$
- R40 系列 公比为 $\sqrt[40]{10} \approx 1.06$
- R80 系列 公比为 $\sqrt[80]{10} \approx 1.03$

在 $1 \sim 10$ 这个十进段中，R5 数系除 1 以外包括 5 个优先数：1.6, 2.5, 4.0, 6.3, 10；R10 数系包括 10 个优先数，它们是按 1.25 的比例中项插入 R5 的 5 个数值之中。其余类推。其中 R5、R10、R20、R40 为基本系列，其常用值列于表 1-1。R80 为补充系列。

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				3.15				8.50
		1.80	1.80	4.00	4.00	4.00	4.00			9.00	9.00
			1.90				4.25	10.00	10.00	10.00	10.00
	2.00	2.00	2.00			4.50	4.50				
			2.12				4.75				

在设计任何产品时，对主要尺寸及参数都应采用优先数。通常，一般机械的主要参数按 R5 或 R10 系列；专用工具的主要尺寸按 R10 系列；通用型材、零件、工具的尺寸及铸件的壁厚尺寸等按 R20 系列。

第四节 本课程的特点与任务

本课程是机械类、仪器仪表类、机电结合类各专业的一门重要的技术基础课。通过这门课程的学习，可以获得互换性、标准化及检测技术方面的基本知识，初步掌握精度设计的基本技能，为今后从事机电产品的设计、开发和科研工作打下坚实的基础。

本课程是由互换性和检测技术两个密切相关的部分组成的。前者主要通过课堂的讲授和学习，后者则通过实验来掌握。课程的特点是：术语代号多，具体规定多；各类标准多，查表选择多；实践性强，实用性强。对于习惯逻辑推导而缺乏实践的同学们，在学习过程中，要紧紧抓住精度和互换性这条贯穿全课程的主线，通过不断地总结、对比、归纳，掌握课程内容的内在联系，起到举一反三的作用。在学完本课程后应达到以下要求：

- (1) 掌握互换性、标准化、检测技术方面的基本概念、基本术语和定义；
- (2) 基本掌握本课程中几何量公差的主要内容和应用原则；
- (3) 初步学会根据机器的不同功能要求进行精度设计；
- (4) 能够将各项公差要求正确标注在图样上；
- (5) 初步掌握测量器具和常用几何量的检测。

总之，本课程是连接基础课和专业课的桥梁。其内容和要求除了通过课程学习外，还有待于在后续课程《机械零件》、《机械制造工艺学》等的学习中，特别是在课程设计和毕业设计中继续实践提高。

第二章 几何量的加工误差和公差

机械产品通常是由许多经过机械加工的零部件组成的。因此，在加工、测量和装配过程中都不可避免会产生各种误差。为了满足产品的互换性和精度要求，就必须控制这些误差，特别是加工误差。本章将讨论加工中出现的各种误差，着重介绍控制这些误差的公差项目及国家标准中的有关内容，为以后各章奠定基础。

第一节 几何量的加工误差

任何机械零件都是由尺寸不同、形状各异的若干个表面所形成的几何体，是经过各种机械加工后形成的。加工中，由于种种原因，使得几何量会产生各种误差，通常分为尺寸误差、形状误差、相互位置误差和表面微观几何形状误差（表面粗糙度）。

一、尺寸误差

1. 尺寸误差的性质 尺寸误差 (Size Error) 是指零件的实际尺寸与其理想尺寸的差异。包括直线尺寸误差、中心距误差及角度误差，是最基本的误差形式（见图 2-1 中的 A）。加工时，对同一零件的尺寸，一般都可以采用不同的方法及加工工艺来制造，因此尺寸误差的变动也不一样。一批零件的尺寸误差大小和方向不变或有规律地变化，称为系统误差。可以设法消除或减小；尺寸误差大小和方向均变化不定，即数值分散，称为随机误差。无法消除或减小，但这种数值分散往往具有统计性，一般按正态规律分布。

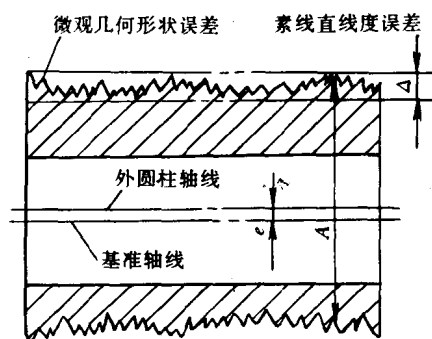


图 2-1 各种加工误差

系统误差的产生主要是由加工时刀具的定值误差、机床—夹具的定值系统误差及测量时测量器具的刻度误差等引起的。随机误差的产生原因较多，例如加工时温度的波动变化、材料不均匀、工艺系统的振动、工件的装夹，测量时周围条件的变化等各种因素。无论哪种因素对随机误差的大小都不起决定性作用。

2. 尺寸误差对零件功能的影响 尺寸误差的大小直接反映了零件尺寸精度的高低，对零件功能的影响主要是：影响两个配合件（如孔和轴）之间的松紧程度（即配合性质），尺寸误差过大，会使配合性质发生变化；影响两个配合件之间的顺利组装，如尺寸误差使螺孔小于螺栓，则难以顺利旋入；影响零件的其它功能，如量块的尺寸误差直接影响其所体现的标准尺寸大小，拉丝模孔径的尺寸误差直接影响拉出丝的直径尺寸精度等。因此对尺寸误差应给予控制。

二、形状误差和位置误差

1. 形状误差和位置误差的性质 形状误差 (Form Error) 和位置误差 (Position Error) 是指构成零件的几何形体的实际形状对其理想形状、几何形体的实际位置对其理想位置的变动

量（见图 2-1 中的 Δ 、 e ）。简称形位误差。

形位误差的产生主要是由机床—夹具—刀具—零件组成的工艺系统的误差所致，另外，在加工过程中出现的载荷及受力变形、热变形、振动、磨损等各种干扰，也会使被加工的零件产生形位误差。

2. 形位误差对机器使用性能的影响 形位误差的大小是反映零件精度的一项很重要的指标，对机器使用性能的影响主要是：影响两个相配合零件的配合性质。如轴的尺寸符合要求，但形状弯曲了则不能保证与孔的配合性质；影响两个配合件的顺利组装，如与花键孔相配合的花键轴，加工后的外径、内径和键宽尺寸均符合要求，但由于各键的相互位置误差过大，则难以顺利装配；影响机器的其它功能要求，如印刷机的滚筒形状误差过大直接影响印刷质量，测量用的平台平面度误差过大直接影响测量精度，活塞的形状误差过大直接影响其工作性能和密封性。总之，形位误差对机床、仪器、刀具、量具等各种机械产品的安装精度、工作性能、联接强度、密封性、耐磨性以及工作平稳性都有很大的影响。特别是对精密机械、精密仪器以及经常在高温、高速、重载条件下工作的机械，其影响更为严重，因此对形位误差必须给予控制。

三、表面微观几何形状误差（表面粗糙度）

1. 表面粗糙度的性质 表面粗糙度（Surface Roughness）是指加工表面上具有较小的间距和峰谷所形成的微观几何形状误差。通常它的波距在 1mm 以下（图 2-1）。

表面粗糙度误差的产生主要是由于切削过程中切屑分离时工件表面金属的塑性变形、撕裂、机床的振动、摩擦等多种因素引起的。

2. 表面粗糙度对零件使用性能的影响 表面粗糙度数值的大小是零件表面质量高低的重要指标，对零件的使用性能及寿命影响很大，尤其对在高温、高压、高速、重载等条件下工作的零件更为重要。主要影响零件的耐磨性、工作性能、配合性质、疲劳强度、密封性、抗腐蚀性等。另外，也影响检测精度和外形的美观。因此，对粗糙度也必须给予控制。

第二节 公差与配合的基本术语及定义

公差是尺寸公差的简称，用来控制零件尺寸误差的变动范围。“公差与配合”则是一项应用广泛、涉及面较大的重要基础标准。所以在介绍“公差与配合”标准之前，首先应了解并掌握以下的基本术语及定义。

一、有关尺寸的术语及定义

1. 尺寸（Size） 是指用特定单位表示长度值的数字。特定单位为 mm，长度值包括直径、半径、宽度、高度、厚度、深度及中心距等。

2. 基本尺寸（Basic Size） 是指设计时给定的尺寸。孔用 D 、轴用 d 表示。它是根据使用要求，通过强度、刚度计算，并考虑结构及工艺方面的因素，经过圆整而确定的尺寸。基本尺寸应按优先数圆整成标准值，以便减少定值刀具、量具的规格，如图 2-2 中的 $\phi 10$ 、 $\phi 15$ 、 $\phi 20$ 等。但由主要尺寸导出的因变量尺寸和工序间的尺寸不受标准尺寸的限制。如

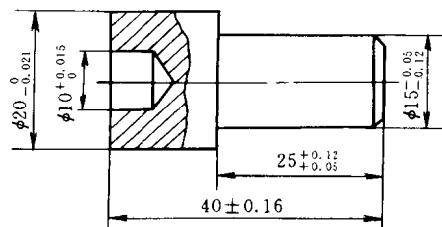


图 2-2 尺寸的标注

齿轮的齿顶圆直径是由分度圆（标准值）导出的尺寸，铰孔前的钻孔直径尺寸受铰孔加工余量的限制，这些尺寸都不能圆整，也不能采用标准尺寸。

基本尺寸是计算偏差的起始尺寸。不是理想尺寸，不能认为零件越接近基本尺寸越好。

3. 实际尺寸 (Actual Size) 是指通过测量所得的尺寸。孔用 D_a 、轴用 d_a 表示。因为任何测量都会有误差存在，所以实际尺寸并非是尺寸的真值。而且不同人员、不同时间、不同环境、采用不同的测量仪器对同一个零件进行测量，所测得的尺寸往往也不相同。另外由于零件形位误差的影响，同一截面不同部位的实际尺寸不会完全相同。如果用游标卡尺或千分尺的两测量点接触测量实际尺寸，测得的值称为局部实际尺寸。

加工零件时，不可能也无必要将尺寸制造得绝对准确，而只需把实际尺寸控制在一定的范围内即可保证零件的互换性及精度要求。

4. 极限尺寸 (Limits of Size) 是指允许尺寸变动的两个界限值。其中较大者称为最大极限尺寸 (Maximum Limit of Size)，孔用 $D_{\max}$ 、轴用 $d_{\max}$ 表示；较小者称为最小极限尺寸 (Minimum Limit of Size)，孔用 $D_{\min}$ 、轴用 $d_{\min}$ 表示。根据设计要求，极限尺寸可能大于、等于或小于基本尺寸。如图 2-2 中小端轴颈处，两个极限尺寸分别为 14.95 和 14.88。

极限尺寸是控制实际尺寸合格的两个界限值。即

$$\text{最小极限尺寸} \leq \text{实际尺寸} \leq \text{最大极限尺寸}$$

二、有关偏差与公差的术语及定义

1. 尺寸偏差 (Deviation) 尺寸偏差简称为偏差，是指某一尺寸减基本尺寸所得的代数差。最大极限尺寸减基本尺寸的代数差称为上偏差 (Upper Deviation)，孔用 ES、轴用 es 表示；最小极限尺寸减基本尺寸的代数差称为下偏差 (Lower Deviation)，孔用 EI、轴用 ei 表示。上偏差与下偏差统称为极限偏差 (Limit Deviation)。实际尺寸减基本尺寸的代数差称为实际偏差 (Actual Deviation)。如图 2-2 中的 $+0.015$ 、 -0.05 等都是上偏差， -0.021 、 -0.120 等都是下偏差。由于极限尺寸可能大于、等于或小于基本尺寸，所以偏差可能为正、零或负值，但上、下偏差不能同时为零。

孔、轴的上、下偏差可以表示为

$$\text{孔上偏差 } ES = D_{\max} - D, \text{ 轴上偏差 } es = d_{\max} - d$$

$$\text{孔下偏差 } EI = D_{\min} - D, \text{ 轴下偏差 } ei = d_{\min} - d$$

2. 尺寸公差 (Tolerance) 尺寸公差简称公差，是指允许尺寸的变动量。它等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值；也等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。如用 T_h 、 T_s 分别表示孔轴的公差，则有计算式

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (2-1)$$

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

公差与偏差是两个不同的概念，应注意区分。公差是不为零的绝对值，而偏差却可以为正、负、零；公差值的大小反映零件精度的高低和加工的难易程度，而偏差仅表示偏离基本尺寸的多少；仅用公差不能判断尺寸是否合格，而两个极限偏差是尺寸合格的依据。

例 2-1 已知孔的基本尺寸为 $\phi 60\text{mm}$ ，最大极限尺寸 $D_{\max} = 60.030\text{mm}$ ，最小极限尺寸 $D_{\min} = 60.000\text{mm}$ ，求孔的极限偏差及公差。

解 孔的上偏差 $ES = D_{\max} - D = (60.030 - 60) \text{ mm} = +0.030\text{mm}$

孔的下偏差 $EI = D_{\min} - D = (60.000 - 60) \text{ mm} = 0$

孔的公差 $T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |60.030 - 60| \text{mm} = 0.030 \text{mm}$

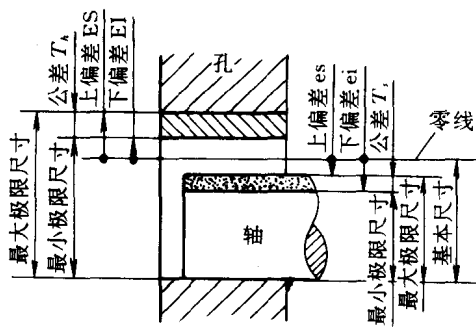


图 2-3 公差与配合示意图

公差带图是学习本课程的一个极为重要的概念及工具。

必须熟练掌握。

公差带是由大小和位置这两个参数确定的，可分别由标准公差和基本偏差确定。

4. 标准公差 (Standard Tolerance) 是指国标规定的、用以确定公差带大小的任一公差。

5. 基本偏差 (Fundamental Deviation) 是指国标规定的、用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差，一般为靠近零线的那个偏差 (图 2-5)。

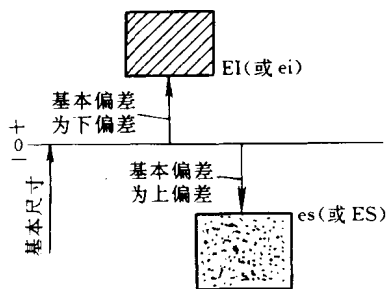


图 2-5 基本偏差示意图

3. 尺寸公差带 (Tolerance Zone) 是指由代表上、下偏差的两条直线所限定的区域。由于基本尺寸和公差、偏差的大小相差悬殊，难以用同一个比例来分析它们之间的关系 (见图 2-3)，则可用公差带图来反映。在公差带图中，用一条基准直线代表基本尺寸，称为零线。用两条平行零线的直线代表上、下偏差，正偏差画在零线上方，负偏差画在零线下方。即构成公差带图，画图时注意标出零线的“0”和“±”号及基本尺寸的数值，如图 2-4 所示

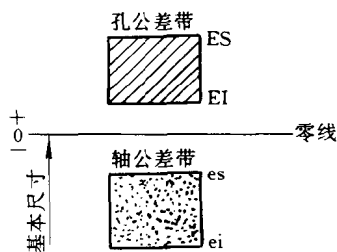


图 2-4 公差带图

三、有关配合的术语及定义

1. 间隙 (Clearance) 或过盈 (Interference) 在孔、轴配合中，孔的尺寸减轴的尺寸所得的代数差，为正时是间隙，为负时是过盈，分别用汉语拼音的 X、Y 表示。

2. 配合 (Fit) 是指基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。当孔与轴公差带相对位置不同时，将有三种不同的配合。它们表示不同的松紧程度。

3. 间隙配合 (Clearance Fit) 是指孔公差带位于轴公差带之上，一定具有间隙 (包括最小间隙为零) 的配合。

由于孔和轴的实际尺寸是允许在一定范围内变动的，所以孔和轴装配后的间隙也是变化的。当孔加工到最大极限尺寸，轴加工到最小极限尺寸时，装配后产生的间隙最大 ($X_{\max}$)；当孔加工到最小极限尺寸，轴加工到最大极限尺寸时，装配后产生的间隙最小 ($X_{\min}$)。最大间隙和最小间隙统称为极限间隙，用公式表示为

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-3)$$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-4)$$

最大、最小间隙的平均值为平均间隙 (X_{av})。其数值为

$$X_{av} = (X_{\max} + X_{\min}) / 2 \quad (2-5)$$

间隙配合的公差带图如图 2-6 所示。

例 2-2 已知孔为 $\phi 60^{+0.03}_0 \text{mm}$ ，轴为 $\phi 60^{+0.01}_{-0.03} \text{mm}$ ，求配合的极限间隙与平均间隙。

解

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei = +0.03 - (-0.03)\text{mm} = +0.06\text{mm}$$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es = 0 - (-0.01)\text{mm} = +0.01\text{mm}$$

$$X_{\text{av}} = [(+0.06) + (+0.01)]/2\text{mm} = +0.035\text{mm}$$

4. 过盈配合 (Interference Fit) 是指孔公差带位于轴公差带之下, 一定具有过盈 (包括最小过盈为零) 的配合。同样, 由于孔和轴的实际尺寸是变化的, 因此配合后每对孔轴之间的过盈量也是变化的, 即存在最大过盈 ($Y_{\max}$) 和最小过盈 ($Y_{\min}$) 这两种极限情况。两者统称为极限过盈。最大、最小过盈的平均值为平均过盈 (Y_{av}) 用公式表示为

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-6)$$

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-7)$$

$$Y_{\text{av}} = (Y_{\max} + Y_{\min})/2 \quad (2-8)$$

过盈配合的公差带图如图 2-7 所示。

例 2-3 已知孔为 $\phi 60^{+0.03}_0\text{mm}$, 轴为 $\phi 60^{+0.06}_{+0.04}\text{mm}$, 求配合的极限过盈与平均过盈。

解

$$Y_{\max} = EI - es = (0 - 0.06)\text{mm} = -0.06\text{mm}$$

$$Y_{\min} = ES - ei = (0.03 - 0.04)\text{mm} = -0.01\text{mm}$$

$$Y_{\text{av}} = (Y_{\max} + Y_{\min})/2 = [(1 - 0.06) + (-0.01)]/2\text{mm} = -0.035\text{mm}$$

5. 过渡配合 (Transition Fit) 是指孔的公差带与轴的公差带相互交叠, 可能具有间隙, 也可能具有过盈的配合。过渡配合是介于间隙配合与过盈配合之间的一种配合, 但其间隙或过盈都不大。另外, 应特别注意, “可能具有间隙, 也可能具有过盈”是对一批孔轴配合而言, 具体一对孔、轴配合时, 它不具有间隙就会具有过盈 (包括间隙和过盈为零), 而不会出现“过渡”情况。

同理, 过渡配合的间隙或过盈也是变动的, 当孔为最大极限尺寸, 轴为最小极限尺寸时, 装配后便产生最大间隙; 当孔为最小极限尺寸, 轴为最大极限尺寸时, 装配后便产生最大过盈。过渡配合没有最小间隙和最小过盈。

在过渡配合中

$$X_{\text{av}} (\text{或 } Y_{\text{av}}) = (X_{\max} + Y_{\max})/2 \quad (2-9)$$

上式计算的结果为正时, 表示 X_{av} , 大多数孔轴配合会出现间隙; 上式结果为负时, 表示 Y_{av} , 情况正好相反。

过渡配合的公差带图如图 2-8 所示。

例 2-4 已知某孔 $\phi 60^{+0.030}_0\text{mm}$ 与轴 $\phi 60 \pm 0.01\text{mm}$ 配合, 求极限间隙 (或过盈) 和平均间隙 (或过盈)。

解

$$X_{\max} = ES - ei = [(+0.03 - (-0.01)]\text{mm} = +0.04\text{mm}$$

$$Y_{\max} = EI - es = [0 - (+0.01)]\text{mm} = -0.01\text{mm}$$

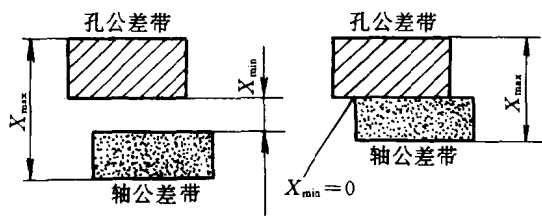


图 2-6 间隙配合

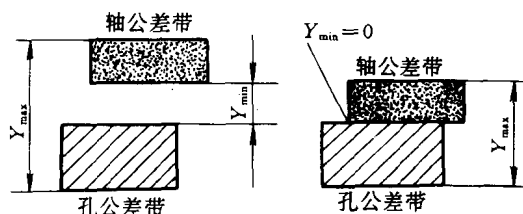


图 2-7 过盈配合