

普通高等教育机械类专业“十二五”规划教材

# 机械精度设计

赵志刚 刘潇潇 编

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等教育机械类专业“十二五”规划教材

# 机械精度设计

赵志刚 刘潇潇 编

**中国铁道出版社**  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

---

## 内 容 简 介

本书介绍并分析了我国公差与配合方面的最新标准,其内容概括了“几何精度控制与应用”课程的主要内容,阐述了精度测量技术的基本原理。

本书主要包括绪论、极限与配合、表面粗糙度、几何精度、渐开线圆柱齿轮传动精度设计、键与花键精度、螺纹精度、滚动轴承精度、几何量测量(检测)技术基础等9章内容,并在每章末附有习题及相关附表。

本书适合作为高等院校机械类专业教材,也可供制造行业的技术人员、管理人员、操作人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计/赵志刚,刘潇潇编. —北京:中国铁道出版社,  
2014.7

普通高等教育机械类专业“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-113-16709-7

I. ①机… II. ①赵… ②刘… III. ①机械加工-几何误差-  
高等学校-教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第195976号

书 名:机械精度设计  
作 者:赵志刚 刘潇潇 编

---

策 划:李小军 读者热线:400-668-0820  
责任编辑:马洪霞  
封面设计:路 瑶  
封面制作:白 雪  
责任校对:汤淑梅  
责任印制:李 佳

---

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.51eds.com>

印 刷:北京尚品荣华印刷有限公司

版 次:2014年7月第1版 2014年7月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:22.75 字数:538千

书 号:ISBN 978-7-113-16709-7

定 价:44.00元

---

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)51873659

# 前 言

“几何精度控制与应用”是高等院校机械类、仪器仪表类和近机类专业必修的主干技术基础课，是与制造业发展联系紧密的一门综合性应用技术基础科学，涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产组织管理等许多领域，是制造业的重要基础标准之一。

近年来国家标准不断修订，相关术语和内容有所改变。同时由于高校课程改革，各校的“几何精度控制与应用”课程安排的要求不同，故本书编写宗旨如下：

## 1. 标准最新

参照截止于2012年底颁布的最新国家标准，对照介绍最新国家标准与企业目前使用较多的旧国家标准的差异。通过对国家标准的学习和应用，将几何精度控制概念贯穿到机械产品的设计、生产、检测、装配的整个过程，以解决机械产品使用与制造工艺之间的矛盾，达到实现机械产品互换性的目的。

## 2. 重点突出

整体内容上以尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度等共性内容为主，学时允许的情况下可选择学习部分典型标准件的精度设计；每章前有学习指导，每章后有章节小结，以突出各章的重点。

## 3. 便于自学

本书力求语言简练，条理清晰，深入浅出。在编写过程中尽可能做到理论性与实用性结合，在原理和理论的后面给出了相关应用示例，帮助读者更好地掌握有关内容。

全书共分9章，在内容上突出了常见几何精度要求的标注、查表、解释以及一般常用检测方法。本书由兰州交通大学赵志刚和刘潇潇编。第0~2章、第4章由赵志刚编写，第3章、第5~7章、第8章由刘潇潇编写。全书由赵志刚统稿。

本书适合作为高等院校机械工程及机电专业教材，也可供制造行业的技术人员、管理人员、操作人员阅读参考之用。

荀向锋教授在百忙之中审阅了全书，并对初稿提出了许多宝贵意见，在此谨表谢意。另外，感谢曹仁涛、李莉等老师提出的中肯建议，以及研究生刘继涛、滕富军等为本书的插图和表格付出艰辛劳动。

同时本书得到了中国铁道出版社的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免会存在一些错误与不足之处，敬请读者批评指正。

编 者  
2014年3月

# 目 录

第0章 绪论 .....	1	四、有关配合的定义 .....	14
第一节 课程的性质、任务和要求 .....	1	五、基准制 .....	17
一、课程的性质 .....	1	第二节 常用尺寸的尺寸精度和配合标准 .....	18
二、课程的任务 .....	1	一、标准公差系列 .....	19
三、课程的教学要求 .....	1	二、基本偏差系列 .....	20
第二节 机械精度设计概述 .....	1	三、公差与配合在图样上的标注 .....	25
第三节 几何精度设计的主要方法 .....	2	四、孔轴的常用公差带和优先、常用配合 .....	26
一、类比法 .....	2	第三节 常用尺寸孔、轴公差与配合的选用 .....	29
二、算法 .....	2	一、公差与配合选用原则 .....	29
三、试验法 .....	3	二、基准制的选用 .....	29
第四节 几何量的检测 .....	3	三、标准公差等级的选用 .....	30
第五节 机械精度设计原则 .....	3	四、配合种类的选用 .....	35
一、经济性原则 .....	3	第四节 机械尺寸精度设计标准的应用 .....	41
二、匹配性原则 .....	4	一、根据极限间隙（或极限过盈）确定公差与配合 .....	41
三、最优化原则 .....	4	二、根据配合代号确定孔、轴的公差和极限偏差 .....	44
四、互换性原则 .....	4	第五节 线性尺寸的一般公差 .....	45
第六节 互换性概述 .....	5	本章小结 .....	45
一、互换性的含义 .....	5	习题 .....	45
二、互换性的分类 .....	5	附表一 .....	47
三、互换性的意义 .....	6	第2章 表面粗糙度 .....	54
第七节 标准化及优先数系 .....	7	第一节 表面粗糙度概述 .....	54
一、标准化的含义 .....	7	一、表面质量的概念 .....	54
二、标准化的分类 .....	7	二、表面粗糙度对零件使用性能的影响 .....	56
三、优先数与优先数系 .....	7	第二节 表面粗糙度的参数 .....	56
习题 .....	9	一、术语及定义 .....	56
第1章 极限与配合 .....	10		
第一节 基本术语及其定义 .....	11		
一、有关孔和轴的定义 .....	11		
二、有关尺寸的定义 .....	11		
三、有关偏差、公差和公差带的定义 .....	12		

二、表面粗糙度轮廓评定参数	59	第三节 几何公差的检测与评定	107
第三节 表面粗糙度评定参数的 选用	61	一、形位误差的检测原则	108
一、表面粗糙度轮廓技术 要求的内容	61	二、形位误差及其评定	109
二、表面粗糙度轮廓评定 参数的选择	61	三、基准的建立和体现	112
三、表面粗糙度轮廓参数 允许值的选择	61	四、形位误差的检测方案实例	115
第四节 表面粗糙度的标注	64	第四节 公差原则与公差要求	117
一、表面粗糙度的符号、代号 及其含义	64	一、有关术语及定义	117
二、表面粗糙度技术要求的 图样标注	66	二、独立原则	125
第五节 表面粗糙度的测量	69	三、相关要求	127
一、比较法	69	第五节 几何精度的确定	144
二、光切法	69	一、几何公差项目的选择	144
三、干涉法	69	二、公差原则的选择	148
四、印模法	69	三、几何公差值（或等级）的 选择	149
本章小结	69	四、几何公差设计示例	157
附录	71	本章小结	158
附录 1 GB/T 3505—1983 中的 术语及定义	71	习题	158
附录 2 GB/T 131—1993 规定的 表面粗糙度在图样中的标注	74	附表三	161
附表二	76	<b>第 4 章 渐开线圆柱齿轮传动     精度设计</b>	166
<b>第 3 章 几何精度</b>	79	第一节 齿轮传动的使用要求与 加工误差	167
第一节 几何公差的概述	80	一、齿轮传动的使用要求	167
一、几何公差的研究对象	80	二、齿轮的主要加工误差 及其来源	167
二、几何公差带	82	第二节 单个齿轮精度指标	170
三、几何公差的几何特征、符号和 附加符号	83	一、齿廓精度	171
四、几何公差的标注	84	二、齿距精度	172
第二节 几何公差及其公差带	90	三、齿向精度	174
一、形状公差及其公差带	90	四、综合精度	175
二、定向公差及其公差带	93	第三节 齿轮配合精度指标	178
三、定位公差及其公差带	99	一、侧隙	178
四、跳动公差及其公差带	104	二、齿厚	178
		三、公法线	179
		第四节 齿轮安装精度指标	180
		第五节 齿轮精度标准及应用	181
		一、使用范围	181

二、公差等级及公差值 .....	182	第五节 键与花键的检测 .....	226
三、精度等级和精度项目的 选用 .....	183	一、平键的检测 .....	226
四、接触斑点 .....	186	二、矩形花键的检测 .....	227
五、配合的选用 .....	187	本章小结 .....	228
第六节 齿坯精度 .....	189	习题 .....	228
第七节 应用示例 .....	190	附表五 .....	229
第八节 渐开线圆柱齿轮 精度测量 .....	192	<b>第6章 螺纹精度</b> .....	234
一、齿廓总误差的测量 .....	192	第一节 普通螺纹精度设计概述 .....	235
二、基圆齿距误差的测量 .....	193	一、螺纹种类及使用要求 .....	235
三、单个齿距误差和齿距累积 总误差的测量 .....	194	二、普通螺纹的基本牙型和 几何参数 .....	235
四、直齿螺旋线总误差的测量 .....	197	第二节 普通螺纹几何参数误差 对其互换性的影响 .....	239
五、切向综合总误差及一齿切向综合 误差的测量 .....	197	一、大、小径误差对普通螺纹互 换性的影响 .....	239
六、径向综合总误差和一齿径向综合 误差的测量 .....	199	二、螺距累积误差对普通螺纹 互换性的影响 .....	239
七、径向跳动的测量 .....	200	三、牙型半角误差对普通螺纹 互换性的影响 .....	240
八、齿厚偏差的测量 .....	200	四、中径误差对普通螺纹互换性的 影响 .....	241
九、公法线长度偏差的测量 .....	201	五、保证普通螺纹互换性的 条件 .....	242
本章小结 .....	202	第三节 螺纹的标记 .....	243
习题 .....	203	一、普通螺纹的标记 .....	243
附表四 .....	204	二、梯形螺纹的标记 .....	244
<b>第5章 键与花键精度</b> .....	217	第四节 普通螺纹精度 .....	245
第一节 键与花键精度设计概述 .....	217	一、普通螺纹公差带的基本 结构 .....	245
第二节 平键连接精度 .....	218	二、普通螺纹的公差等级 .....	245
一、平键的主要几何参数 .....	218	三、普通螺纹的基本偏差 .....	246
二、平键的尺寸与公差 .....	219	四、普通螺纹的旋合长度 .....	247
三、平键连接的精度设计 .....	220	五、普通螺纹精度设计 .....	247
第三节 矩形花键连接精度 .....	222	六、过渡配合螺纹精度设计 .....	249
一、矩形花键的主要几何参数 .....	222	七、过盈配合螺纹精度设计 .....	249
二、矩形花键的定心方式 .....	223	八、应用举例 .....	252
三、矩形花键的精度设计 .....	223	第五节 梯形螺纹精度 .....	252
第四节 键与花键的标记 .....	225		
一、平键的标记 .....	225		
二、矩形花键的标记 .....	226		

一、梯形螺纹概述 .....	252	外壳孔的精度设计 .....	294
二、梯形螺纹的公差 .....	254	本章小结 .....	300
三、梯形螺纹的旋合长度 .....	256	习题 .....	301
四、梯形螺纹精度设计 .....	256	附表七 .....	301
五、机床梯形丝杠、螺母的 精度设计 .....	257	<b>第 8 章 几何量测量 (检测)</b>	
第六节 螺纹的检测 .....	260	<b>技术基础</b> .....	307
一、螺纹的综合检验 .....	260	第一节 测量概述 .....	307
二、螺纹的单项测量 .....	261	一、测量的基本概念 .....	307
本章小结 .....	264	二、量值传递 .....	308
习题 .....	264	三、量块 .....	310
附表六 .....	265	第二节 计量器具与测量方法 .....	313
<b>第 7 章 滚动轴承精度</b> .....	282	一、计量器具 .....	313
第一节 滚动轴承精度设计概述 ..	282	二、测量方法 .....	316
第二节 滚动轴承精度 .....	284	第三节 常用计量器具简介 .....	317
一、滚动轴承的术语、定义及 参数符号 .....	284	一、游标类量具 .....	317
二、滚动轴承外形尺寸 .....	285	二、千分尺类量具 .....	319
三、滚动轴承精度等级及其 应用 .....	287	三、光滑极限量规 .....	321
四、滚动轴承内、外径公差带 .....	288	四、功能量规 .....	327
五、滚动轴承的径向游隙 .....	289	五、机械式量仪 .....	330
六、滚动轴承材料 .....	290	六、角度量具 .....	334
七、滚动轴承的表面粗糙度 .....	290	七、常用光学计量器具 .....	335
第三节 与滚动轴承配合的轴颈和 外壳孔精度 .....	291	八、三坐标测量机 .....	337
一、与滚动轴承配合的轴颈和外壳孔的 常用公差带 .....	291	第四节 测量误差及数据处理 .....	339
二、选择滚动轴承与轴颈和外壳孔的 配合时应考虑的主要因素 .....	292	一、测量误差概述 .....	339
三、与滚动轴承配合的轴颈和		二、各类测量误差的处理 .....	342
		三、等精度测量列的数据处理 .....	348
		本章小结 .....	351
		习题 .....	351
		附表八 .....	353



# 第0章 绪 论

## 第一节 课程的性质、任务和要求

### 一、课程的性质

几何精度控制技术是机械类各专业的一门技术基础课，本课程以几何参数互换性为主，介绍几何精度设计的基本原理。它起着连接基础课及其他技术基础课和专业课的桥梁作用，同时也起着联系设计类课程和制造类课程的纽带作用。

### 二、课程的任务

本课程的任务是通过对国家标准的学习，将几何精度控制概念应用到机械产品的设计、生产、检测、装配的整个过程，以解决机械产品使用与制造工艺之间的矛盾，达到实现机械产品互换性的目的；并能根据零件类型和精度设计选用适当的计量器具进行测量，初步建立测量误差的概念，为正确地理解和绘制设计图样、正确地表达设计思想和根据精度设计选择适当的加工方法打下基础。

### 三、课程的教学要求

(1) 了解机械零件几何精度、互换性与标准化的基本概念；正确理解图样上所标注的各种几何精度代号的技术含义；掌握尺寸精度、形位精度和表面粗糙度的国家标准及其应用。

(2) 掌握几何精度控制的概念及测量技术的基本知识；熟悉常用量具和量仪的结构、原理和应用。

(3) 熟悉常用典型零件（如渐开线圆柱齿轮、键、花键和螺纹等）的精度设计和检测方法。

## 第二节 机械精度设计概述

一般地，在机械产品的设计过程中，需要进行以下三方面的分析计算。

(1) 运动分析与计算。根据机器或机构应实现的运动，由运动学原理，确定机器或机构合理的传动系统，选择合适的机构或元件，以保证实现预定的动作，满足机器或机构的运动方面的要求。属“机械原理”课程的内容。

(2) 强度分析与计算。根据强度、刚度等方面的要求，决定各个零件合理的基本尺寸，进行合理的结构设计，使其在工作时能承受规定的负荷，达到强度和刚度方面的要求，不致遭到严重变形和破坏，保证工作的稳定和一定的使用寿命。属“机械设计”课程的内容。

(3) 几何精度分析与计算。零件基本尺寸确定后,还需要进行精度计算,以决定产品零件的几何公差和各个部件的装配精度。

需要指出的是,以上三个方面在机械设计过程中是缺一不可的。本书主要讨论的是几何精度的分析与计算。

机械零部件的精度一定程度上决定了整台机械设备的精度和质量。

在机械精度设计中,几何量包括长度、角度、几何形状、相互位置、表面结构和表面粗糙度,几何精度是指这些几何量的精度。从机械零件的典型形态来看,主要有圆柱形、圆锥形、单键、花键、螺纹、齿轮等,从基本几何要素来看,都是由点、线、面等几何要素构成的。在实际零件上,由于制造过程的多种因素造成这些要素所形成的尺寸、位置、形状和表面质量都存在一定的误差。几何精度是指这些几何要素的参数值的精度。其设计任务的主要内容是要使机械产品在满足功能要求的前提下,满足几何参数的互换性要求。

但是,根据上述设计精度制造出的零件,装配成机构或机器后,还不一定能达到需要的精度要求。因为机器在运动过程中,其所处的环境条件(如电压、气温、湿度、振动等)及所受的负荷都可能发生变化,造成相关零件的几何量发生变化;或者相对运动的零件耦合后,其几何精度在运动过程中也能发生改变。为此,除分析、计算机器静态的精度问题之外,还必须分析在运动情况下,零件及机器的精度问题。而且由于现代机械产品正朝着机光电一体化的方向发展,这样的产品,其精度问题已不再是单纯的尺寸误差、形状和位置误差等几何量精度问题,还包括光学量、电学量等及其误差在内的多量纲精度问题,其分析与计算比传统的几何量精度分析更为复杂和困难。

### 第三节 几何精度设计的主要方法

几何精度设计的方法主要有类比法、计算法和试验法三种。

#### 一、类比法

类比法就是与经过实际使用证明合理的类似产品的相应要素进行比较,确定所设计零件几何要素精度的设计方法。

采用类比法进行精度设计时,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,并考虑到实际生产条件、制造技术的发展、市场供求信息等多种因素。

采用类比法进行精度设计的基础是资料的收集、分析与整理。

类比法是大多数零件要素精度设计采用的方法。类比法也称经验法。

#### 二、计算法

计算法就是根据由某种理论建立起来的功能要求与几何要素公差之间的定量关系,计算确定零件要素精度的设计方法。

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;

等等。

目前,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。

### 三、试验法

试验法先根据一定条件,初步确定零件要素的精度,并按此进行试制,再将试制产品在规定的使用条件下运转。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相比较,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,就可以最终确定满足功能要求的合理设计。

试验法的设计周期较长且费用较高,因此主要用于新产品设计中个别重要要素的精度设计。

迄今为止,几何精度设计仍处于以类比法为主的阶段。大多数要素的几何精度都是采用类比的方法凭实际工作经验确定的。

计算机科学的兴起与发展为机械设计提供了先进的手段和工具。但是,在计算机辅助设计(CAD)的领域中,计算机辅助公差设计(CAT)的研究才刚刚开始。其中,不仅需要建立和完善精度设计的理论与精确设计的方法,而且要建立具有实用价值和先进水平的数据库以及相应的软件系统。只有这样才可能使计算机辅助公差设计进入实用化的阶段。

## 第四节 几何量的检测

完工后的零件是否满足公差要求,要通过检测加以判断。检测包含检验与测量。

几何量的检验是指确定零件的几何参数是否在规定的极限范围内,并作出合格性判断,而不必得出被测量的具体数值;测量是将被测量与作为计量单位的标准量进行比较,以确定被测量的具体数值的过程。

检测不仅用来评定产品质量,而且用于分析产生不合格品的原因,及时调整生产,监督工艺过程,预防废品产生。检测是机械制造的“眼睛”。无数事实证明,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。

综上所述,合理确定公差与正确进行检测,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。

## 第五节 机械精度设计原则

由于各种机械或仪器产品的不同,如机床、汽车、拖拉机、机车车辆、流体机械、动力机械、精密仪器和仪器仪表等,其机械精度设计的要求和方法不同,但从机械精度设计总的角度来看,应遵循以下原则。

### 一、经济性原则

经济性原则是一切设计工作都要遵守的一条基本而重要的原则,机械精度设计也不

例外。

经济性可以从以下几个方面来考虑。

(1) 工艺性。工艺性包括加工工艺性及装配工艺性，若工艺性较好，则易于组织生产，节省工时，节省能源，降低管理费用。

(2) 合理的精度要求。不必要地提高零部件的加工及装配精度，往往使加工费用成倍增加。

(3) 合理选材。材料费用不应占机器或仪器整个费用的太大分量。元器件成本太高，往往使所生产的机器无法推广应用或滞销。

(4) 合理的调整环节。通过设计合理的调整环节，往往可以降低对零部件的精度要求，达到降低机器成本的目的。

(5) 提高寿命。寿命延长一倍，相当于一台设备当两台用，价格便降低了一半。

### 二、匹配性原则

在对整机进行精度分析的基础上，根据机器中各部分各环节对机械精度影响程度的不同，根据现实可能，分别对各部分各环节提出不同的精度要求和恰当的精度分配，做到恰到好处，这就是精度匹配性原则。例如，一般机械中，运动链中各环节要求精度高，应当设法使这些环节保持足够的精度；对于其他链中的各环节则应根据不同的要求分配不同的精度。再如，对于一台机器的机、电、光等各个部分的精度分配要恰当，要互相照顾和适应，特别要注意各部分之间相互牵连、相互要求上的衔接问题。

### 三、最优化原则

机械精度是由许多零部件精度构成的集合体，可以主动重复再现其组成零部件精度间的优化协调。所谓最优化原则，即探求并确定各组成零部件精度处于最佳协调时的集合体。例如，探求并确定先进工艺、优质材料等，这是一种创造性、探索性的劳动。

由于各组成零部件间精度的最佳协调是有条件的，故可通过实现此条件来主动重复获得精度间的最佳协调。例如，主动推广先进工艺，发展优质产品等。

按最优化原则，充分利用创造性劳动成果免除重复探索性劳动的损失，反复应用成功的经验，可获得巨大的经济效果。

计算机的广泛使用，特别是微型计算机的普及和推广，对机械精度设计正在产生极为深远的影响。计算机能够处理大量的数据，提高计算精度和运算速度，准确地分析结果，合理地进行机械的最优化精度设计。

### 四、互换性原则

互换性是指某一产品（包括零件、部件、构件）与另一产品在尺寸、功能上能够彼此互相替换的性能。由此可见，要使产品能够满足互换性的要求，不仅要使产品的几何参数（包括尺寸、宏观几何形状、微观几何形状）充分近似，而且要使产品的机械性能、物化性能以及其他功能参数充分近似。本章第六节将对互换性原则做进一步的阐述。

## 第六节 互换性概述

### 一、互换性的含义

由零件图样表达的设计要求需要通过实际生产来实现，而不同的生产力水平，要求有与之相适应的生产方式。在当前全球化大生产的条件下，按照专业协作的原则进行生产，是提高产品质量，降低生产成本，从而提高经济效益的必由之路。

在生产水平低下的情况下，社会的主要经济形态是自然经济。一家一户，或一个手工业工场，就可以完成某些产品的全部生产过程。但是，随着生产力的发展和对产品质量要求与复杂程度的提高，科学技术的进步，大量生产的出现，特别是商品市场的发展，就不可能也不应该只由一个工厂来完成某一产品的全部生产过程，必须组织专业化的协作生产。

在不同工厂、不同车间、由不同工人生产的相同规格的零件或部件，可以不经选择、修配或调整，就能装配成满足预定使用功能要求的机器或仪器，机械产品所具有的这种性能称为互换性。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。

由此可见，互换性表现为对产品零部件在装配过程中三个不同阶段的要求：装配前，不需选择；装配时，不需修配和调整；装配后，可以满足预定的使用功能。

显然，为了使零部件具有互换性，首先应对其几何要素提出适当的、统一的要求，因为只有保证了对零部件的几何要素的要求，才能实现其可装配性和装配后满足与几何要素（尺寸、形状等）有关的功能要求。这就是零件或部件的几何精度互换。

要全面满足对产品的使用功能的要求，仅仅保证零、部件具有几何精度互换是不够的，还需要从零部件的物理性能、化学性能、力学性能等各方面提出互换性要求。把仅满足可装配性要求的互换称为装配互换；把满足各种使用功能要求的互换称为功能互换。

### 二、互换性的分类

在生产中，互换性按其互换的程度分为完全互换（绝对互换）和不完全互换（有限互换）。

（1）完全互换：一批零件在装配或更换时，不需选择，不需调整与修理，装配后即可达到使用要求性能，如螺栓、螺母等标准件的装配大都属于此类情况。

（2）不完全互换：同种零部件加工好以后，在装配前需经过挑选、调整或修配等辅助工序处理，在功能上才能具有彼此相互替换的性能。根据零件满足互换要求所采取的措施不同，不完全互换又可分为分组互换、调整互换和修配互换。

- 分组互换：同类零部件加工好后，装配前要先进行检测分组，然后按组装配，仅仅同组的零部件可以互换，组与组之间的零部件不能互换。
- 调整互换：同种零部件加工好后，装配时用调整的方法改变它在部件或机构中的尺寸或位置，才能满足功能要求。
- 修配互换：同类零部件加工好后，在装配时要用去除材料的方法改变它的某一实际尺寸的大小，才能满足功能上的要求。

对于不同的产品和某种产品的不同生产阶段，是否应具有互换性或应该在何种范围内和何种程度上具有互换性，还需进行具体的分析。例如，滚动轴承作为由专业化工厂生产的高精度标准部件，它与其他零件具有装配关系的各尺寸应该具有完全的互换性。但其内、外圈和滚子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的互换性，就会给制造带来极大的困难，所以往往只有不完全的互换性，即采取分组互换的方法，才能取得较好的经济效果，又不影响整个轴承的使用。又如，对于单件或小批量生产的大尺寸零件，为实现更高的经济效益常常采用配制的方法而不按互换性原则来生产。

由此可见，对于重复生产、分散制造、集中装配的零件，在精度设计时必须要求互换。互换性是对重复生产零件的要求。只要按照统一的设计进行重复生产，就可以获得具有互换性的零件。零件的精度设计必须合理，即经济地满足功能要求。

### 三、互换性的意义

从广义上来讲，互换性已经成为国民经济各个部门生产建设中必须遵循的一项基本原则。现代机械制造中，无论大批量生产或者是单件生产，都应遵循这一原则。

任何机械的生产，其设计过程都是：整机—部件—零件；其制造过程则是：零件—部件—整机。无论是设计过程还是制造过程，都需要把互换性原则贯彻始终。

从设计看，按互换性原则进行设计可以简化绘图、计算工作，缩短设计周期，并有利于采用计算机进行辅助设计。这对发展系列产品、促进产品结构性能的不断改进，使产品不断更新换代，满足日益变换的市场需求，具有重大意义。

从制造看，互换性是提高生产水平和进行文明生产的必要手段。互换性能促使高效率、高效益的生产，便于组织社会化大生产协作，进行专门化生产，这一点在当前市场经济走向全球化方面尤为重要。由于制造者在制造中必须充分考虑互换性要求，因此就必须尽可能选用标准化的刀、夹、量具，工艺尽可能保持稳定，不仅被加工的零件能严格控制在规定的允许误差之内，而且尽可能使其误差分布合理。采用计算机辅助加工系统，可以使产量和质量提高，成本下降。

从使用看，在零部件失效后，可快速维修或更换，从而缩短维修时间，延长机械的使用寿命，保证机械工作的连续性和持久性，给用户带来极大的方便，同时也提高了产品的信誉。尤其在某些特定的情况下，互换性所起的作用难以用价值来衡量。例如，发电厂要及时排除设备故障，保证继续供电；战场上要迅速排除武器装备故障，保证战斗继续进行。在这些场合，完全互换就显得尤为重要。

具有互换性的产品可以在使用过程中迅速更换易损零部件，从而保持其连续可靠地运转，给使用者带来极大的方便，获得充分的经济效益。

互换程度的提高同时也给制造过程带来极大的方便。例如，可以迅速更换磨损了的刀具，保证加工过程的持续性；自动和半自动机床上原材料装夹的稳定与可靠；设备维修中易损零部件的更换等，都是以具有互换性为前提的。所以，互换性也大大提高了制造过程的经济效益。

由此可见，在机械制造和设计中，遵循互换性原则不仅能显著提高劳动生产力，而且能有效地保证产品质量和降低成本。互换性原则是机械设计和制造过程中的重要原则，它对于

产品顺应市场经济的发展至关重要。

## 第七节 标准化及优先数系

### 一、标准化的含义

实现互换性，就要严格按照统一的标准进行设计、制造、装配、检验等，而标准化是实现这一要求的一项重要技术手段。因此，在现代工业中，标准化是广泛实现互换性生产的前提和基础。

标准化是组织现代化生产的重要手段之一，是实现专业化协作生产的必要前提，也是科学化质量管理的重要组成部分，另外，标准化还是发展贸易、提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。现代经济技术的发展表明，标准化客观地标志出一个国家现代化的水平，当现代化程度愈高时，对标准化的要求就愈高。

技术标准是标准化的具体体现形式，所谓技术标准（简称标准），是指在经济、技术、科学和管理学社会实践中，对重复性的事物和概念，在一定范围内通过科学简化，优选和协调，经一定的程序审批后所颁发的统一规定，在一定范围内具有约束力。标准化则是指制定（修订）、贯彻各项标准，以获得国民经济最佳次序和最佳社会效益的全过程。

### 二、标准化的分类

按照制定的范围不同，标准分为国际标准、国家标准、地方标准、行业标准和企业标准五个级别。在国际范围内制定的标准称为国际标准，用“ISO”“IEC”等表示。

根据《中华人民共和国标准化法》规定，我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级。国家标准是指由国家标准化管理主管部门审批颁发、对全国经济技术发展有重大意义，必须在全国范围内统一执行的标准，用“GB”表示。行业标准是指由行业（或部委）标准化部门批准发布，在行业范围内统一执行的标准，如机械标准用“JB”表示。地方标准通常是在没有国家标准或国家标准不能满足需要的情况下，依据某地区的特殊情况发布的仅在该地区范围内统一执行的标准。企业标准是指为提高产品质量，强化竞争能力，企业往往制定出高于专业标准和国家标准的内控标准，这种企业内部所制定颁发的标准，用“QB”表示。

我国机械行业新的国家标准在制定时，基本上都参照了目前的国际标准。

### 三、优先数与优先数系

在标准化的范畴内，各种技术参数值的简化和统一，是标准化的基础。因为任一产品的技术参数都会以各种不同的形式和规律向有关产品传播。例如，胶卷的尺寸会影响照相机、冲扩设备的设计；录音、录像磁带的规格又与录音机、录像机有关。优先数和优先数系就是对技术参数的数值进行简化和统一的科学的数值制度。

国家标准 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》规定的优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 或 $\sqrt[80]{10}$ ，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

数列。各数列分别用符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示，称为 R5 系列、R10 系列、R20 系列、R40 系列和 R80 系列。五个系列中，R80 为补充系列，其余四种为基本系列，优先数系中的任一项值均为优先数，其常用数值列于表 0-1。基本系列的公比为

$$\text{R5 的公比 } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.5894 = 1.6$$

$$\text{R10 的公比 } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2589 = 1.25$$

$$\text{R20 的公比 } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.1220 = 1.12$$

$$\text{R40 的公比 } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.0593 = 1.06$$

选用基本系列时，应遵守先疏后密的规则，即应按照 R5、R10、R20、R40 的顺序优先采用公比较大的基本系列，以免规格过多。

优先数系列在各项公差标准中也得到了广泛的应用，公差标准的许多数值都是按照优先数系列选定的。例如，在尺寸精度的国家标准中，标准公差数值就是按 R5 优先数系列确定的，而尺寸分段是按 R10 优先数系列确定的。采用等比数列作为优先数系有很多优点，可使相邻两个优先数的相对差相同，运算简便，简单易记，疏密适当，有广泛的适应性，符合标准化的统一、简化和协调的原则，现已被国际标准化组织采纳为统一的标准数值制。

表 0-1 基本系列 (GB/T 321—2005)

基本系列 (常用值)				序号 $N$			理论值的 对数尾数	计算值	常用值的 相对误差 (%)
R5	R10	R20	R40	从 0.1 到 1	从 1 到 10	从 10 到 100			
1.00	1.00	1.00	1.00	-40	0	40	000	1.0000	0
			1.06	-39	1	41	025	1.0593	+0.07
		1.12	1.12	-38	2	42	050	1.1220	-0.18
			1.18	-37	3	43	075	1.1885	-0.71
	1.25	1.25	1.25	-36	4	44	100	1.2589	-0.71
			1.32	-35	5	45	125	1.3335	-1.01
		1.40	1.40	-34	6	46	150	1.4125	-0.88
			1.50	-33	7	47	175	1.4962	+0.25
1.60	1.60	1.60	1.60	-32	8	48	200	1.5849	+0.95
			1.70	-31	9	49	225	1.6788	+1.26
		1.80	1.80	-30	10	50	250	1.7783	+1.22
			1.90	-29	11	51	275	1.8836	+0.87
	2.00	2.00	2.00	-28	12	52	300	1.9953	+0.24
			2.12	-27	13	53	325	2.1135	+0.31
		2.24	2.24	-26	14	54	350	2.2387	+0.06
			2.36	-25	15	55	375	2.3714	-0.48
2.50	2.50	2.50	2.50	-24	16	56	400	2.5119	-0.47



续表

基本系列 (常用值)				序号 $N$			理论值的 对数尾数	计算值	常用值的 相对误差 (%)
R5	R10	R20	R40	从 0.1 到 1	从 1 到 10	从 10 到 100			
			2.65	-23	17	57	425	2.6607	-0.40
		2.80	2.80	-22	18	58	450	2.8184	-0.65
			3.00	-21	19	59	475	2.9854	+0.49
	3.15	3.15	3.15	-20	20	60	500	3.1623	-0.39
			3.35	-19	21	61	525	3.3497	+0.01
		3.55	3.55	-18	22	62	550	3.5481	+0.05
			3.75	-17	23	63	575	3.7584	-0.22
4.00	4.00	4.00	4.00	-16	24	64	600	3.9811	+0.47
			4.25	-15	25	65	625	4.2170	+0.78
		4.50	4.50	-14	26	66	650	4.4668	+0.74
			4.75	-13	27	67	675	4.7315	+0.39
	5.00	5.00	5.00	-12	28	68	700	5.0119	-0.24
			5.30	-11	29	69	725	5.3088	-0.17
		5.60	5.60	-10	30	70	750	5.6234	-0.42
			6.00	-9	31	71	775	5.9566	+0.73
6.30	6.30	6.30	6.30	-8	32	72	800	6.3096	-0.15
			6.70	-7	33	73	825	6.6834	+0.25
		7.10	7.10	-6	34	74	850	7.0795	+0.29
			7.50	-5	35	75	875	7.4989	+0.01
	8.00	8.00	8.00	-4	36	76	900	7.9433	+0.71
			8.50	-3	37	77	925	8.4140	+1.02
		9.00	9.00	-2	38	78	950	8.9125	+0.98
			9.50	-1	39	79	975	9.4406	+0.63
10.00	10.00	10.00	10.00	0	40	80	000	10.0000	0

注: 1. 大于 10 和小于 1 的优先数, 可按本标准第 3 条 b 款所述的十进制延伸方法求得。

2. 常用值的相对误差 =  $\frac{\text{常用值} - \text{计算值}}{\text{计算值}} \times 100\%$ 。

3.  $N$  是优先数在 R10 系列中序号  $N_{40}$  的简写。

## 习 题

- 0-1 完全互换与不完全互换的区别是什么? 不完全互换又有哪些种类?
- 0-2 何谓标准化? 标准是如何分类的?
- 0-3 试述在机械制造业中实行标准化的意义。
- 0-4 国家标准对优先数系是怎样规定的? 它们分别用什么符号表示? 基本系列包括哪些? 试述优先数的意义。