

# 几何量精度设计与检测

主 编 马海荣  
副主编 张戌社 孙立媛  
参 编 黄凤山 钱惠芬  
李 兰

机械工业出版社

本书按照高等工业学校“互换性与测量技术基础”课程教学指导小组审定的教学大纲编写。书中采用最新国家标准,以几何量精度设计为主线,力求适应教学的基本要求。全书分上、中、下三篇,共十五章。上篇为基础理论,包括尺寸的极限与配合、形状和位置公差、表面粗糙度及尺寸链;中篇为精度设计,包括零件的尺寸、形状和位置、滚动轴承配合、键和花键联结、渐开线圆柱齿轮、螺纹联结及圆锥配合的精度设计;下篇为零件检测,包括几何量测量基础、零件尺寸、形位误差及圆柱齿轮的检测。

本书可供高等院校机械类设计及制造专业和成人教育同类专业师生使用,亦可供从事机械设计制造、机电一体化、标准化管理、计量测试等工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

几何量精度设计与检测 /马海荣主编. —北京:机械工业出版社, 2004.1

ISBN 7-111-13280-7

I. 几... II. 马... III. ①几何量-精度-设计②几何量-精度-检测 IV. TB92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 097928 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:李万宇

责任编辑:蒋有彩 版式设计:张世琴 责任校对:吴美英

封面设计:姚毅 责任印制:闫焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年1月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·17.5印张·427千字

0 001—5 000册

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010) 68993821、88379646  
封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本课程是机械类和仪器仪表类各专业的一门重要技术基础课。无论是过去、现在还是将来，几何量精度设计与检测都是机械电子工业发展的技术保证。

多年来，由各高校自行组织编写出版或内部发行的本课程教材已达数十种，且各具特色，促进了本学科的兴旺发达。为了更好地改善教学效果，有效地培养学生几何量精度设计的初步能力和检测操作技能，本教材在内容安排和叙述方法上作了更新和一系列改革探索，由基础理论篇、精度设计篇和零件检测篇三大部分组成，全部采用最新的国家标准进行编写。基础理论篇阐述了尺寸的极限与配合、形状和位置公差、表面粗糙度及精度设计基础——尺寸链的主要内容，使学生对本课程有初步的理性认识；精度设计篇则以精度设计为主线贯穿各章节，注重学生的可接受性，采用深入浅出、循序渐进的方式，介绍各精度设计的原则、方法及设计中应注意的事项，从而使几何量精度设计条理化和系统化，便于贯彻“学以致用”的原则；零件检测篇着重介绍了检测基础知识，使学生初步掌握计量器具和测量方法的选择与应用，以及检测的基本技能，在本课程实验指导书（配套教材）中介绍的内容，本书不再重复叙述。本教材可按40~50学时讲授。

本书由马海荣副教授任主编并总纂、定稿。参加本书编写的有：马海荣编写绪论，第一、二、四、五章；张戎社编写第三、十三章；黄凤山编写第八、十、十一章；钱惠芬编写第十四章；李兰编写第十五章；马海荣、李兰编写第六、七章；张戎社、李兰编写第九、十二章、孙立媛参加了收集素材和修改初稿等工作。

本书在编写过程中得到了有关院校的大力支持和帮助，谨在此予以致谢。由于编者的水平所限，书中难免存在缺点和疏漏，恳请广大读者不吝指正。

编者

2003年9月

# 目 录

前言	
绪论	1

## 上篇 基础理论篇

第一章 尺寸的极限与配合	9	第三章 表面粗糙度	77
第一节 基本术语和定义	9	第一节 概述	77
第二节 尺寸的极限与配合国家标准	14	第二节 表面粗糙度的评定	77
第三节 线性尺寸的未注公差	24	第三节 表面粗糙度的应用	81
附表	25	第四节 表面粗糙度的标注	82
第二章 形状和位置公差	30	附表	84
第一节 概述	30	第四章 精度设计基础——	
第二节 形位公差的基本注法	36	尺寸链	88
第三节 形状公差及公差带的特点	43	第一节 尺寸链的基本知识	88
第四节 位置公差及公差带的特点	44	第二节 尺寸链的建立	91
第五节 公差原则	46	第三节 尺寸链的计算	96
附表	60		

## 中篇 精度设计篇

第五章 零件的尺寸精度设计	111	第二节 平键联结的精度设计	153
第一节 零件结合的类型及使用要求	111	第三节 矩形花键联结的精度设计	156
第二节 尺寸极限与配合的合理确定	111	第九章 渐开线圆柱齿轮的精度	
第三节 尺寸极限与配合的正确标注	127	设计	161
第六章 形位精度设计	130	第一节 齿轮传动的使用要求	161
第一节 形位公差项目的选择	130	第二节 渐开线圆柱齿轮的精度	162
第二节 基准的选择	132	第三节 渐开线圆柱齿轮的精度设计	
第三节 形位公差值的选择	136	方法	165
附表	141	附表	174
第七章 滚动轴承配合的精度		第十章 螺纹联接的精度设计	181
设计	144	第一节 螺纹联接的种类及使用	
第一节 概述	144	要求	181
第二节 滚动轴承配合的精度设计		第二节 普通螺纹的主要几何参数	181
方法	145	第三节 螺纹几何精度的分析	183
第八章 键联结的精度设计	153	第四节 螺纹的作用中径及其合格	
第一节 概述	153	条件	186

第五节	普通螺纹的精度设计 .....	187
第六节	机床梯形螺纹丝杠和螺母的精度设计 .....	193
附表	.....	194

第十一章	圆锥配合的精度设计 .....	198
第一节	概述 .....	198
第二节	锥度、锥角系列和圆锥公差 .....	199
第三节	圆锥配合的精度设计 .....	203

## 下篇 零件检测篇

第十二章	几何量测量基础 .....	206
第一节	概述 .....	206
第二节	长度计量单位及其量值传递 .....	207
第三节	计量器具和测量方法的分类 .....	209
第四节	测量误差与测量精度 .....	212
第五节	测量误差的合成及测量结果的表示 .....	218
第十三章	零件尺寸的检测方式 .....	223
第一节	概述 .....	223
第二节	计量器具的选择 .....	225
第三节	光滑极限量规的设计 .....	228
附表	.....	233

第十四章	形状和位置误差的检测 .....	236
第一节	形状和位置误差的检测规定 .....	236
第二节	形状和位置误差的测量 .....	241
第三节	形状和位置误差的评定 .....	247
第十五章	圆柱齿轮的检验 .....	252
第一节	概述 .....	252
第二节	轮齿同侧齿面的检验 .....	252
第三节	径向综合偏差和径向跳动的检验 .....	259
第四节	齿厚和公法线长度的测量 .....	265
第五节	轮齿接触斑点的检验 .....	268
参考文献	.....	271

# 绪 论

## 一、本课程的性质和任务

### 1. 本课程的性质

本课程是高等学校机械工程类各专业的一门极其重要的技术基础课，是联系机械设计课程与制造工艺类课程的纽带，也是从基础课及其他技术基础课教学过渡到专业课教学的桥梁，起到承上启下的作用。本课程由几何量精度设计与检测基础两个联系密切的部分组成。前者以精度的观点来分析研究机械零件及结构的几何参数，属精度设计的范畴；后者是学习检测的基本知识与技能，属计量学的范畴。总之，这两方面的内容都是任何一位机械工程人员必备的基本知识和技能。

### 2. 本课程的任务

本课程的任务就是分析研究机器和仪器中零、部件精度设计的原则和方法，以及确保产品质量的检测技术。为了适应国民经济现代化进程的要求，必须学习和研究几何量精度与检测技术中的最新科研成果。学习完本课程后应达到：

- 1) 掌握本课程中有关国家标准的内容和应用原则，并能够正确查用有关表格。
- 2) 初步学会和掌握零件的精度设计内容及方法。
- 3) 了解各种典型的检测方法，学会常用计量器具的选择和使用。

## 二、机械制造中的几何量精度

产品的质量是企业的生命。现代机械产品的质量，包括工作精度、耐用性、可靠性、效率等。产品质量的高低与其几何量精度密切相关。在进行机器或仪器的设计时，不但要进行总体设计、运动设计、结构设计及强度和刚度的计算，还要在合理设计结构和正确选用材料的前提下进行精度设计，这是因为组成产品的机械零、部件的几何量精度是产品质量的决定因素。实践证明，相同结构、相同材料的机器或仪器仪表，倘若精度不同，它们的质量会相差很大。

通俗地讲，几何量精度是指构成零件几何形体的尺寸、形状和位置精度以及表面的粗糙程度，即加工后它们的实际值与设计要求的理论值相一致的程度。一致的程度用加工后误差的大小反映：当零件的形体一定时，误差大则精度低，误差小则精度高。众所周知，加工误差是零件经加工后客观存在着的，它可分为尺寸（线性尺寸和角度）、几何要素的形状和位置误差，表面的粗糙程度等。为了保证产品质量，就必须保证机械零件的加工质量，这就需要把各种加工误差限制在允许的范围内，即首先确定零件的几何量精度等级。几何量精度究竟应该规定多少？这就是本课程要完成的任务之一，即几何量的精度设计。

## 三、精度设计应遵循的原则

### 1. 互换性原则

在当代机械设计与制造中，无论是大批量生产还是单件小批量生产，都必须遵循互换性原则。它是专业化协作生产的重要条件，也是进行精度设计的最基本原则，因此，需要对它有全面地认识。

(1) 互换性的概念 互换性是指按规定的技术条件和要求（主要是几何量精度要求），分别制造机械产品的各组成部分，使其在装配与更换时，不需任何挑选、辅助加工和修配，就能顺利地装入整机中的预定位置，并能满足使用性能要求。例如汽车、拖拉机……以至人们日常使用的自行车、手表等产品，都需按互换性原则生产。若有零件损坏或丢失，只要用同样规格的备件换上，就可恢复其原有的使用性能。

随着柔性生产系统的出现，互换性原则不仅用于大批量生产，也适应小批量的多品种生产。但它对产品零、部件以及生产线本身的互换性和标准化程度要求更高。

(2) 实现互换性原则的基本技术措施 为了完全满足互换性的要求，最理想的是使同一规格的零、部件的几何参数及功能参数充分一致。但在实践中是办不到的，因为加工误差是永远存在的，同时也是不必要的。实际中仅限制同一规格的零、部件的有关参数（主要是几何参数）在一定的能满足使用性能要求的范围内变动，就能达到互换性的目的。这个允许零件几何参数的变动量就称为“公差”。

合理地规定公差是实现互换性原则的一项基本技术措施。公差过大，不能保证产品质量；公差过小，加工困难，且成本增加。所以在精度设计时，要力求获得技术—经济的最佳综合效益。

按照精度设计要求，生产出来的零件和产品是否满足设计要求，那就要靠正确的检测来保证，所以检测是实现互换性原则的又一项基本技术措施。

(3) 互换性的种类 互换性按其互换程度可分为完全互换（绝对互换）与不完全互换（有限互换）。

完全互换要求同一规格的零、部件在装配或更换时，无需挑选或辅助加工与修配，安装后就能保证预定的使用性能要求。完全互换多用于厂外协作、成批大量生产的零、部件，如普通紧固螺纹、齿轮、滚动轴承等。

不完全互换允许零、部件在装配前有附加选择（如预先分组），或在装配时进行调整（但不允许附加修配），装配后能满足预期的使用要求。不完全互换多用于单件小批量生产的高精度产品，只限于部件或机构的制造厂内部的装配（如滚动轴承组成零件之间）。这是因为当装配精度要求很高时，采用完全互换将使零件尺寸公差很小（加工精度要求很高），加工困难，致使制造成本提高，甚至无法加工。为了解决这一矛盾，在生产中经常采用分组装配法和调整法。

分组装配的具体作法是：将零件的制造公差适当扩大到方便加工的程度，待加工完毕后，再用测量器具将零件按实际尺寸大小分为若干组，使同组零件间的差别减小，按对应组的零件进行装配。此时，仅组内零件可以互换，组与组之间不可互换。需要指出，分组越细，装配精度越高，但应以满足装配精度要求为依据。分组太细将会降低装配效率，提高制造成本；分组太粗将不能保证装配精度要求。

调整法也是一种保证装配精度的措施。调整法的特点是在机器装配或使用过程中，对某一特定零件按所需要的尺寸进行调整，以达到装配精度要求。如减速器中端盖与箱体间的垫片厚度应在装配时作调整，使轴承的一端与端盖的底端之间预留适当的轴向间隙，以补偿温度变化时轴的微量伸长，避免轴在工作时弯曲。又如普通车床的尾顶尖与主轴顶尖连线应与机床导轨平行（即两轴线相对机床导轨等高），为避免出现废品则采用调整的方法进行装配。

采用不完全互换可保证装配精度与使用要求，又可解决加工困难，降低生产成本，但降

低了互换性水平。

究竟采用完全互换还是不完全互换，不能从字面上来看，要由产品精度要求与复杂程度。产量大小（生产规模）、生产设备、技术水平等一系列因素决定。

(4) 互换性的作用 现代化的机械工业首先要求机械零件具有互换性，才有可能将一台机器中的成千上万个零、部件，进行高效率的、分散的专业化的生产，然后集中起来进行装配。因此，应用互换性原则已成为提高生产水平和促进技术进步的强有力的手段之一，其主要作用如下：

1) 从设计过程看，可采用通用化、系列化和标准化的零、部件，简化了设计、计算、绘图等工作，故可缩短设计和试制的周期，并便于用计算机进行高效率的辅助优化设计，从而为产品品种的多样化、系列化和促进产品结构性能的不断改进创造了有利条件。例如，手表采用具有互换性的统一机芯，发展新品种的设计和准备周期都可以缩短。

2) 从制造过程看，互换性是提高生产水平和进行文明生产的强有力手段。加工时，由于各个零件的尺寸都规定有极限偏差，同一部机器的各个零件可以同时分别加工，有利于相互协作。大量应用的标准件还可由专门车间或工厂单独生产，因产品单一、数量多、分工细，可使用高效率的专用设备，进而采用计算机辅助加工，为生产专业化创造了必备条件，这样必然会提高产量和质量，显著降低生产成本。装配时，由于零、部件具有互换性，不需辅助加工，使装配过程能够持续而顺利地进行，故能减轻装配工作的劳动量，缩短装配周期，从而可采用流水线作业方式，乃至进行自动化装配，促进了生产自动化的发展，效率明显提高。

3) 从使用和维修过程看，若零件具有互换性，则零件在磨损或损坏、丢失后，可立即用另一个新的储备件代替（如汽车、拖拉机的活塞、活塞销、活塞环等就是这样的备件），不仅维修方便，且使机器或仪器的维修时间和费用显著减少，保证了机械产品工作的持久性和连续性，从而延长了产品的使用寿命，使产品的使用价值显著提高。尤其对影响范围大的重要设备和军用品的修复，可互换的备件更具有重大意义。如在战场上要求立即更换武器中用坏了的零件，使武器迅速地重新投入战斗；发电厂要求及时地排除发电设备故障，使机器持续发电等。在某些情况下，互换性所起的作用很难用经济价值来计算。

综上所述，在机械制造中遵循互换性原则，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获得最佳的经济效益及社会效益。

## 2. 标准化原则

设计人员不仅要在结构设计中最大限度地选用标准化的零、部件和结构，在精度设计时还必须遵循有关标准，尤其是基础标准。即使是专用零、部件或机构，设计时亦应考虑如何使之标准化的问题。运用标准化成果，创造和发展标准化，已成为现代工业发展的必然趋势。

(1) 标准化的概念 GB/T 3935.1—1996《标准化和有关领域的通用术语 第一部分：基本术语》中，将标准化定义为：为在一定范围内获得最佳秩序、对实际的或潜在的问题制造共同的和重复使用的规则的活动。实际上标准化就是指在经济、技术、科学及管理社会实践中，对重复性的事物（如产品、零、部件）和概念（如术语、规则、方法、代号、量值），在一定范围内通过科学地简化、优选和协调，做出统一规定，经审批后颁布、实施，以获得最佳秩序和社会效益。标准化包括制订、贯彻和修改标准，以促进全面发展的整个过程。

(2) 标准化的分类 在机械工业中,标准可分为基础标准、技术标准、管理标准和工作标准。其中基础标准是为保证产品结构功能与制造质量、一般工程技术人员必须应用的通用性标准,也是制定其他标准时可依据的标准。例如概念、术语、符号、计量单位、优先数系、机械制图和技术通则,以及本教材所介绍的极限与配合、形状和位置公差标准等,都是产品设计和制造中必须采用的技术数据和工程语言,因此,也是几何量精度设计与检测的依据。

标准制定的范围不同,其级别也不一样。在全国范围内统一制定的称为国家标准(GB);在全国同一行业内制定的称为行业标准;在企业内部制定的称为企业标准(QB)。在国际范围内制定的称为国际标准如ISO、IEC等。ISO与IEC分别是国际标准化组织和国际电工委员会的缩写。

贯彻标准是标准化的核心内容,如果只制订标准和颁布标准而不实施,则标准化便失去了它应有的意义,所以标准一经颁布就成为技术法规,任何有关部门和单位都必须遵守。只有当标准实施后,才能真正体现标准化在国民经济中的作用。

### 3. 优化原则

优化原则已经在设计产品结构和力学性能等方面得到了广泛的应用,成为推动科学技术向前发展的捷径。在几何量精度设计中,优化原则体现在公差(精度)优化、数值优化与优先选用等方面。

(1) 公差优化 公差优化已成为当今CAD、CAM和CAPP发展中的关键。为此,应从产品的结构、性能等设计要求、制造装配以及使用可靠性着手,以最低成本为着眼点,应用优化理论,使用计算机综合地模拟设计、制造、装配与使用的整个过程,进行公差值优化,从而获得最佳的精度设计。例如当前在精度等级的设计中,若一味追求高精度,虽然产品质量可得到保证,但成本会急剧地提高;若一味追求低精度,虽然成本可大大降低,但产品质量却不能保证。因此,为解决这种设计与制造、质量与成本之间的矛盾,只能按照在满足使用要求的前提下,选取的精度等级越低越好,这也是公差优化的一种体现。综上所述,公差优化设计必将为精度设计开辟一个崭新的局面。

(2) 数值优化 数值优化是指在精度设计中所使用的数,必须是能够满足工程中数值运行规律的优先数,从而进行科学的技术管理和组织生产,以便创造最佳经济效益。

在工程设计中,若某一种产品的参数值已经确定,则这个数值就会按照一定的规律,向一切有关的制品、材料等有关的单位传播、扩散。如键的尺寸确定后,则与它相配合的键槽的尺寸也就随之确定,继而加工键槽的刀具和量具的尺寸也应当与之对应,并将传播到材料厂、工具厂和设备厂。若一个产品有几千个零件,其每个尺寸如不遵循统一的优化数值系列,就会造成尺寸规格杂乱、繁多,给组织生产、协作配套和使用维修带来莫大困难。可见,产品的参数值不能无序变化,这就提出了对各种参数必须进行优化的问题。在生产实践的基础上,人们对数值总结了一些简化和统一的科学的数值制度,其中GB/T 321—1980《优先数和优先数系》就是在工业中常用的一种。

优先数与优先数系是一种量纲为1的分级数系,它是十进等比级数,共规定了R5、R10、R20、R40、R80五个系列,各系列的公比 $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$ 、 $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ 、 $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$ 、 $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$ 、 $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。优先数系就是由上述公比,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。其中前4个数列为基本数列,

R80 为补充系列。仅在参数分级很细或不能满足需要时才采用补充系列。

优先数系中的任一个项值均为优先数。除 10 的整数幂外都是无理数。在标准中所列的每个数系的数值都已进行了圆整，实际应用时应优先按标准选择。优先数系的基本系列见表 0-1，表中为常用值，取小数点后二位有效数字。

表 0-1 优先数系的基本系列(常用值)(摘自 GB/T 321—1980)

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

为满足生产的需要，还可采用派生系列，即在  $R_r$  系列中，每逢  $p$  项选取一个优先数，组成新的派生系列，以符号  $R_r/p$  表示， $r$  代表 5、10、20、40、80。如  $R_{10}/3$  系列， $r$  为 10， $p$  为 3，其含意为从  $R_{10}$  系列中的某一项开始，每隔 3 项取一数值，若从 1 开始，就可得到 1、2、4、8、... 数系；若从 1.25 开始，就可得到 1.25、2.5、5、10、... 数系。

在设计或标准化工作中，应用优先数系可对各种尺寸、参数、品种、规格等进行合理分档划分系列，或对质量指标进行分档分级，发挥其简化、协调和统一的作用。

本课程中涉及到的尺寸分段公差分级、表面粗糙度参数系列等，就是按优先数系制定的。

(3) 优先选用 优先选用是指在精度设计的过程中，对于相同的系列、相同的等级或档次，在选用时，要按排列的顺序，区分前后进行优先择取。像优先数的不同系列、GB/T 2822—1981《标准尺寸》系列、表面粗糙度系列，以及基准制、轴孔公差带和螺纹公差带等的选用中，都对优先选用作了明确规定。这种规定也是在长期的生产实践中优化的结果。因此，优化选用也是优化原则的组成部分。

综上所述可知，互换性原则是精度设计的目的，标准化原则是精度设计的基础，而优化原则是精度设计的手段，从而构成了精度设计的一个彼此独立而又相互依存的整体。

#### 四、几何量检测

几何量检测是指对零、部件和整机制造完工前后进行测量和验收的过程。它是机械产品质量的可靠保证；是确保互换性生产的基本技术措施之一。在机械产品中，几何量检测所占比重最大。

几何量检测有以下两个目的：一是对加工后的零件做出合格性判断，只要测量得到的几何参数在极限偏差（尺寸）或公差范围之内，则判为合格，否则为不合格；二是通过检测了解产品质量情况，并对生产过程进行分析，寻找产生不合格品的根源，以便调整加工工艺系统，或者采取有效措施，防止不合格品的产生，对保证加工质量起到主动积极的作用。尤其在自动生产线上，几何量检测更具有重要的意义。

从机械工业发展的过程来看，几何量检测技术的发展是与机械加工精度的提高相辅相成的。加工精度的提高，一方面要求并促进检测器具提高测量精度，另一方面，加工精度本身也要通过精确的检测来体现和验证。

随着生产与科学技术的迅速发展，对检测的精度和效率提出了越来越高的要求。产品的竞争实质上是质量的竞争，而产品质量的提高，除设计与加工精度的提高之外，往往更有赖于检测精度的提高。生产自动化程度的发展，产品数量的增长，在一定程度上受到检测效率的制约。因此，提高检测精度和检测效率是检测技术的主要发展方向。当今计算机辅助精密检测技术的迅速发展和微机控制的精密测量仪的普遍使用，大大提高了检测水平，使很多难以用传统方法检测的问题得以解决。目前我国的计量器具也有了长足的发展，自制的各种仪器基本满足了生产的需要，有的已达到了国际水平，如激光光电比长仪、光栅式齿轮整体误差测量仪及纳米级微位移发生器等。同时国际上掀起的纳米技术研究高潮，已将测量精度提高到 1nm，分辨率提高到 0.01nm。这场纳米技术的革命必将对检测技术产生难以估量的长远影响。

在检测过程中，由于各种因素的影响，不可避免地会产生或大或小的测量误差，这些测量误差势必会直接影响到对零件合格性的判断。因此，要从保证产品质量和经济性两方面加以合理考虑，制定并贯彻统一的检测标准。

建国以来，我国先后颁布了一系列有关度量衡的条例和命令。1985 年我国发布了《中华人民共和国计量法》，从而对我国计量制度的统一、量值的准确可靠起到了保证作用。

几何量检测技术的发展，不仅促进了机械工业的发展，而且对其他工业部门，对科学技术，对内外贸易乃至现代社会生活的许多方面，都起着重要的推动作用。

## 五、本课程的特点及学习方法

### 1. 本课程的特点

本课程的特点是：概念多、术语及定义多、具体规定多、符号及代号多、数表多、经验总结多、实践性及实用性强，而逻辑性和推理性少。使刚刚学完理论基础课的学生感到系统性差，内容繁多、枯燥、记不住，实际应用时无从下手。之所以出现这种现象，其原因是多种多样的，但学习方法不当是其中一个极为重要的问题。

### 2. 本课程的学习方法

首先应当了解本课程的主干是国家有关标准。国家标准就是技术法规，要注意其严肃性。在进行精度设计时，既要满足标准规定的原则，又要根据不同的使用要求灵活应用。机械产品的种类繁多，使用要求各异，因此熟练地掌握精度设计的原则和方法不是一件轻而易举的事。

(1) 用对立统一的观点分析和解决矛盾 虽然本课程内容繁杂，零件几何结构形式各异，但归纳起来不外乎以下三对矛盾：

1) 零件的精度与制造之间的矛盾。作为用户总希望产品的精度越高越好，但要提高产品的精度，厂方就需要付出一定的经济代价，这就构成了精度与制造之间的矛盾。为了解决这一矛盾，则应在保证产品使用要求的前提下，对产品规定一个适当的精度，即合理的公差。公差越小就意味着精度要求越高，制造越困难，成本相应也就越高；反之，成本越低。无根据地扩大公差或无原则地减小公差都是不正确的。这就需要设计者掌握精度设计的原则和方法。

2) 零件或部件之间的矛盾。一台完整的机器总是由若干零、部件组成的。这些零、部件并不是随意组合的,它们之间要保持一定的松紧或位距,否则便不能满足使用要求。如要使轴在孔内自由旋转,就必须保证孔、轴之间有间隙,这是起码的条件;同时为了保证正常工作,还必须根据轴的转速、承载大小和特性、工作温度、材料性能、润滑条件、零件尺寸等因素限定间隙的大小。如要保证孔、轴结合后能传递转矩,必须使孔、轴之间有盈量,这是必要的条件,但不是充分的条件;因为为了保证正常的工作,还必须根据材料的强度极限、转距大小、截面尺寸、工作温度、材料的线胀系数,以及表面粗糙度的影响等条件限定过盈量的大小。

解决零件相互间的矛盾,无疑需要确定适当的配合。这就需要设计者掌握如何正确选择配合的知识。

3) 检测精度与检测方法之间的矛盾。为了保证精度设计要求的实施,必须对制造的零件几何参数进行检测,以剔除那些不符合设计要求的零件。因此检测结果是否准确直接关系到产品的质量与经济效益。由于不可避免地存在着检测误差,难免会将本来不合格的零件当作合格品,影响预先确定的精度设计要求;或者将本来合格的零件当作不合格品,造成经济损失。因此,减小检测误差(或称提高检测精度)乃是检测技术要解决的核心问题。检测精度的高低直接取决于检测方法。在实际生产中,并不总是检测精度越高越好,盲目地追求高检测精度会带来不必要的经济浪费,但无根据地降低检测精度要求将会影响零件的质量。所以应按照零、部件的设计精度要求,选择合适的检测方法。

(2) 把握矛盾的个性与共性 若把本课程的各个章节视为许多不同的事物,它们都有自己的独立特性,但它们之间又存在着明显的共性。例如,尺寸的极限与配合明确地规定了标准公差和基本偏差两个基本系列,前者决定配合精度;后者决定配合性质。两者结合起来是学习其他各章的基础。

平键联结的精度设计中虽然讲的几何形体与圆柱不同,但仍可把它们看成是孔与轴的配合。可以把键槽和键分别看作孔和轴,标准中同样对它们规定了标准公差和基本偏差,只是从实际需要出发没有把两者分开列出,而是组合成几种公差带即可满足要求。

圆柱螺纹联接的精度设计中尽管讲的是非光滑圆柱体,但同样与光滑圆柱体有着明显的共性。螺纹的中径和顶径分别规定了基本偏差和标准公差,两者的作用与光滑圆柱体一样。

形状和位置公差介绍的是零件各几何要素的形状和相互位置关系问题。它是为实现预期的配合或其他功能服务的。包容要求主要用于有配合性质要求的场合,目的是使零件在配合面的全长上,任何一处都不超越给定的边界——最大实体边界。该边界是由孔、轴的基本偏差确定的,它决定了孔、轴的配合性质。零件的形位误差包含在尺寸公差带内。最大实体要求则主要用于满足可装配的场合,其前提条件是当孔、轴均处于实效状态时,装配间隙为零。孔、轴共同遵守同一个边界——实效边界。这样可把孔、轴的基本偏差视为零,它决定着配合性质,而尺寸和形位误差的综合结果则决定着配合精度。

根据以上分析可知,无论零件的几何形体是否相同,它们都遵守着一条共同的规律,即内外要素的结合。这条规律贯穿于每个不同的章节,应把它视为主干,而把体现这一规律的两个不同性质的公差和基本偏差分别作为两个支干,这样就可把全书的内容联系在一起,显现出本门课程的规律性和系统性。

(3) 注重本课程的延续性 本课程具有较强的实践性与实用性，它与设计类和工艺类课程有着密切联系，特别是在机械零件课程设计、专业课课程设计和毕业设计中，则更能加深对本课程所学内容的理解，使学生进一步充实、提高、学会应用从本课程获得的知识，初步掌握几何量精度设计的要领。而要达到灵活应用本课程所学知识，熟练正确地进行零件精度设计，还需要经过实际工作的锻炼，不断实践—认识—再实践—再认识，从而对本课程的认识达到一个新的飞跃。

# 上篇 基础理论篇

众所周知，机械产品一般都是由若干个零件和部件装配而成的。影响机械产品质量及性能优劣的主要因素之一则是其零件和部件的精度。精度越高，生产厂家所付出的经济代价就越大。为此，本篇将就机械设计中所涉及到的尺寸的极限与配合、形状和位置公差、表面粗糙度以及精度设计基础——尺寸链的基本知识作简要介绍。显然，掌握这些内容，不仅为学好本课程的内容，而且为最终达到精度设计的目的奠定坚实的基础。

## 第一章 尺寸的极限与配合

尺寸的极限与配合通常指孔与轴的结合，是机械中最广泛采用的一种结合形式。为使加工后的孔与轴能满足互换性要求，必须在设计中采用尺寸的极限与配合标准。该标准是最早建立的、最典型、最基本的，其体系比较完整，已经成为制订机械制造中其他公差标准的基础。

尺寸的极限与配合的标准化，不仅可以防止任意规定尺寸的极限与配合的混乱现象，保证了零、部件的互换性和质量，而且还有利于刀具、量具的标准化，有利于广泛组织专业化生产和国际间的技术交流，所以必须规定统一的、合理的尺寸极限与配合标准。

### 第一节 基本术语和定义

#### 一、有关“尺寸”方面

##### 1. 孔和轴

孔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。

内表面是指两表面相对，其间没有材料，形成包容状态。

外表面是指两表面相背，其外没有材料，形成被包容状态。

单一尺寸是两点之间的直线或弧线距离。

在机械或仪器中，最基本的装配关系是由一个零件的内表面包容另一个零件的外表面所形成的。这里的孔、轴具有广泛的含义，不仅表示圆柱形的内、外表面，而且表示其他几何形状的内、外表面中由单一尺寸确定的部分。在图 1-1 所示的

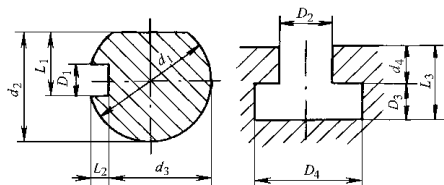


图 1-1 孔和轴定义示意图

各表面中，例如由  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$  各单一尺寸所确定的部分都称为孔；由  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$  各单一尺寸所确定的部分都称为轴；由单一尺寸  $L_1$ 、 $L_2$  和  $L_3$  所确定的部分既不是孔，也不是轴，因为其两表面同向，形不成包容或被包容状态。

## 2. 线性尺寸（简称尺寸）

尺寸是指用特定单位表示长度值的数字。被表示的“长度”是较广泛的概念。长度值包括直径、半径、宽度、深度、高度和中心距等。在技术图样上或在一定范围内已注明共同单位（机械制造中一般常用毫米（mm）为单位）时，均可只写数字，不写单位。

## 3. 基本尺寸（ $D$ 、 $d$ ）

基本尺寸是指设计给定的尺寸。它是设计时根据零件的强度、刚度等使用要求和结构设计，通过计算或根据经验而确定的尺寸。通常应按标准选取，以减少定值刀具、量具、夹具的规格数量。

基本尺寸是计算极限尺寸和极限偏差的起始尺寸。孔和轴配合的基本尺寸相同。

## 4. 极限尺寸

极限尺寸是指一个孔或轴允许的尺寸的两个极端。孔或轴允许的最大尺寸称为最大极限尺寸（ $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$ ），孔或轴允许的最小尺寸称为最小极限尺寸（ $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$ ）。它们是以基本尺寸为基数来确定的。

## 5. 局部实际尺寸（ $D_a$ 、 $d_a$ ）

局部实际尺寸是指零件加工后通过测量获得的某一孔、轴的尺寸。由于存在测量误差，测得的尺寸并非所测尺寸的真值，它只是一个接近真实尺寸的随机尺寸；由于零件表面存在形状误差，所以同一个表面不同部位，以及不同表面处的实际尺寸不尽相同，故常称它为局部实际尺寸（简称实际尺寸）。实际尺寸应采用两点法测量，其目的在于排除形状误差对测量结果的影响。实际尺寸的大小由加工决定，零件的实际尺寸加工得越接近其基本尺寸，它的加工精度不一定越高。

上述尺寸中基本尺寸和极限尺寸是设计确定的，而实际尺寸是对加工后的零件测量得到的。实际尺寸应限制在极限尺寸范围内，即  $D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max}$  或  $d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}$ 。

## 二、有关“公差与偏差”方面

### 1. 尺寸偏差（简称偏差）

尺寸偏差是某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。它分为极限偏差和实际偏差。

当某一尺寸为极限尺寸时，所得的代数差称为极限偏差。最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差；最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差。用公式表示

$$\text{孔的上偏差 } ES = D_{\max} - D \qquad \text{孔的下偏差 } EI = D_{\min} - D$$

$$\text{轴的上偏差 } es = d_{\max} - d \qquad \text{轴的下偏差 } ei = d_{\min} - d$$

当某一尺寸为实际尺寸时，所得的代数差称为实际偏差。用公式表示

$$\text{孔的实际偏差 } E_a = D_a - D \qquad \text{轴的实际偏差 } e_a = d_a - d$$

各种偏差可为正值、负值或零。偏差值除零外，前面必需冠以正、负号。

极限偏差用于控制实际偏差，尺寸合格的零件，其实际偏差应在规定的极限偏差范围内，即  $EI \leq E_a \leq ES$  或  $ei \leq e_a \leq es$ 。

### 2. 尺寸公差（简称公差）

尺寸公差是允许尺寸的变动量。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸或上偏差与下偏差之代数差的绝对值。公差取绝对值不存在负值，也不允许为零，所以公差永远大于零。用公式表示

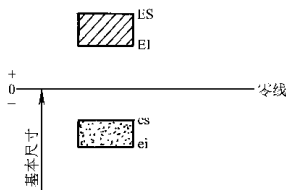
$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (1-1)$$

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (1-2)$$

应当指出，公差与偏差是两个截然不同的概念，公差代表制造精度的要求，反映加工难易程度；而偏差表示与基本尺寸偏离的程度，与加工难易程度无关。

### 3. 零线

零线是指在公差带图中，确定偏差的一条基准直线，即零偏差线。通常零线表示基本尺寸，正偏差位于零线的上方，负偏差位于零线的下方（图 1-2）。



由于公差和极限偏差的数值与基本尺寸数值相比，差别很大，不使用同一比例尺表示两者之间的关系。为了便于讨论，只画出放大的孔、轴公差带，即采用公差与配合图解（简称公差带图）。

图 1-2 零线和公差带

### 4. 尺寸公差带（简称公差带）

尺寸公差带是指在公差带图中，由代表上、下偏差的两条直线所限定的一个区域。公差带在垂直零线方向的宽度代表公差值，用适当比例画出；公差带沿零线方向的长度可适当任取。在公差带图中，习惯上基本尺寸以毫米（mm）为单位，而极限偏差和公差以微米（ $\mu\text{m}$ ）为单位。上、下偏差的数值前冠以“+”、“-”号，与零线重合的偏差数值为零，不必标出。

在国家标准中，公差带包括“公差带大小”和“公差带位置”两个参数。前者由标准公差确定，后者由基本偏差确定（见本章第二节）。

## 三、有关“配合”方面

### 1. 配合

配合是指基本尺寸相同的、相互结合的孔与轴公差带之间的关系。应当指出，按同一种配合生产的一批孔、轴装配后，其配合松紧各不相同，所以不能把配合理解为一个具体的孔、轴组合，而用孔、轴公差带的关系来表达配合才更确切。

### 2. 间隙或过盈

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差，此差值为正是间隙，用  $X$  表示；为负是过盈，用  $Y$  表示。

根据孔、轴公差带之间的相互关系，配合可分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三种。

### 3. 间隙配合

具有间隙的配合，其特征是孔的公差带在轴的公差带之上（图 1-3a）。即使把孔做得最小，轴做得最大，装配后仍保证有一定的间隙（包括最小间隙等于零）。

由于孔和轴都有公差，所以实际间隙的大小随孔和轴的实际尺寸而变化。

孔的最大（小）极限尺寸减轴的最小（大）极限尺寸所得的代数差，称为最大（小）间隙  $X_{\max}$  ( $X_{\min}$ )，即等于孔的上（下）偏差减轴的下（上）偏差：

$$X_{\max}(X_{\min}) = D_{\max}(D_{\min}) - d_{\min}(d_{\max}) = ES(EI) - ei(es) \quad (1-3)$$

孔和轴都为平均尺寸  $D_{av}$ 、 $d_{av}$  时,形成的间隙称为平均间隙  $X_{av}$ ,用公式表示为

$$X_{av} = D_{av} - d_{av} = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} \quad (1-4)$$

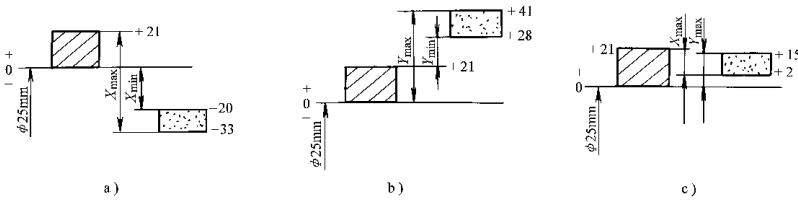


图 1-3 孔、轴公差带图

a) 过盈配合 b) 间隙配合 c) 过渡配合

#### 4. 过盈配合

具有过盈的配合其特征是孔的公差带在轴的公差带之下(图 1-3b)。即使把孔做得最大,轴做得最小,装配后仍保证有一定的过盈(包括最小过盈等于零)。实际过盈的大小也随孔和轴的实际尺寸而变化。

孔的最大(小)极限尺寸减轴的最小(大)极限尺寸,所得的代数差称为最小(大)过盈  $Y_{min}(Y_{max})$ ,即等于孔的上(下)偏差减轴的下(上)偏差:

$$Y_{min}(Y_{max}) = D_{max}(D_{min}) - d_{min}(d_{max}) = ES(EI) - ei(es) \quad (1-5)$$

孔和轴都为平均尺寸  $D_{av}$ 、 $d_{av}$  时形成的过盈称为平均过盈  $Y_{av}$ ,用公式表示为

$$Y_{av} = D_{av} - d_{av} = \frac{Y_{max} + Y_{min}}{2} \quad (1-6)$$

注意:过盈量符号为负表示过盈的特征,并不是数学上的含义。

#### 5. 过渡配合

可能具有间隙或过盈的配合。其特征是孔的公差带与轴的公差带相互交叠(图 1-3c)。孔的最大(小)极限尺寸减轴的最小(大)极限尺寸,所得的代数差称为最大间隙  $X_{max}$ (最大过盈  $Y_{max}$ ),即等于孔的上(下)偏差减轴的下(上)偏差:

$$X_{max}(Y_{max}) = D_{max}(D_{min}) - d_{min}(d_{max}) = ES(EI) - ei(es) \quad (1-7)$$

孔和轴都为平均尺寸  $D_{av}$ 、 $d_{av}$  时,形成平均间隙  $X_{av}$  或平均过盈  $Y_{av}$ ,用公式表示为

$$X_{av}(Y_{av}) = D_{av} - d_{av} = \frac{X_{max} + Y_{max}}{2} \quad (1-8)$$

按上式计算所得的值为正时是平均间隙  $X_{av}$ ,为负时是平均过盈  $Y_{av}$ 。

#### 6. 配合公差 ( $T_f$ )

配合公差是指允许间隙或过盈的变动量。这是设计人员根据相配件的使用要求确定的。配合公差反映配合精度,是评定配合质量的第一个重要指标。配合公差越大,配合精度越低;配合公差越小,配合精度越高。配合公差的大小为两个界限值的代数差的绝对值。

对于间隙配合  $T_f = |X_{max} - X_{min}|$  (1-9)