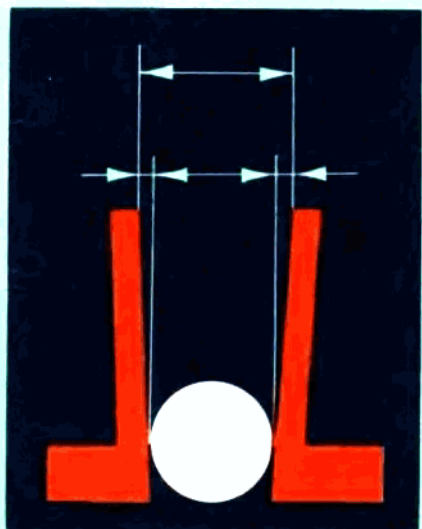


HUHUAXING YU CEBANG

互换性与测量

鄂峻峤 主编



辽宁科学技术出版社

内 容 提 要

本书系根据最近全国高校《互换性与测量技术基础》课程教学指导小组拟定的基本要求和改革精神编写的新教材。

本书整个体系在阐述互换性原则的同时，强调精度要求；章节结构力求做到脉络清晰并符合讲授和认识规律；精选内容，侧重基础知识和实际应用。

本书共分四个部分：基础部分（概论、尺寸误差、形位误差及其公差、表面粗糙度及其评定），典型件部分（孔与轴类件、键类联结件、螺纹件及齿轮传动件的互换性），多尺寸部分（尺寸链计算）和检测部分（测量技术基础和量规设计与计算），共十二章。

互 换 性 与 测 量

Hu huan xing yu Celiang

鄂峻昕 主编

辽宁科学技术出版社出版发行（沈阳市南京街6段1里2号）
沈阳市光华印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：13.75 字数：300,000
1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

责任编辑：马峻 版式设计：于浪
封面设计：秀忠 责任校对：王莉

印数：1—8000

ISBN7-5381-0939-0/TG·16

定价：5.00元

前 言

《互换性与测量》是高等院校各机械类专业的一门重要的技术基础课，它授予学生在学业中必须了解和掌握的设计、制造、检测和管理以及它们之间的联系的基础知识。

本书根据1989年全国高等工业学校《互换性与测量技术基础》课程教学领导小组拟定的课程教学基本要求和改革精神，集中东北、华北、华东、华中、华南、西北及西南各区的十二所院校多年的教学经验，通力合编而成。

本书特点：（1）整个体系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；（2）加强基础知识和实际应用内容，编入适量习题；（3）在结构上明确分为四个部分（基础部分、典型件部分、多尺寸部分和检测部分），共计十二章。顺序的改动和章节的划分力求做到脉络清晰并符合讲授和认识规律。考虑到许多院校最后进行实验和部分专业不讲授量规设计，把检测部分列为最后两章。

本书可供高校各机械类专业作为教材使用，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。

限于我们的水平和条件，书中难免存在缺点和错误，敬希读者多加指正。

编 者

1990年3月

主 编 鄂峻峽

主 审 何 贡

编 者 (按姓氏笔画为序)

艾 佳 生成德 刘正国 刘奕德 金嘉琦

赵 容 姜乃厚 段福来 章玉林 鄂峻峽

曾焕浪 潘世荣

审 者 何 贡 严忠锦 于秋恩

目 录

基础部分

第一章 概论.....	1
§1-1 机械产品中的两个基本要求.....	1
§1-2 加工误差的控制.....	3
§1-3 标准化与优先数系.....	4
第二章 尺寸误差及其公差.....	9
§2-1 尺寸误差.....	9
§2-2 尺寸公差与配合的基本术语.....	11
§2-3 标准公差与基本偏差系列.....	19
第三章 形位误差及其公差.....	35
§3-1 形位误差.....	35
§3-2 形位公差与公差带.....	39
§3-3 形位公差的选择.....	52
第四章 形位公差与尺寸公差的关系.....	58
§4-1 独立原则.....	58
§4-2 相关原则.....	59
第五章 表面粗糙度及其评定.....	66
§5-1 表面粗糙度对零件使用性能的影响.....	66
§5-2 表面粗糙度的评定.....	67
§5-3 评定参数的选择及图样标注.....	70

典型件部分

第六章 孔与轴类件的互换性.....	77
§6-1 孔与轴类件结合的使用要求.....	77
§6-2 基准制的确定.....	77
§6-3 公差等级的选择.....	80
§6-4 配合的选定.....	84
§6-5 滚动轴承的公差与配合.....	99

§6-6	公差与配合选用举例	108
第七章	键类联结件的互换性	113
§7-1	平键联结件的互换性	113
§7-2	花键联结件的互换性	117
第八章	螺纹件的互换性	124
§8-1	普通螺纹件的使用要求和基本牙型	124
§8-2	影响互换性的几何参数误差	126
§8-3	普通螺纹的公差与配合	131
第九章	圆柱齿轮传动的互换性	137
§9-1	齿轮传动的使用要求	137
§9-2	齿轮的误差及其评定指标	138
§9-3	齿轮副的误差及其评定指标	150
§9-4	渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	154

多 尺 寸 部 分

第十章	尺寸链计算	168
§10-1	尺寸链的基本概念	168
§10-2	直线尺寸链的分析与计算	170
§10-3	保证装配精度的其他方法	176

检 测 部 分

第十一章	测量技术基础	180
§11-1	测量单位和量值传递	180
§11-2	测量器具和测量方法	183
§11-3	测量误差和数据处理	186
§11-4	测量器具的选择	191
第十二章	量规设计与计算	195
§12-1	光滑极限量规的设计	195
§12-2	综合量规的设计	204

基础部分

第一章 概 论

提高产品质量和生产率一直是工业生产中设计、制造、计量和管理诸方面的主要课题，本章所介绍的正是与此有关的一些基本概念。

§1—1 机械产品中的两个基本要求

各种机器或仪器均由大小不同、形状各异的若干零部件组合而成。为了保证机器和仪器的工作性能，为了适应现代工业的生产组织形式，这些产品及其零部件必须符合一定的精度要求和互换性要求。

一、精度 (Accuracy)

在机械工业中，几何精度通常简称精度，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。

几何精度包含尺寸精度、形状精度和相互位置精度，它们直接影响产品的工作性能与质量。

零件的几何形体通常是通过加工后得到的。然而任何加工方法都不可能把零件加工得绝对准确，在尺寸、形状和相互位置这三个方面总是存在着一定的加工误差。精度要求越高，即要求加工出现的误差越小。

例如，直径尺寸为 100mm 的轴，工作时若与孔相配合，按中等精度要求，它的误差一般不能超过 0.035mm。须知，一般人的头发直径约为 0.07mm。

又如，车间用的 630×400mm 的划线平台，即使是最低等级的 3 级精度平台，它的工作面的平面度误差也不得超过 0.07mm。

再如，普通车床的床头前顶尖与尾座后顶尖，在装配后应保持等高（轴线重合），一般它的最大误差不允许超过 0.01mm。

这些例子仅是最常见的、要求并不高的尺寸、形状和位置上的精度规定。

随着科学技术的进步、生产水平的提高和工农业发展的需要，对产品及其零部件的几何精度提出了更高的要求。如在重要的配合中，直径为 100mm 的配合轴的 尺寸误差 不允许超过 0.015mm。量具的精度要求则更高，允许误差更小：如 10mm 的 00 级量块的尺寸误差 不允许超过 0.00012mm；0 级千分尺的测砧平面的平面度误差不允许超过

0.0006mm。

从上面的一些例子可看出，欲保证产品及其零部件的一定的精度要求，必须将加工误差控制在一定的范围内。

二、互换性 (Interchangeability)

1. 互换性的意义

在机械工业中，互换性是指按同一标准制成的产品或零部件能够相互替换的性能，它是产品设计与制造的原则。

我们熟悉的生活用的灯泡和自行车、缝纫机、钟表中的零部件一旦损坏，之所以能很快更换新的，就是因为它们具有互换性。各种机器和仪器中的零部件（如图6—41中的齿轮、阶梯轴、端盖和滚动轴承等）都具有互换性。当它们磨损或损坏时，就能够迅速地用新的替换。显然，这会缩短修理时间，节约修理费用，保证机器工作的连续性和持久性，提高机器的使用率。尤其对影响范围大的重要设备及军用品的修复，零部件具有互换性的意义就更大了。

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，按互换性原则进行生产时，各个零件可以分别由不同工厂和车间制成。如图6—41中，滚动轴承是在轴承厂生产制造的，齿轮和轴可能是在不同的车间加工出来的。显然，此生产原则是实现专业化生产协作的基础。另外，由于工作单一，加工质量和生产效率都容易提高。如果工件批量大，还可以采用高效率的专用设备，进而实现生产过程自动化，建立自动化流水线、自动化车间和工厂。

在装配过程中，由于零部件具有互换性，可以在按同一标准制成的零部件中，任取一件进行装配，使装配过程能够连续而顺利地进行，从而缩短装配周期，并进而可采用流水作业方式，使装配生产率大幅度提高。如第一汽车厂的生产就是很好的例子。

既然互换性作为现代化生产的生产原则，那么，就应在设计时必须遵循。设计者应考虑以下几方面问题：

- (1) 从设计上保证互换性生产的顺利进行（如在设计中贯彻标准）；
- (2) 采用具有互换性的标准零部件（这样同时将使设计工作简化，缩短设计周期）；
- (3) 确定备件及其数量；
- (4) 选定互换性的类别，以保证装配精度（见第十章尺寸链计算）；
- (5) 提供整个产品贯彻标准的有关资料，作为评价产品质量和接受监督检查的依据。

应该指出，互换性作为现代化生产的生产原则，不但是大批、大量生产的基础，而且也是单件、小批生产必须遵循的基本原则。

2. 互换性的种类

根据零部件互换性的范围和程度不同，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（无论是否在同一工厂加工，无论加工批量大小），加工后，在装配或更换时，无需进行挑选、调整或附加修配，在安装

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。如常用的螺钉、螺帽，机器中的齿轮、轴，以及滚动轴承部件的内、外圈等，都具有完全互换性。

(2) 不完全互换：当对零部件的精度要求很高时，例如要求相配合的孔与轴之间的间隙变动范围很小（如 $0.010\sim 0.016\text{mm}$ ），又要求孔和轴都具有完全互换性，这样孔和轴的尺寸变动范围很小（即加工后孔与孔之间、轴与轴之间的差别很小）才行。可想而知，差别越小，加工越困难。此时，可把孔与孔之间、轴与轴之间变动范围放大，以易于加工；在加工后，将这一批所有的孔和轴按实际尺寸的大小各分成几组，使每组内零件的尺寸差别比较小。在装配时，把对应组的孔与轴进行装配，即大尺寸组的孔与大尺寸组的轴装配，小尺寸组的孔与小尺寸组的轴装配，从而达到装配后的间隙差别不大，以满足装配精度要求。采用这种分组装配时，同组内的零件可以互换，而大尺寸组与小尺寸组之间的零件不能互换，其互换范围是有限的，这类不完全互换又称有限互换（详见第十章）。

为了保证装配精度，经常也采用调整法。它是指在装配各组成零件时，再装进一个对原结构毫无影响的、但能补偿误差的特殊零件，通过对它的尺寸的调整，达到装配精度要求。这种特殊零件一般称为补偿件或调整件。如图6—2中轴承端盖上的垫片，在装配时可选择不同的垫片厚度，以调整轴承外圈的侧端与轴承盖的底端之间的轴向间隙，补偿温度变化的影响。

另外，还有修配法。它是在装配地点对某一零件的预先指定的部位进行辅助加工，以保证装配精度要求的工艺措施。经辅助加工的零件不具有互换性。

完全互换性通常简称为互换性，它是以零部件在装配或更换时不需要挑选或修配为条件，区别于不完全互换。一般而言，对于厂际协作应采用完全互换；而不完全互换仅限于厂内的生产装配。

无论采用完全互换或不完全互换，都是根据具体情况，事先在设计时就要确定的。

综上所述，欲达到产品及其零部件的互换性要求，也必须将加工误差控制在一定的范围内。

§1—2 加工误差的控制

在加工过程中，由于各种因素的影响，零件的尺寸、形状（包括表面微观几何形状）以及相互位置等几何量难以达到理想状态，总会有或大或小的误差（Error）。然而，为了达到一定的精度要求，使误差不超过一定范围；为了满足互换性要求，使相同规格的零部件的几何参数接近一致，必须控制各种加工误差。

在设计时控制加工误差，则需规定一定的公差；在加工时和加工后控制加工误差，就要按设计要求进行合理的测量。

一、公差 (Tolerance)

从零件的功能来看，不要求零件几何量制造得绝对准确或相同规格的零件的几何量达到完全一致。如果能合理地控制零件的误差不超出一定的范围，不仅能够满足装配

后的使用要求，也可以使零件在制造时经济合理。这个允许零件几何参数的变动范围称为公差。

公差的数值愈小，即允许误差的变动范围越小，则越难加工。

为了保证零部件的互换性要求，便于全国范围的厂际协作和国际技术合作，为了达到一定的精度要求和标准规定，设计者不能任意规定公差数值，必须选用标准的公差数值。

二、测量

在加工时，零件是否达到要求，在加工后，零件是否符合要求，这都需要按一定的标准进行测量。

但是，在检测过程中不可避免地会产生或大或小的测量误差，这将导致把不合格品误认为合格而予以接收，或把合格品误认为不合格而给予报废。因此要从保证产品质量和经济性两方面加以合理解决，并制订和贯彻统一的检测标准。

§1—3 标准化与优先数系

规定公差及其数值和进行检测必须遵循统一的标准。

一、标准化 (Standardization)

1. 标准

对产品质量（包括精度）的控制和评定，需要统一的标准；在技术上联系和协调不同工厂、不同地区，乃至不同国家的生产与协作，并实现互换性生产，也需要统一的标准。

标准是指对重复性事物和概念所做的统一规定。它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础，经有关部门协调一致，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。

标准是统一的规定。对那些反复使用、重复出现的事物（如产品、零部件）和概念（如术语、方法、代号、量值）制订标准才有实际意义。根据我国现已颁布实施的《标准化法》的规定，作为强制标准的各级标准，一经发布必须遵守，否则就是违法。

根据不同的适用范围，我国的标准分四个层次：国家标准（简称国标，代号GB）、行业标准（原称部标准或专业标准，代号ZB。包括机械标准JB、冶金标准YB、石油标准SY、轻工标准QB、邮电标准YD等）、地方标准（即省、自治区、直辖市标准，代号DB）和企业标准（代号QB）。

对需要在全国范围内统一的技术要求，应当制定国家标准。它由国务院标准化行政主管部门制定。它主要包括有关通用的名词术语、公差配合的基础标准；基本原料、材料标准；重要工农业产品标准；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标准；有关安全、卫生和环境保护的标准等几方面。

对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，可以制定行业标

准。在公布国家标准之后，该项行业标准即行废止。

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，可以制定地方标准。在公布国家标准或者行业标准之后，该项地方标准即行废止。

企业生产的产品没有国家标准和行业标准的，应当制定企业标准，作为组织生产的依据。已有国家标准或者行业标准的，国家鼓励企业制定严于国家标准或者行业标准的企业标准，在企业内部适用。

2. 标准化

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

标准与标准化虽然两个不同的概念，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，标准也就失去存在的价值。

目前标准化已渗透到社会中各个方面，通过制定、发布和实施的手段，使标准达到统一，以获得最佳秩序（如最佳的交通秩序、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劳动消耗，增加社会生产力；如全国信封标准化，促进邮电事业发展等）的根本目的。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；反之，社会的进步和生产的发展又促进着标准化的发展。

3. 国际标准

国际标准 (International Standard) 是指国际标准化组织 (ISO) 和国际电工委员会 (IEC) 所制订的标准，国际标准化组织公布的国际组织所规定的某些标准，以及某些国际组织规定的已为许多国家所公认的标准。

国外先进标准是指有影响的区域标准、工业先进的国家标准及国际公认有权威的团体标准。如欧洲标准化委员会标准 (CEN)、美国国家标准 (ANSI)、日本工业标准 (JIS)、联邦德国标准 (DIN)、苏联国家标准 (ГОСТ)、英国国家标准 (BS)、法国国家标准 (NF)、美国材料与试验协会标准 (ASTM) 等。

采用国际标准是指把国际标准和国外先进标准的内容纳入我国标准化体系，并贯彻执行。

采用国际标准已成为各国技术经济工作的普遍发展趋势。理由是：

(1) 由于产品的质量和数量的提高，要依靠科学技术的进步；国外许多已经解决了的技术问题及先进科技成果，常集中反映在国际标准和国外先进标准中。采用国际标准乃是一种廉价的技术引进。经认真分析，把它们作为依据，有计划、有目标地改进设计和制造工艺，配置一定的生产设备、工艺装备和检测手段，必将促进企业管理，建立正常的生产秩序，确保产品质量的不断提高。

(2) 当前国际市场竞争十分激烈，如不采用国际上普遍承认的技术标准，就生产不出高标准水平的产品，就很难在国际市场上拥有竞争能力。根据国外的一些调查资料表明，影响一些国家的出口贸易的各种原因中，标准化因素占有较大的比例。

(3) 现代化生产的发展趋势是专业化协作替代一厂或一企业全能式生产。协作面已冲破国家之间的界限，形成了世界范围内的专业分工和生产协作。各国遵循和采用国

际标准，正是在国际交流中消除技术壁垒的基本条件。

综上所述，采用国际标准，将有力地促进技术进步、扩大国际协作和增强产品出口创汇能力，是我国实行对外开放政策和提高产品质量的一项重大措施。

二、优先数系 (Series of Preferred Numbers)

规定统一的数值标准，是标准化的重要内容。

在产品设计和制造和使用中，各种产品的性能参数和尺寸规格参数（如产品的承载能力大小、产品规格大小、零件的尺寸大小、公差数值的大小和刀具的尺寸大小等），都需要通过数值来表达。另外，产品参数的数值具有扩散传播性。例如，螺栓的尺寸一旦确定，会扩散传播出螺母的尺寸、检验螺栓用的环规尺寸、检验螺母用的塞规尺寸、加工螺栓、螺母的板牙和丝锥的尺寸、螺栓孔和垫圈孔的尺寸，以及紧固螺母用的扳手的尺寸等。

为了满足不同的需要，产品必然出现不同的规格，因而产品参数的数值即使只有微小的差别，经过反复扩散传播后，也将造成许多相应产品的尺寸规格繁多杂乱，以致给组织生产、协作配套及使用维修带来许多困难。这样，就需要对各种技术参数的数值进行简化和选优，同时协调生产和使用双方的要求，最后统一为几种合理的标准数列，优先选用数列中的数值。

国家标准规定十进等比数列为优先数系，并规定了五个系列。

所谓十进，是要求在数系中包括 $1, 10, 100, \dots, 10^n$ 和 $1, 0.1, 0.01, \dots, 10^{-n}$ 等数（其中 n 为整数）。

所谓等比数列，是按一定公比形成的数列。每后一项的数值相对于前一项数值的增长率（后项减前项的差值与前项之比的百分比）是相等的，它符合均匀分级的需要。

如公比为 1.6 的十进几何数列为 $1, 1.6, 2.5, 4, 6.3, 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, \dots, 1000, \dots$ 。

数列中 $1 \sim 10, 10 \sim 100, 100 \sim 1000$ ，等称十进段。每个十进段的项数都是相等的。相邻段对应项值只是扩大或缩小十倍。此性质有利于简化工程计算。

所谓五个系列，即按五个公比形成的数系，用 $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{40}, R_{80}$ 表示（前四个为基本系列，后一个为补充系列）。

R_5 系列 公比为 $5\sqrt[5]{10} \approx 1.60$;

R_{10} 系列 公比为 $10\sqrt[10]{10} \approx 1.25$;

R_{20} 系列 公比为 $20\sqrt[20]{10} \approx 1.12$;

R_{40} 系列 公比为 $40\sqrt[40]{10} \approx 1.06$;

R_{80} 系列 公比为 $80\sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

如： $> 1 \sim 10$ 之间， R_5 系列为 1.6, 2.5, 4.0, 6.3, 10。有五个优先数； R_{10} 系列为在 R_5 系列中插入 1.25, 2.00, 3.15, 5.00, 8.00，共十个优先数（见表 1—1）。

在 R_5 系列中插入比例中项 1.25，即得 R_{10} 系列。 R_5 系列的各项数值包含在 R_{10} 中， R_{10} 系列的各项数值包含在 R_{20} 中， R_{20} 系列的各项数值包含在 R_{40} 中， R_{40} 系列的各项数值包含在 R_{80} 中。

在R10~R80系列中，都能满足某些产品参数的数值倍增的要求。如R10系列中1, 2, 4, 8……; 1.25, 2.5, 5, 10……。

优先数系是法国人Renard于1887年创造的。

表1-1 优先数基本系列

基本系列(常用值)				计 算 值	
R5	R10	R20	R40		
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000	
				1.06	1.0593
			1.12	1.12	1.1220
			1.18	1.18	1.1885
	1.25		1.25	1.25	1.2589
				1.32	1.3335
		1.40	1.40	1.4125	
			1.50	1.4962	
1.60	1.60	1.60	1.60	1.5849	
				1.70	1.6788
			1.80	1.80	1.7783
			1.90	1.90	1.8836
	2.00		2.00	2.00	1.9953
				2.12	2.1135
		2.24	2.24	2.2387	
			2.36	2.3714	
2.50	2.50	2.50	2.50	2.5119	
				2.65	2.6607
			2.80	2.80	2.8184
			3.00	3.00	2.9854
	3.15		3.15	3.15	3.1623
				3.35	3.3497
		3.55	3.55	3.5481	
			3.75	3.7584	
4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811	
				4.25	4.2170
			4.50	4.50	4.4668
			4.75	4.75	4.7315
	5.00		5.00	5.00	5.0119
				5.30	5.3088
		5.60	5.60	5.6234	
			6.00	5.9566	
6.30	6.30	6.30	6.30	6.3096	
				6.70	6.6834
			7.10	7.10	7.0795
			7.50	7.50	7.4989
	8.00		8.00	8.00	7.9433
				8.50	8.4140
		9.00	9.00	8.9125	
			9.50	9.4405	
10.00	10.00	10.00	10.00	10.0000	

优先数系的五个系列中任一项值均称优先数。理论值是按公比计算得到的，除10的整数幂外，都是无理数，工程技术上不能直接应用。计算值是取五位有效数字，供工程上精确计算用。常用值即通常所称的优先数，取三位有效数字，是经常使用的。化整值

是对基本系列中的常用值进一步圆整，一般取两位有效数字。

在设计任何产品时，对主要尺寸及参数应有意识地采用优先数，使其在刚开始时就纳入标准化轨道。

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、零件及工具的尺寸和铸件的壁厚等按 R20 系列。

优先数系标准是一项重要的基础标准，我国的优先数系标准与国际标准相同。

习 题 一

1. 判断下述说法是否正确（对或错以√或×表示）。

(1) 对大批量生产的同规格零件要求有互换性，单件生产则不必遵循互换性原则。

(2) 遵循互换性原则将使设计工作简化，生产效率提高，制造成本降低，使用维修方便。

(3) 标准化是通过制定、发布和实施标准，并达到统一的过程，因而标准是标准化活动的核心。

(4) 企业标准比国家标准层次低，制定企业标准的目的是为了给企业留有余地，在标准要求上可稍低于国家标准。

(5) R5 系列是指含有 0.5、1、1.5、2、2.5、3、3.5……的数系。

2. 填空：

(1) 在生产中采用的分组装配法，是在_____时就确定了，它属于_____互换。

(2) 为了控制加工误差，在设计时需要规定_____，在制造时需要进行_____。

(3) 保证互换性生产的基础是_____。

(4) R5 系列中 10~100 的优先数是 10、____、____、____、____、100。

(5) 优先数系 R10 系列中 >1~10 的进段中包含_____个优先数。

3. 用框格和连线、箭头，表示互换性、精度、加工误差、公差、测量、标准化之间的关系。

第二章 尺寸误差及其公差

机械加工时不可避免地要产生误差，为了控制误差以保证加工精度的要求，就必须规定合理的公差；为了实现互换性生产，就要实行标准化，以保证所采用的公差值及配合要求既合理又统一。为此，制订了一系列国家标准。

本章着重介绍尺寸加工误差及公差与配合的基本概念和标准的基本内容，并为下述各章奠定基础。

§2—1 尺寸误差

一、加工误差的性质

从一个零件上，只能看到几何参数的形态和大小，从一批相同规格的零件上，可以看到同一几何参数加工误差大小的变化情况，这种变化情况就是制定各项公差数值的依据。

按加工误差的性质，归纳起来可分为系统误差和随机误差两大类。

系统误差：当顺次加工一批零件时，加工误差的大小和方向保持不变，或者按一定规律变化。前者称为常值系统误差，后者称为变值系统误差。例如，钻 $\phi 4\text{mm}$ 的孔，选用 $\phi 3.9\text{mm}$ 的钻头加工，钻出的一批孔都小了 0.1mm ，此误差即为常值系统误差。当使用铰刀对一批零件进行铰孔时，由于工作过程中铰刀不断磨损，引起铰刀直径逐渐变小，故铰出的孔也将逐渐减小，此误差就是变值系统误差。

随机误差：在加工一批零件时，加工误差的大小和方向呈不规则的变化，也就是每个零件的误差是随机出现的，这种误差称为随机误差或偶然误差。产生随机误差的因素很多，如毛坯的大小、材质不均匀、机床刚性不足、夹具变形、加工时有振动等等。

系统误差可以用测量方法事先确定而设法消除或减小。随机误差则不能预先确定和消除，这正是加工误差不可避免的基本因素，也就是必须规定公差的根本原因。

由于存在随机误差，一批零件的同一几何参数大小不一致，也就是数值分散。将这些分散的数值画成统计图，发现具有一定的统计规律性，即随机误差的分布特性。

图2—1中所示为零件尺寸的实际分布曲线，表示在不同尺寸分段内，出现的零件个数（频数）。这个图形基本上遵从正态分布规律，正态分布曲线方程式为：

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (2-1)$$

式中 y —— 概率分布密度;

x —— 工件尺寸;

\bar{x} —— 工件尺寸平均值, 它表征随机误差的分布中心 ($\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$), 为曲线最高点的横坐标;

σ —— 标准偏差 ($\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$), 表示曲线的坡陡程度, 也即数值分散的程度, σ 越小, 曲线越陡, 表示分散程度越小;

n —— 样本工件总数;

e —— 自然对数的底 ($e = 2.7183$)。



图2-1 零件的尺寸实际分布曲线

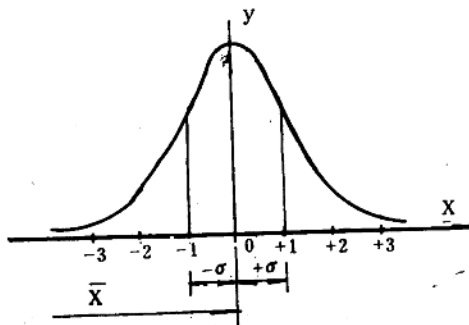


图2-2 正态分布曲线

从图2-2所示正态分布图中, 可以看出下列特征:

(1) 曲线以 $x = \bar{x}$ 的直线为轴, 左右对称, 靠近 \bar{x} 的工件尺寸出现的概率较大, 远离 \bar{x} 的工件尺寸的概率较小。

(2) 相对于 \bar{x} , 正偏差和负偏差出现的概率相等。

(3) 分布曲线与横坐标所围成的面积包括了全部零件数 (即 100%), 故其面积等于 1, 其中在 $x - \bar{x} = \pm 3\sigma$ (即在 $\bar{x} \pm 3\sigma$) 范围内的面积占 99.73%, 即 99.73% 的零件落在 $\pm 3\sigma$ 范围内, 仅 0.27% 的零件在范围之外。因此, 一般取正态分布曲线的分布范围为 $\pm 3\sigma$ 。 $\pm 3\sigma$ (或 6σ) 的大小, 就代表某一种加工方法在一定条件下所能达到的加工精度。所以在一般情况下, 应使所选择的加工方法的标准偏差 σ 与公差带宽度 T 之间具有下列关系:

$$6\sigma \leq T.$$

二、尺寸误差对零件功能的影响

1. 影响配合性质

有的配合要求有间隙, 有的配合要求有过盈。这种间隙和过盈的大小是根据需要而定的, 无论是孔还是轴的尺寸误差, 均将直接影响配合的间隙量或过盈量的大小, 从而影响配合性质 (松紧变化的程度)。

2. 影响可装入性

有些孔与轴的结合只要求不经选配，直接顺利装入即可。如，要求螺栓能顺利穿入螺栓孔中，但由于尺寸误差而出现孔小于轴的情况，则难以装入。为了保证可装入性，允许有较大的间隙，但又不得出现过大的间隙。这样就需要控制孔与轴的尺寸误差。

3. 影响其他使用功能

使用功能的要求很广泛。如，量块的功能是体现标准尺寸，故要求它的尺寸误差很小；又如，拉丝模具的孔径尺寸误差会影响拉出丝的直径尺寸精度，油孔直径的尺寸误差将影响出（进）油量的大小等。

三、加工误差与公差的关系

设计时，根据零件使用要求规定公差；加工时，根据公差选择加工方法。要保证零件符合使用要求，必须使加工误差的分散范围落在公差范围以内。如图2—3所示，用三种不同的方法加工同一种零件，其尺寸分布中心与公差带中心重合，得到不同的正态分布曲线，关系为 $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ 。

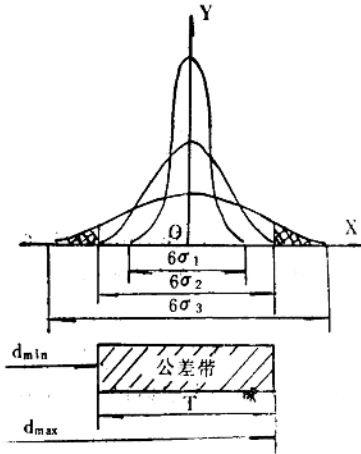


图2—3 加工误差与公差关系

第一种加工方法的随机误差分散范围小于公差，即 $6\sigma_1 < T$ ，说明产品质量高，但未充分利用公差，可能不经济。

第二种加工方法的 $6\sigma_2 = T$ ，理论上99.73%的零件合格，实际上不大会出现废品，所选的加工方法合适。

第三种加工方法的 $6\sigma_3 > T$ ，则会出现尺寸过大或过小的废品，图中网状线的面积即为废品率。

§2—2 尺寸公差与配合的基本术语

一、有关尺寸的术语

1. 孔与轴的概念

孔 (Hole)：主要指圆柱形的内表面，也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分。

轴 (Shaft)：主要指圆柱形的外表面，也包括其他外表面中由单一尺寸确定的部分。

按以上定义，平键的宽度和高度都应分别看成“轴”，而键槽宽度则应看成“孔”。

在公差与配合中，孔和轴的关系表现为包容和被包容的关系，即孔为包容面，轴为被包容面；从加工看，孔的尺寸是由小变大，轴则相反。