



普通高等教育“十二五”规划教材

# 机械精度设计与检测

主 编 武充沛  
副主编 张发玉 王恒迪



科学出版社

014059133

TH122-43  
402

普通高等教育“十二五”规划教材

# 机械精度设计与检测

主编 武充沛  
副主编 张发玉 王恒迪



TH122-43  
402

科学出版社

北京



北航 C1746416

014028133

## 内 容 简 介

本书结合我国产品几何技术规范(GPS)的最新国家标准,系统阐述了机械精度设计和几何量检测的基本方法。按照内容和性质,将全书分为上、中、下三篇。上篇(第1~6章)为机械精度设计基础,包括机械精度设计概论、线性尺寸精度设计、表面精度设计、几何精度设计、圆锥和角度的精度设计,以及精度综合设计——尺寸链;中篇(第7~10章)为典型结合和传动的精度设计,包括滚动轴承结合的精度设计、键和花键结合的精度设计、螺纹结合和螺旋传动的精度设计,以及圆柱齿轮传动的精度设计;下篇(第11~13章)为几何量检测,包括几何量检测基础、几何量检测技术,以及量规设计等内容。各章均配有适量的思考题、练习题和公差表格,以方便学习和设计应用。

本书可作为高等院校机械类、近机械类等专业的本科生教材,也可供从事机械设计、机械制造、标准化和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

机械精度设计与检测/武充沛主编. —北京:科学出版社,2014.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-041599-8

I. ①机… II. ①武… III. ①机械-精度-设计-高等学校-教材②机械元件-检测-高等学校-教材 IV. ①TH122②TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第183923号

责任编辑:朱晓颖/责任校对:彭涛

责任印制:肖兴/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年8月第一版 开本:787×1092 1/16

2014年8月第一次印刷 印张:18

字数:460 000

定价:40.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

# 前 言

本书是配合高校“互换性与测量技术基础”课程教学的一本新体系教材，该课程是机械类和近机类专业的一门重要技术基础课。

机械产品的技术设计可分为三个阶段：总体设计、结构设计和精度设计。总体设计是根据产品的功能要求，确定机器的主要性能参数和总体布局；结构设计是通过运动学和动力学的分析计算，确定机器的装配结构和零件的宏观尺寸；精度设计则是根据产品的功能要求和经济性确定零部件的尺寸精度、几何精度和表面微观精度。可见产品精度设计是设计过程中的重要环节。产品精度的获得包含在设计、制造和验收过程中，其中验收工作贯穿于产品制造的全过程。因此对从事机械设计与制造的工程技术人员来说，必须掌握机械产品精度设计与检测的基本知识与技能。

本书以精度设计为主线，按照内容和性质，分为上、中、下三篇。上篇主要介绍线性尺寸精度、表面精度、几何精度、圆锥和角度的精度设计，以及尺寸链等精度设计的基本知识；中篇介绍滚动轴承、键、花键、圆柱螺纹和圆柱齿轮等典型结合与传动的精度设计；下篇介绍几何量检测基础、检测技术，以及量规设计等内容。各章均配有适量的思考题、练习题和公差表格，以方便学习和设计应用。

本书依据最新国家标准编写，但并非囿于传统的互换性与技术测量教材体系宣贯标准的模式，而是将最新的标准体系和内容融合在专业基础理论中和解决实际问题的过程中，使学生在掌握基础知识的同时，获得机械精度设计与检测的实际能力。同时本书内容力求言简意赅、抓住实质，以达到传授知识的良好效果。

本书由河南科技大学负责编写，武充沛主编，张发玉、王恒迪任副主编。参加本书编写的有：武充沛（第1、4、10章，第12章第5、8节），张发玉（第2、5、7、8、9、13章），王恒迪（第3、6、11章，第12章第1、2、3节），毛玺（第12章第4、6节），徐恺（第12章第7节），张发玉、王恒迪（附表）。

北京理工大学何永熹对本书作了全面审阅并提出了许多宝贵的意见和建议，本书编写过程中也得到了不少学科前辈的悉心指导，同时得到了河南科技大学教务处的大力支持，在此一并表示感谢！

由于编者水平所限，书中难免存在疏漏和差错，恳请广大读者提出意见和建议。

编 者  
2014年5月

# 目 录

前言

## 上篇 机械精度设计基础

第1章 机械精度设计概论	2	第4章 几何精度设计	58
1.1 机械精度与加工误差的概念	2	4.1 概述	58
1.2 精度设计的基本原则和方法	4	4.2 几何公差的图样标注	62
1.3 几何精度规范	6	4.3 几何公差及其公差带	67
思考题	10	4.4 公差原则	83
练习题	10	4.5 几何精度设计	94
第2章 线性尺寸精度设计	11	思考题	103
2.1 尺寸精度的术语定义	11	练习题	103
2.2 极限与配合的标准化	18	第5章 圆锥和角度的精度设计	107
2.3 线性尺寸精度设计	23	5.1 概述	107
思考题	35	5.2 圆锥公差与配合	108
练习题	35	5.3 角度公差	111
第3章 表面精度设计	37	思考题	112
3.1 表面结构	37	练习题	112
3.2 表面缺陷	39	第6章 精度综合设计——尺寸链	113
3.3 表面轮廓	40	6.1 尺寸链的基本概念	113
3.4 表面粗糙度的图样标注	46	6.2 尺寸链的建立	116
3.5 表面粗糙度精度设计	53	6.3 尺寸链的计算	118
思考题	56	思考题	126
练习题	56	练习题	126

## 中篇 典型结合与传动精度设计

第7章 滚动轴承结合的精度设计	130	第8章 键和花键结合的精度设计	139
7.1 概述	130	8.1 平键结合的精度设计	139
7.2 滚动轴承的精度等级、公差带和配合	130	8.2 花键结合的精度设计	141
7.3 滚动轴承结合的精度设计	133	思考题	146
思考题	137	练习题	146
练习题	137	第9章 螺纹结合和螺旋传动的精度设计	147

9.1 概述 .....	147	10.2 齿轮精度和侧隙的评定指标 .....	161
9.2 普通螺纹结合的精度设计 .....	148	10.3 齿轮坯和齿轮副的精度要求 .....	169
9.3 螺旋传动的精度设计 .....	155	10.4 圆柱齿轮精度设计 .....	172
思考题 .....	157	思考题 .....	179
练习题 .....	158	练习题 .....	180
<b>第 10 章 圆柱齿轮传动的精度设计</b> .....	159		
10.1 概述 .....	159		

## 下篇 几何量检测

<b>第 11 章 几何量检测基础</b> .....	182	12.5 几何误差检测 .....	219
11.1 概述 .....	182	12.6 螺纹检测 .....	231
11.2 计量基准与量值传递 .....	183	12.7 圆柱齿轮检测 .....	235
11.3 测量方法与测量器具 .....	187	12.8 数字化测量仪器简介 .....	240
11.4 测量误差及数据处理 .....	191	思考题 .....	245
11.5 合格性判断 .....	202	练习题 .....	245
思考题 .....	203	<b>第 13 章 量规设计</b> .....	248
练习题 .....	203	13.1 概述 .....	248
<b>第 12 章 几何量检测技术</b> .....	205	13.2 光滑极限量规 .....	248
12.1 概述 .....	205	13.3 功能量规 .....	252
12.2 长度尺寸检测 .....	208	思考题 .....	258
12.3 表面粗糙度检测 .....	212	练习题 .....	258
12.4 角度和锥度检测 .....	215		
<b>附表</b> .....	259		
<b>参考文献</b> .....	281		

# 机械精度设计基础

## 第一篇 绪论

### 第一章 绪论

机械精度设计是机械设计的重要组成部分，它关系到机械产品的质量、寿命和成本。随着科学技术的进步，机械精度设计的要求越来越高，设计方法也越来越复杂。本书主要介绍机械精度设计的基本概念、方法和应用。

# 上篇 机械精度设计基础

机械精度设计是机械设计的重要组成部分，它关系到机械产品的质量、寿命和成本。随着科学技术的进步，机械精度设计的要求越来越高，设计方法也越来越复杂。本书主要介绍机械精度设计的基本概念、方法和应用。

### 第二章 精度设计

精度设计是机械设计中的一项重要内容，它涉及到零件的加工精度、装配精度和检测精度。本章主要介绍精度设计的基本概念、方法和应用。

精度设计是机械设计中的一项重要内容，它涉及到零件的加工精度、装配精度和检测精度。本章主要介绍精度设计的基本概念、方法和应用。

# 第 1 章 机械精度设计概论

## 1.1 机械精度与加工误差的概念

### 1.1.1 机械精度的概念

反映实际结果或状态与理想结果或状态接近程度的量,通常称为精度,它与误差的大小相对应,误差小表示精度高,误差大表示精度低。例如,工件的测得值与其真值的偏离量表达了测量精度的高低,机床加工后零件的实际尺寸与设计要求的理想尺寸的偏离量表达了加工精度的高低等。

机械精度包括整机精度和零件精度。整机精度是整台机器(或仪器)的实际工作状态与理想工作状态的接近程度,如机床加工过程中主轴的径向跳动和轴向窜动,工具显微镜纵向导轨和横向导轨移动方向的垂直度等。而零件精度是指零件加工后实际几何参数与理想参数的一致程度,包括尺寸、形状、方向、位置误差和微观粗糙度等。由于机械产品是由不同几何形状的零、部件安装组成的,所以整机精度的高低主要取决于零部件的加工误差、机器的装配误差和运行误差。

机械精度可分为静态精度和动态精度,机器在非工作状态下的精度称为静态精度,机器在工作状态下的精度称为动态精度。动态精度不仅取决于零件的加工精度,也取决于机构运动和受力等因素,例如,高速旋转的齿轮因离心力而膨胀会影响齿轮的齿侧间隙,发动机活塞裙部因受热会产生不均匀变形,从而影响它与气缸的配合间隙等。本书主要研究静态精度设计的有关问题。

### 1.1.2 加工误差

影响零件几何精度的因素是客观存在的加工误差,分析加工误差的来源和它对产品性能的影响,有利于采取措施限制或减小误差,提高产品质量。

#### 1. 加工误差的主要来源

机械加工中,零件的尺寸、形状和表面之间相互方位关系的形成,取决于工件和刀具在切削运动中的相互位置关系。而工件和刀具又分别安装在夹具和机床上,这样加工时机床、夹具、刀具和工件就构成了一个相互关联的系统,称为“工艺系统”。加工误差的主要来源包括工艺系统的各种误差、加工原理误差、测量误差和人员误差等。

工艺系统的误差可分为静态误差和动态误差,静态误差主要指机床、刀具和夹具在静态下的几何误差。例如,机床导轨在水平面内的直线度误差将使工件的素线产生各种形状误差,夹具的制造和安装误差将直接影响工件的正确定位,使工件几何要素的方向和位置产生误差,如垂直度、同轴度误差等,刀具与工件间不准确的相对位置使工件各几何要素间产生位置误差,如孔距误差、分度误差等,也将使工件的尺寸产生误差,刀具的形状误差将直接复现在工件表面上,影响工件的粗糙度、波纹度等表面精度。

工艺系统的动态误差主要取决于切削用量(切削速度、切削深度、进给量)、切削力、切削热和工件内应力等因素。不合理的切削用量会影响表面精度;切削力和切削热导致工件与



刀具的变形，对大尺寸工件的尺寸误差和形状误差影响尤为显著；原材料和毛坯的内应力，将影响完工零件的几何精度和精度的保持性。

原理误差是由于采用了近似的加工运动或近似的刀具廓形而产生的加工误差。例如，活塞裙部的椭圆轮廓加工时用四杆机构产生近似的椭圆形运动产生的误差，铣削加工齿轮时用一把模数铣刀加工不同齿数齿轮时产生的近似渐开线的误差等。

在试切法的加工过程中，操作人员的技术水平和责任心，直接影响工件的尺寸误差。采用调整法、数控自动或半自动加工方法，能够有效减少操作人员对加工误差的影响。

## 2. 几何误差对使用功能的影响

在相同型号的一批产品中，零部件的几何特性设计是相同的，但是其成品在外观感觉、使用功能和使用寿命等方面都各不相同，这是零部件在制造、装配过程中存在的几何误差所造成的。不同的生产者根据相同的设计图样制造同类产品时，虽然设计要求相同，但是其制造误差不同、产品测量和品质检验误差不同，造成产品在性能和使用寿命上有所差别。不同的生产者用相同来源的零部件组装产品时，由于安装误差（即安装精度）的差别，也会造成产品的性能和使用寿命不同。

零、部件的几何误差对于机械产品的使用功能和使用寿命有直接的影响，但不同几何特性的误差对产品的使用功能的影响有所不同。表面误差主要影响外观、摩擦磨损、腐蚀、噪声等使用功能，尺寸和形状误差主要影响零、部件的空间相互位置，直接影响运动传递、载荷传递等性能。

图 1-1 所示的内燃机由气缸、活塞、连杆、曲轴和凸轮轴等零件装配而成，活塞在顶部开始，进气阀打开，活塞往下运动，吸入油气混合气，然后活塞往顶部运动，压缩油气混合气；当活塞到达顶部时，火花塞放出火花来点燃油气混合气，爆炸使得活塞再次向下运动到达底部，排气阀打开；活塞再次往上运动，将尾气从汽缸由排气管排出。活塞的往复直线运动经曲轴转化为连续旋转运动。

其中，凸轮轴控制进气阀和排气阀的开闭，凸轮形状误差会导致进气阀和排气阀的开闭时机出现偏差，直接影响发动机的功率；在压缩和燃烧时，两个阀都是关闭的，以保证燃烧室的密封，阀门的几何误差影响其与缸体之间的密封状况；活塞环在气缸壁和活塞之间起到密封作用，防止在压缩和燃烧时油气混合气和尾气泄漏进润滑油箱，也防止润滑油进入汽缸内燃烧，活塞环的几何误差会导致密封失效，引起尾气管冒青烟等现象；连杆连接活塞和曲轴，使活塞和曲轴维持各自的运动，它们的几何误差会直接影响其运动副的配合性能。

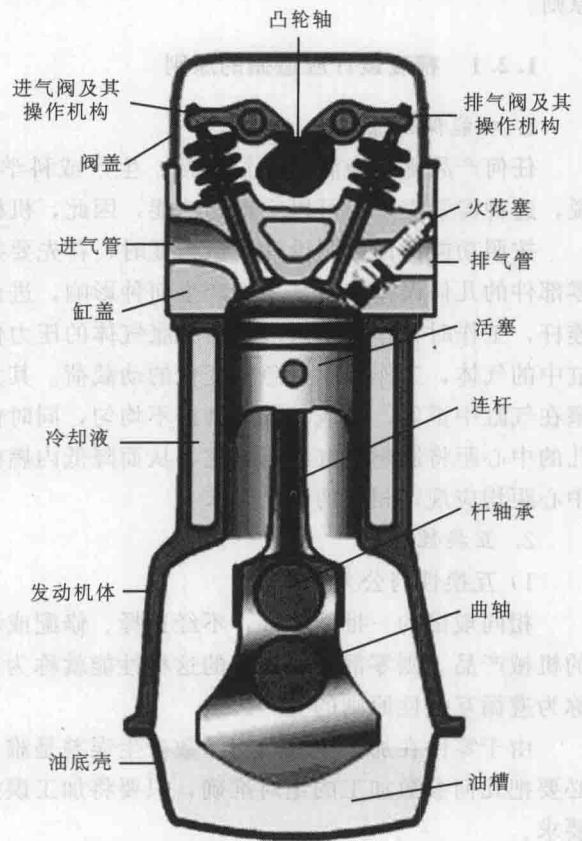


图 1-1 内燃机示意图

由此可见,机械产品的加工误差、装配误差会对其各种技术性能、使用寿命等产生诸多不利影响。为了满足产品的功能要求,必须对加工误差予以控制。

## 1.2 精度设计的基本原则和方法

产品设计包括系统设计、参数设计和精度设计三个阶段。对机械产品来说,系统设计是根据使用功能要求确定产品的基本工作原理和总体布局,以保证总体方案的合理和先进;参数设计主要是结构设计,即确定机构各零件的结构和尺寸的公称值;精度设计是根据产品的使用功能要求和制造条件确定零部件允许的加工和装配误差。即合理地规定几何要素的公差。

由此可见,对零件每个几何要素给出精度要求,即正确合理地给定零件的几何量公差是机械产品设计的最后一环,具有十分重要的地位,设计过程应采用合理的方法并遵守相应的原则。

### 1.2.1 精度设计应遵循的原则

#### 1. 功能保证原则

任何产品都是为满足人们生活、生产或科学研究的需要而设计制造的,对机械产品来说,这种需要表现为可以实现的功能,因此,机械精度设计首先必须满足产品的功能要求。

按照功能保证原则设计机械精度时,首先要熟悉所设计的产品应用功能,然后分析相关零部件的几何误差会对其功能产生何种影响,进而给出合理的精度要求。例如,内燃机中的连杆,工作时将作用于活塞顶面膨胀气体的压力传给曲轴,又受曲轴的驱动带动活塞压缩气缸中的气体,工作中承受急剧变化的动载荷。其大头孔与小头孔中心线的平行度误差会使活塞在气缸中歪斜,造成气缸壁磨损不均匀,同时使曲轴的连杆轴颈边缘磨损;大头孔与小头孔的中心距将影响气缸的压缩比,从而降低内燃机的效率。因此对连杆大小头孔的平行度和中心距均应规定相应的精度要求。

#### 2. 互换性原则

##### 1) 互换性与公差的概念

相同规格的一批零部件,不经选择、修配或调整,就能装配成为满足预定使用功能要求的机械产品,则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,称为遵循互换性原则的生产。

由于零件在加工中其几何参数产生误差是难以避免的,从零件的使用功能来看,也没有必要把几何参数加工的绝对准确,只要将加工误差限制在允许的范围内,即可满足互换性的要求。

允许零件几何参数变动的范围称为几何量公差,包括尺寸公差、形状公差、方向公差、位置公差和微观粗糙度要求等。精度设计的主要任务就是依据产品功能对零部件的静态与动态精度要求,以及产品生产和使用维护的经济性,正确合理地对产品的几何参数规定公差。要全面满足对产品的使用功能的要求,仅保证零部件具有几何参数互换性是不够的,还需要从零部件的物理性能、化学性能、机械性能等各方面提出要求。这些在更广泛意义上的互换性,可称为广义互换性。

##### 2) 互换性的种类

根据互换程度的不同，可将互换性分为完全互换和不完全互换。

完全互换要求零部件在装配时不需任何挑选和辅助加工，主要用于大批量生产且精度要求不高的产品中，如汽车、拖拉机上的大多数零件。外购的标准件也采用完全互换，如滚动轴承与轴颈和外壳孔的配合等。

不完全互换也称为有限互换，即在零部件装配时允许选择或调整，例如，滚动轴承的内、外圈滚道和滚动体等零件相互装配的尺寸，由于精度要求极高，如果也要求具有完全互换性，就会给制造带来极大的困难，所以多采用不完全的互换即采取分组装配的方法，才能取得较好的经济效果。

对于单件或小批量生产的零件或精度要求极高时，产品零部件可以不需要互换性，而采用配制的方法制造，如矿山机械和精密仪器等。

### 3) 互换性的作用

互换性生产在机械制造中的作用表现在以下三个方面。

(1) 设计方面：可以最大限度地采用标准件、通用件，简化设计绘图和计算工作，从而缩短设计周期，并有利于计算机辅助设计和产品的多样化。

(2) 制造方面：有利于组织专业化生产，便于采用先进工艺和高效率的专用设备，从而降低加工成本，并能够实现流水线装配甚至在自动线上进行装配。

(3) 使用维修方面：可以及时更换损坏的零部件，减少了机器维修的时间和费用，提高机器的使用效率。

互换性原则已经成为现代化生产的一项重要的重要的技术经济原则，已经在诸多行业广泛应用，有效地提高了制造过程的经济效益。

### 3. 经济性原则

精度设计应经济地满足使用要求，即在满足功能要求的前提下，选用尽可能低的精度（较大的公差），从而提高产品的性能价格比。

为获得较高的加工精度，必然需要采用相对复杂的加工工艺和相对精密的工艺设备，并且由技术水平较高的操作人员操作，所以相对生产成本必然提高。实践表明，加工误差与相对生产成本的关系曲线如图 1-2 所示。由图可见，加工精度的提高一定会导致相对生产成本的大幅增加。但在条件允许的情况下，适当增加投入，提高零件的几何精度，获得必要的精度储备，往往可以大幅度地增加平均无故障工作时间，延长产品使用寿命，降低产品平均使用成本，提高产品的综合经济效益。

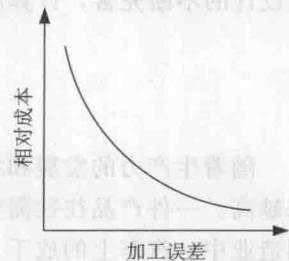


图 1-2 加工误差与相对成本的关系

随着科学技术和生产水平的不断提高，以及更为先进的工艺方法的应用，人们可以在不断降低生产成本的条件下提高产品的精度。因此，满足经济性要求的精度设计主要是一个实践的问题。

### 4. 协调匹配原则

机械产品的综合精度是由与之相关的诸多零部件的精度所决定的，在对这些零部件进行精度设计时，应使其互相协调匹配。协调匹配并非对零件平均规定公差，而是根据它们对产品综合精度影响程度的不同，分别规定不同的精度要求。提高影响使用功能的关键精度要求，降低无关的精度要求，使综合成本得以降低。例如，在齿轮传动的主轴箱中，影响主轴回转精度的主要因素是轴、轴承和箱体，应规定较高的精度要求。而轴上其他零件对回转精

度影响较小,则可适当降低精度要求。

### 1.2.2 精度设计的主要方法

精度设计时,首先需要确定产品整机的精度,然后确定部件的精度要求,最后确定零件的精度。其主要的设计方法有类比法、计算法和试验法三种。

#### 1. 类比法

类比法(亦称经验法)是通过与实践证明可靠合理的类似产品相比较,从而确定所设计零部件精度的方法。采用该方法进行精度设计时,必须正确选择类比产品,分析它与所设计产品在使用条件和功能要求等方面的异同,并考虑实际生产条件、制造技术的发展、市场供应信息等诸多因素综合确定。

#### 2. 计算法

计算法是根据某种理论或方法建立的数学模型,通过计算确定精度要求的方法。例如,根据液体润滑理论计算确定滑动轴承的最小间隙,根据弹性变形理论计算确定圆柱结合的过盈,根据机构精度理论和概率设计方法计算确定传动系统中各传动件的精度等。用计算法确定零件几何要素的精度只适用于某些特定的场合。而且,用计算法得到的公差往往还需要根据多种因素进行调整。

#### 3. 试验法

试验法是先根据一定条件,初步确定零件的精度,并按此进行试制。再将试制产品在规定的使用条件下运行,同时对其各项技术性能指标进行监测,并与预定的功能要求比较,根据比较结果再对原设计进行确认或修改。经过反复试验和修改最终确定满足功能的精度要求。该方法的设计周期较长、费用较高,因此主要用于新产品设计中个别重要的精度设计。

迄今为止,几何精度设计仍处于以经验设计为主的阶段。大多数要素的几何精度都是采用类比的方法由设计人员根据实际工作经验确定的。随着计算机技术的普及,计算机辅助精度设计的不断完善,计算法将会在实际设计中得到更多的应用。

## 1.3 几何精度规范

随着生产力的发展和科学技术的进步,产品的功能越来越强大,产品质量和复杂程度越来越高。一件产品往往需要多个工厂共同完成,必须组织专业化的协作生产。例如,在汽车制造业中,汽车上的成千上万个零件是分别由几百家工厂生产的,汽车制造厂只负责生产若干主要的零件,并与其他工厂生产的零件一起装配成汽车。为顺利地实现这种专业化的协作生产,保证产品的互换性,各工厂生产的零件或部件都应该采用统一规范的精度要求。

### 1.3.1 标准化

#### 1. 标准化的含义

标准化是在经济、技术、科学和管理等社会实践中,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过程。标准化的目的是发展商品经济,促进技术进步,改进产品质量,提高社会经济效益。

标准化的基本形式有简化、统一化、系列化、通用化、组合化和模块化。简化是在一定范围内缩减对象(事物)的类型数目,使之在既定时间内满足一般性需要;统一化是把两种以

上同类事物的表现形态归并为一种或限定在一定范围内；系列化通常指产品系列化，它通过对同一类产品发展规律的分析研究和技术经济比较，将产品的主要参数、形式、尺寸、基本结构等做出合理的安排与计划，以协调同类产品和配套产品之间的关系；通用化是指在互相独立的系统中，选择和确定具有功能互换性或尺寸互换性的子系统或功能单元的标准化形式。

标准化在人类经济发展的历程中发挥了重要的作用。近代标准化早在 1789 年美国的武器制造中已得到应用，20 世纪初，世界上已有 20 多个国家相继成立了标准化组织。1936 年成立了国际标准化协会，并于 1947 年更名为国际标准化组织 (ISO)。现在这个世界上最大的组织已经是联合国经济和社会理事会的综合性咨询机构。

我国标准化工作从 1949 年开始起步，1949 年 10 月成立中央技术管理局，内设标准化规格处，1958 年国家技术委员会颁布第一号国家标准 GB1，至 1966 年已颁布国家标准 1000 多项。改革开放后我国标准化工作受到高度重视，1978 年 5 月国务院成立了国家标准总局 (1998 年改名为国家质量技术监督局)，同年参加了国际标准化组织 (ISO)，1988 年 12 月第七届全国人大常委会第五次会议通过了《中华人民共和国标准化法》，它的实施对发展商品经济，促进技术进步，提高产品质量，发展对外贸易具有十分重要的意义。截止到 2014 年 3 月，国家标准总数已达 30680 项。

## 2. 标准

标准是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，经有关方面协商一致，由主管机构批准，以特定形式发布，作为共同遵守的准则和依据。

标准应反映所涉及对象的内在本质，应符合客观发展规律，因此标准不能凭空捏造，而是科学、技术和实践经验的综合成果。由于科技水平的不断发展和人类社会实践经验的不断丰富，人们对客观世界的认知也会随之深化，所以标准也必须在不断修订中提高水平。

我国标准通常按照体系(级别)和性质(管理对象)进行分类。

标准按体系分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四层。各层次之间有一定的依从关系和内在联系，形成一个覆盖全国且层次分明的标准体系。

(1) 国家标准：是指需要在全国范围内统一技术要求的标准，代号为 GB、GB/T 和 GB/Z，其含义分别为强制性国家标准、推荐性国家标准和指导性技术文件。

(2) 行业标准：是没有国家标准又需要在全国某个行业范围内统一技术要求的标准，如机械行业标准 (JB)、汽车行业标准 (QC) 等。当相应的国家标准实施后，该行业标准应自行废止。

(3) 地方标准：是指没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一技术要求的标准。

(4) 企业标准：是企业范围内需要协调、统一的技术要求、管理要求和工作要求所制定的标准，企业标准的要求不得低于相应的国家标准或行业标准的要求。

按专业的专业性质，将标准划分为技术标准、管理标准和工作标准三大类。

(1) 技术标准：是对标准化领域中需要统一的技术事项所制定的标准。技术标准是一个大类，可进一步分为基础标准、产品标准、工艺标准、检验和试验方法标准、安全标准、环境保护标准、卫生标准等。其中的每一类还可进一步细分，如基础标准还可再分为术语标准、公差标准等。

(2) 管理标准：是对标准化领域中需要协调统一的管理事项所制定的标准。管理标准主要是对管理目标、管理项目、管理业务、管理程序、管理方法和管理组织的规定。

(3) 工作标准：为实现工作(活动)过程的协调，提高工作质量和工作效率，对每个职能和岗位的工作制定的标准。如岗位目标(工作内容、工作任务)、工作程序和工作方法等。

目前，我国基本形成了以国家标准为主体，行业标准、地方标准和企业标准相互协调配套的中国国家标准体系。标准化从传统的工农业产品向高新技术、信息技术、环境保护和管理、产品安全和卫生、服务等领域发展，一批关系国计民生的重要标准不断完善，为国民经济现代化建设提供了有力的技术支持。

### 1.3.2 优先数系

在产品设计中，需要确定很多参数，某个参数的数值一旦选定，这个数值就会按照一定规律，向一切有关的参数传播。例如，螺栓的尺寸一旦确定，将会影响螺母的尺寸、丝锥板牙的尺寸、螺栓孔的尺寸以及加工螺栓孔的钻头的尺寸等。所以产品中的各种技术参数不能随意确定，而应该在一个统一而合理的数系中选择，否则会给生产管理带来麻烦。

为使产品的参数选择能遵守统一的规律，使参数选择一开始就纳入标准化轨道，必须对各种技术参数的数值作出统一规定。为此我国发布了 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》，要求工业产品技术参数尽可能采用它。

优先数系为十进制等比数列，即数列中含有  $10^n$  和  $10^{-n}$  项，它们分别用系列符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示，各系列的公比  $q_r$  为

$$\text{R5 的公比: } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$$

$$\text{R10 的公比: } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$\text{R20 的公比: } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$\text{R40 的公比: } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

$$\text{R80 的公比: } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

上述五个系列中，R5、R10、R20 和 R40 四个系列为基本系列，是优先数系中的常用系列，其数值见附表 1-1；R80 称为补充系列，仅在参数分级很细或基本系列中的优先数不能适应实际情况时考虑采用。

为使优先数系有更大的适应性，可从基本系列或补充系列  $R_r$  中，每  $p$  项取值形成新的派生系列，以  $R_r/p$  表示。如 R10/3 就是从 R10 中每逢三项取一个优先数组成新的系列，即

1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00, 32.00

数值按等比数列分级，相对误差不变，能在较宽的范围内以较少的规格，经济合理地满足需要，是统一、简化制定标准的基础。凡在取值上具有一定自由度的参数系列，都应最大限度地选用优先数，不仅在制定产品标准时应当遵守，在产品设计中应当有意识地使主要尺寸和参数符合优先数。优先数系由于采用等比数列，具有简单、易记、计算方便的特点，如任意个优先数的积和商仍为优先数，而优先数的对数(或序号)则是等差数列，利用这些特点可以大大简化设计计算。

### 1.3.3 几何技术规范(GPS)

产品几何技术规范,简称 GPS,是规范所有符合机械工程规律的几何形体产品的整套几何量技术标准,它覆盖了从宏观到微观的产品几何特征,涉及从产品开发、设计、制造、检测、装配、维修、报废等产品生命周期的全过程。它不但是产品的信息传递与交换的基础,也是产品市场流通领域中合格评定的依据。在国际标准中,GPS 标准体系是影响最广、最重要的基础标准体系之一,与质量管理(ISO 9000)、产品模型数据交换(STEP)等重要标准体系有着密切的联系,是产品质量保证和制造业信息化的重要基础。

第一代 GPS 以几何学为基础,包括几何产品从毫米到微米级的几何尺寸(公差)、从宏观到微观的表面结构(表面粗糙度、表面波纹度、表面形状与位置)、测量原理、测量设备和仪器标准,提供了产品设计、制造和检测的技术规范,但没有建立它们彼此之间的联系。随着国际经济的发展和科学技术的进步,公司规模和地域分散性逐步扩大,传统的内部交流和联系机制日趋消失,先进的制造方法和技术、CAD/CAM/CAQ 以及先进测量仪器的出现和使用,在市场需求和技术进步的推动下,新一代 GPS 以数学作为基础语言结构,以计量数学为根基,给出产品功能、技术规范、制造与计量之间量值传递的数学方法,为设计人员、产品开发人员和计量测试人员提供了共同的语言,建立了一个交流平台。

GPS 标准体系主要有四个组成部分,即基础的 GPS 标准、综合的 GPS 标准、通用的 GPS 标准矩阵和互补的 GPS 标准矩阵。

通用的 GPS 标准(矩阵)是 ISO/TC 213 GPS 标准体系的主体部分(表 1-1),不难看出其矩阵行是根据产品的功能要求,对其相应的几何技术特征进行分析归纳后规范的 18 种工件/要素的几何特征(尺寸、形状、位置和光滑表面特征等);矩阵列则从系统的角度统筹考虑,给出了从产品功能要求、规范设计到检验评定整个系统过程的各主要链环(图样标注—特征定义—操作算子—比较认证—测量仪器—评定校准)的规范。

在通用产品几何技术规范体系中,规范标准形成相应的标准链,相关的规范标准是相互影响的。目前我国的基础几何标准规范还没有完全满足通用产品几何技术规范体系的要求,正在不断发展的过程中。

表 1-1 通用产品几何技术规范体系

链环号	1	2	3	4	5	6
要素的几何特性	产品文件表 代码	公差定义理 论定义和参 数值	实际要素的 定义、特性 或参数	工件偏差的 评定与公差 极限比较	测量器具 要求	校准要求 测量标准器
1 尺寸						
2 距离						
3 半径						
4 角度(以度为单位)						
5 与基准无关的线的形状						
6 与基准有关的线的形状						
7 与基准无关的面的形状						
8 与基准有关的面的形状						

续表

链环号	1	2	3	4	5	6
要素的几何特性	产品文件表 代码	公差定义理 论定义和参 数值	实际要素的 定义、特性 或参数	工件偏差的 评定与公差 极限比较	测量器具 要求	校准要求 测量标准器
9 方向						
10 位置						
11 圆跳动						
12 全跳动						
13 基准平面						
14 粗糙度轮廓						
15 波纹度轮廓						
16 原始轮廓						
17 表面缺陷						
18 棱边						

### 思考题

- 1-1 零件加工误差的来源有哪些？加工误差与成本有什么关系？
- 1-2 什么是互换性？它的作用是什么？互换性如何分类？各适用于什么场合？
- 1-3 为什么要规定机械零部件的几何精度要求？
- 1-4 几何精度设计应遵循的原则是什么？主要设计方法有哪些？各种设计方法有何特点？
- 1-5 何谓标准化？标准化的基本形式是什么？强制性和推荐性国家标准的异同是什么？
- 1-6 我国标准按照体系(级别)如何分类？按照性质(管理对象)如何分类？
- 1-7 试结合自己身边的例子谈谈标准化的作用。
- 1-8 什么是优先数系？优先数系有什么特点？它的作用是什么？
- 1-9 什么是产品几何技术规范？

### 练习题

- 1-1 某机床主轴转速为 50、63、80、100、125、…(r/min)。试判断它们属于哪个优先数系系列。
- 1-2 自 IT6 级以后，标准公差等级系数为 10、16、25、40、64、100、…。试判断它们属于哪个优先数系系列。
- 1-3 R10 系列的公比是多少？系列中每隔多少项数值扩大一倍？
- 1-4 优先数系的一个特点是同一系列中任意两项的理论值之积或商，任意一项理论值之整数乘方，仍为此系列中的一个优先数理论值。优先数系的常用值之间近似具有这种关系。试以 R20 系列中的优先数常用值(保留小数点后面 2 位精度)为例验证这一特点。



## 第 2 章 线性尺寸精度设计

机械零件的实际尺寸与设计的理想尺寸必然存在差异，这种尺寸偏差必然影响产品的使用功能。特别是当孔、轴的尺寸存在偏差时，安装后形成的配合必然存在偏差，对产品的使用功能和无故障工作寿命将产生直接影响。因此，为了满足零件的使用功能要求，必须限制这种差异，对零件尺寸规定精度要求。

尺寸的精度要求在设计时用尺寸公差表示。

### 2.1 尺寸精度的术语定义

#### 2.1.1 孔与轴的定义

国家标准中规定的有关孔和轴的概念，关系到尺寸公差与孔、轴配合国家标准的应用范围。

孔通常是指工件的圆柱形内表面，也包括非圆柱形内表面(即由两个平行平面或切面形成的包容面)；轴通常是指工件的圆柱形外表面，也包括非圆柱形外表面(即由两个平行平面或切面形成的被包容面)。

孔轴的判断可以采用以下几种方法：

- (1) 从定义上来判断，内表面是孔，而外表面是轴。
- (2) 从包容性质上来看，孔为包容面(尺寸之间是空的)，而轴为被包容面(尺寸之间是实的)。
- (3) 从加工方式上来看，孔类加工尺寸由小到大，而轴类加工尺寸由大到小。

这里定义出来的孔轴是广义的。图 2-1 所示为孔和轴的定义示意图。图 2-1(a)中的内圆柱面和键槽的宽度是孔的尺寸；图 2-1(b)中的外圆柱面是轴的尺寸，轴上键槽的宽度是孔的尺寸；图 2-1(c)中 T 形槽底部槽的高度和上面槽的宽度是孔的尺寸，凸肩厚度是轴的尺寸；图 2-1(c)中的尺寸  $L$  不属于孔或轴的尺寸，是台阶尺寸的一种。

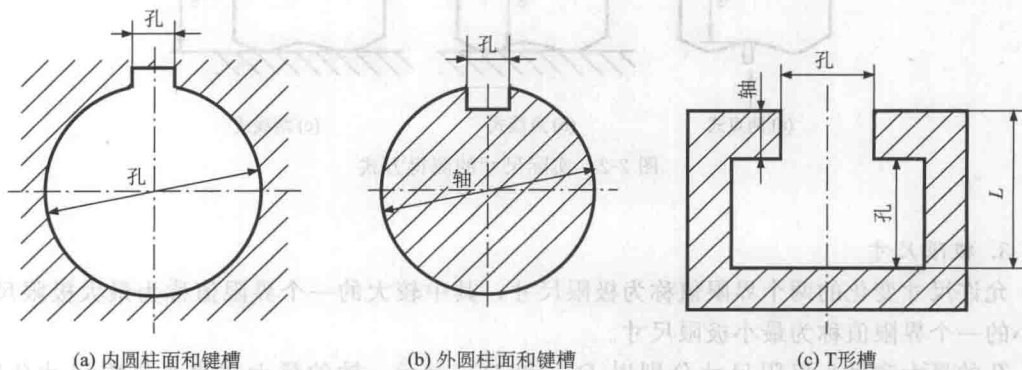


图 2-1 孔和轴的定义示意图