



普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

# 互换性与技术测量

HUHUANXING YU JISHU CELIANG

钱云峰 殷 锐 主编



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

# 互换性与技术测量

钱云峰 殷 锐 主编

王林艳 鲁 杰 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书以“易教易学”为核心，以互换性生产的技术要求为导向，强调概念、原理的“够用、实用、新用”，采用了我国公差与配合最新国家标准，并反映了新的测量方法与技术。本书内容包括绪论、测量技术基础、极限与配合、形状与位置公差、表面粗糙度、滚动轴承的互换性、光滑极限量规、圆锥结合的互换性、键和矩形花键连接的互换性、普通螺纹结合的互换性、圆柱齿轮传动的互换性和尺寸链。每章均配有所需的数据表格和习题，同时还免费为采用本书授课的教师提供电子课件、习题解答和实验指导（通过 [yuy@phei.com.cn](mailto:yuy@phei.com.cn) 进行申请）。

本书是面向应用型本科院校机械及相关专业的教学用书，也可供各类高等院校师生和其他行业的有关工程技术人员参考使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容  
版权所有·侵权必究

### 图书在版编目(CIP)数据

互换性与技术测量 / 钱云峰, 殷锐主编. —北京: 电子工业出版社, 2011.4

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

ISBN 978-7-121-13160-8

I. ①互… II. ①钱…②殷… III. ①零部件—互换性—高等学校—教材②零部件—测量—技术—高等学校—教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 048362 号

策划编辑: 余 义

责任编辑: 余 义

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.75 字数: 397 千字

印 次: 2011 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 29.50 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 [zlt@phei.com.cn](mailto:zlt@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010)88258888。

# 前 言

“互换性与技术测量”是高等工科院校机械类各专业的一门综合性、实用性很强的主干技术基础课程，是与机械制造业发展紧密联系的基础学科。它包含几何量公差与选用及误差检测两方面的内容，将互换性原理、标准化生产管理、误差检测等相关知识融合在一起，涉及机械设计、机械制造及质量控制等多方面技术问题，是技术应用型人才、机械工程人员与管理人员必备的一门综合应用技术基础课程。

本书在编写过程中吸收国内同类教材的优点，听取企业的宝贵建议，参照兄弟院校的教学经验和成果，结合我国高等应用型本科专业教育的特色，以“能力培养”、“够用、实用、新用”为基本原则，以“能力中心课程范型”为课程的基本模式，注重基础内容，突出应用，尽量做到少而精，以便于自学。课后习题也围绕实际生产所需的知识和能力来设计，题型有选择题、填空题、判断题、简答题、计算题和作图题等。本书力求反映国内外的最新成就和最新国家标准，内容新颖齐全，资料丰富，层次分明，适用面广，总学时按 45 学时左右编写，其中理论课 35 学时，实践（实验）课 10 学时，使用中可以根据需要进行取舍。与本书配套的教学辅助资源包括电子课件、习题解答和实验指导，可免费提供给采用本书授课的教师使用（通过 [yuy@phei.com.cn](mailto:yuy@phei.com.cn) 进行申请）。

我们认为，通过本教材的编写和推广使用，有助于加快改进高等应用型本科教育的新型办学模式、课程体系的构建和教学改革的思路和方法，形成具有特色的高等应用型本科教育的新体系，利于提高整体质量。

本书共分 12 章。参加本书编写的有昆明学院钱云峰同志（第 1 章）、西北工业大学殷锐同志（第 5 章、第 6 章、第 12 章）、泰山学院鲁杰同志（第 3 章、第 4 章）、西安工业大学王林艳同志（第 2 章、第 10 章）、西南林业大学王远同志（第 7 章、第 8 章、第 9 章）、山东科技大学孙静同志（第 11 章）。本书由钱云峰、殷锐同志任主编，王林艳、鲁杰同志任副主编。全书由殷锐同志统稿，钱云峰同志定稿。

在此，对在本书的编写和出版过程中给予热情支持和帮助的院校和企业单位及提出宝贵意见的同志表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误，恳请广大读者对本书提出宝贵意见。

编 者

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	(1)	2.4.7 等精度间接测量列的数据 处理 .....	(24)
1.1 互换性 .....	(1)	2.5 计量器具的选择 .....	(25)
1.1.1 互换性的概念 .....	(1)	2.5.1 测量不确定度 .....	(25)
1.1.2 互换性的作用 .....	(2)	2.5.2 计量器具的选择 .....	(26)
1.1.3 互换性的分类 .....	(2)	2.6 本章小结 .....	(29)
1.2 互换性与技术测量 .....	(3)	2.7 习题 .....	(29)
1.2.1 几何参数误差与公差 .....	(3)	<b>第 3 章 极限与配合</b> .....	(31)
1.2.2 技术测量 .....	(5)	3.1 概述 .....	(31)
1.3 互换性与标准化 .....	(5)	3.2 极限与配合的基本内容 .....	(32)
1.3.1 标准 .....	(5)	3.2.1 尺寸与公差的基本术语 .....	(32)
1.3.2 标准化 .....	(6)	3.2.2 有关配合的基本术语 .....	(34)
1.3.3 优先数与优先数系 .....	(6)	3.3 标准公差系列 .....	(37)
1.3.4 本课程的研究对象 与任务 .....	(7)	3.3.1 公差等级 .....	(37)
1.4 习题 .....	(8)	3.3.2 公差单位 .....	(37)
<b>第 2 章 测量技术基础</b> .....	(9)	3.3.3 基本尺寸分段 .....	(38)
2.1 概述 .....	(9)	3.4 基本偏差系列 .....	(39)
2.2 长度基准与量值传递 .....	(10)	3.4.1 基本偏差代号 .....	(39)
2.2.1 基准的建立 .....	(10)	3.4.2 轴的基本偏差 .....	(40)
2.2.2 长度量值传递系统 .....	(11)	3.4.3 孔的基本偏差 .....	(41)
2.2.3 量块 .....	(12)	3.4.4 基准制配合 .....	(44)
2.3 测量方法与计量器具 .....	(14)	3.4.5 极限与配合的标注 .....	(44)
2.3.1 测量方法的分类 .....	(14)	3.5 国标规定尺寸公差带与一般 公差 .....	(45)
2.3.2 计量器具的分类 .....	(15)	3.5.1 孔、轴公差带与配合的 标准化 .....	(45)
2.3.3 计量器具的基本技术 参数 .....	(16)	3.5.2 一般公差 .....	(47)
2.4 测量误差及其处理 .....	(17)	3.6 极限与配合的选择 .....	(48)
2.4.1 测量误差的基本概念 .....	(17)	3.6.1 基准制的选用 .....	(48)
2.4.2 测量误差产生的原因 .....	(18)	3.6.2 公差等级的选用 .....	(49)
2.4.3 测量误差的分类 .....	(18)	3.6.3 配合种类的选择 .....	(51)
2.4.4 测量精度的分类 .....	(19)	3.6.4 配合种类选用举例 .....	(54)
2.4.5 测量误差的处理方法 .....	(20)	3.7 光滑工件尺寸的检测 .....	(55)
2.4.6 等精度直接测量列的 数据处理 .....	(23)		

3.7.1	验收原则、安全裕度和 验收极限 .....	(55)	5.1.1	表面粗糙度的概念 .....	(107)
3.7.2	计量器具的选择原则 .....	(57)	5.1.2	表面粗糙度对互换性 的影响 .....	(108)
3.7.3	尺寸测量方法示例 .....	(59)	5.2	表面粗糙度的评定参数 .....	(108)
3.8	本章小结 .....	(60)	5.2.1	基本术语及定义 .....	(109)
3.9	习题 .....	(60)	5.2.2	评定参数 .....	(111)
<b>第4章</b>	<b>形状与位置公差</b> .....	(66)	5.3	表面粗糙度的标注 .....	(112)
4.1	概述 .....	(66)	5.3.1	表面粗糙度的基本 符号 .....	(112)
4.1.1	零件的要素 .....	(66)	5.3.2	表面粗糙度的代号及其 标注 .....	(113)
4.1.2	形位公差的项目 及符号 .....	(67)	5.3.3	表面粗糙度在图样上的 标注 .....	(115)
4.1.3	形位公差的标注 .....	(68)	5.4	表面粗糙度的选择 .....	(116)
4.1.4	形位公差带 .....	(70)	5.4.1	表面粗糙度评定参数 的选择 .....	(117)
4.2	形状公差 .....	(71)	5.4.2	表面粗糙度评定参数值 的选择 .....	(117)
4.3	形状或位置公差 .....	(72)	5.5	表面粗糙度的测量 .....	(120)
4.3.1	基准和基准体系 .....	(72)	5.5.1	比较法 .....	(120)
4.3.2	轮廓度公差与公差带 .....	(72)	5.5.2	光切法 .....	(121)
4.4	位置公差 .....	(74)	5.5.3	干涉法 .....	(121)
4.4.1	定向公差项目 .....	(74)	5.5.4	针描法 .....	(122)
4.4.2	定位公差项目 .....	(76)	5.6	本章小结 .....	(122)
4.4.3	跳动公差项目 .....	(78)	5.7	习题 .....	(122)
4.5	公差原则 .....	(79)	<b>第6章</b>	<b>滚动轴承的互换性</b> .....	(124)
4.5.1	有关术语定义 .....	(79)	6.1	概述 .....	(124)
4.5.2	独立原则 .....	(81)	6.1.1	滚动轴承的结构 .....	(124)
4.5.3	相关要求 .....	(82)	6.1.2	滚动轴承的代号 .....	(125)
4.6	形位公差的选择 .....	(91)	6.2	滚动轴承的公差 .....	(126)
4.6.1	形位公差项目的选用 .....	(91)	6.2.1	滚动轴承的公差等级 .....	(127)
4.6.2	基准要素的选择 .....	(92)	6.2.2	滚动轴承内、外径的 公差带 .....	(127)
4.6.3	公差原则的选用 .....	(92)	6.3	滚动轴承配合的选择 .....	(128)
4.6.4	几何公差值的选择 .....	(93)	6.3.1	配合选择的基本原则 .....	(128)
4.6.5	未注形位公差 .....	(96)	6.3.2	轴颈和外壳孔的 公差带 .....	(131)
4.6.6	形位公差选用举例 .....	(97)	6.3.3	配合表面的形位公差及 表面粗糙度 .....	(133)
4.7	形位误差的评定与检测 原则 .....	(98)	6.3.4	滚动轴承配合选用 举例 .....	(134)
4.7.1	形位误差的评定 .....	(99)			
4.7.2	形位误差的检测原则 .....	(100)			
4.8	本章小结 .....	(101)			
4.9	习题 .....	(102)			
<b>第5章</b>	<b>表面粗糙度</b> .....	(107)			
5.1	概述 .....	(107)			



6.4	本章小结 .....	(135)
6.5	习题 .....	(135)
<b>第7章</b>	<b>光滑极限量规 .....</b>	<b>(137)</b>
7.1	概述 .....	(137)
7.1.1	尺寸误检的概念 .....	(137)
7.1.2	光滑极限量规作用 与分类 .....	(138)
7.2	光滑极限量规的公差 .....	(139)
7.2.1	工作量规的公差 .....	(139)
7.2.2	校对量规的公差 .....	(140)
7.3	光滑极限量规的设计 .....	(141)
7.3.1	量规设计的原则 .....	(141)
7.3.2	量规形式的选择 .....	(142)
7.3.3	量规工作尺寸的 计算 .....	(142)
7.3.4	量规的技术要求 .....	(143)
7.4	本章小结 .....	(143)
7.5	习题 .....	(144)
<b>第8章</b>	<b>圆锥结合的互换性 .....</b>	<b>(145)</b>
8.1	概述 .....	(145)
8.1.1	圆锥体结合的特点 .....	(145)
8.1.2	圆锥配合的主要 参数 .....	(145)
8.2	锥度、锥角系列与圆锥 公差 .....	(146)
8.2.1	锥度与锥角系列 .....	(146)
8.2.2	圆锥公差项目 .....	(147)
8.2.3	圆锥公差数值的给定 方法 .....	(149)
8.3	圆锥配合 .....	(150)
8.3.1	圆锥配合的种类 .....	(150)
8.3.2	圆锥配合的一般 规定 .....	(151)
8.3.3	圆锥尺寸及公差的 标注 .....	(152)
8.4	锥度的检测 .....	(154)
8.4.1	量规检验法 .....	(154)
8.4.2	间接测量法 .....	(155)
8.5	本章小结 .....	(155)
8.6	习题 .....	(156)

## 第9章 键和矩形花键连接的

### 互换性 .....

9.1	平键连接的互换性 .....	(157)
9.1.1	概述 .....	(157)
9.1.2	平键连接的公差与 配合 .....	(157)
9.1.3	平键连接的形位公差和 表面粗糙度 .....	(159)
9.1.4	键槽尺寸和公差在图样上 的标注 .....	(160)
9.2	矩形花键连接的互换性 .....	(160)
9.2.1	概述 .....	(160)
9.2.2	矩形花键连接的公差 与配合 .....	(161)
9.2.3	矩形花键连接的形位 公差和表面粗糙度 .....	(164)
9.2.4	矩形花键连接的标记 和测量 .....	(165)
9.3	本章小结 .....	(165)
9.4	习题 .....	(166)

## 第10章 普通螺纹结合的

### 互换性 .....

10.1	概述 .....	(168)
10.1.1	螺纹的种类及使用 要求 .....	(168)
10.1.2	普通螺纹的基本几何 参数 .....	(168)
10.2	普通螺纹的几何参数对 互换性的影响 .....	(170)
10.2.1	螺纹中径误差的影响 .....	(170)
10.2.2	螺距误差的影响 .....	(170)
10.2.3	牙型半角误差的影响 .....	(171)
10.2.4	螺纹中径的合格性 判断 .....	(172)
10.3	普通螺纹的公差与配合 .....	(172)
10.3.1	普通螺纹的公差带 .....	(172)
10.3.2	普通螺纹公差带 的选用 .....	(176)
10.3.3	普通螺纹的标注 .....	(176)
10.4	普通螺纹测量 .....	(178)

10.4.1	· 单项测量·····	(178)	11.4.2	· 齿轮副侧隙评定指标的 精度标准·····	(204)
10.4.2	· 综合测量·····	(181)	11.4.3	· 齿轮坯精度标准···	(205)
10.5	· 本章小结·····	(181)	11.4.4	· 圆柱齿轮精度设计 · 举例·····	(207)
10.6	· 习题·····	(181)	11.5	· 本章小结·····	(209)
<b>第 11 章 圆柱齿轮传动的</b>			11.6	· 习题·····	(209)
	<b>互换性</b> ·····	(183)	<b>第 12 章 尺寸链</b> ·····		(211)
11.1	· 概述·····	(183)	12.1	· 基本概念·····	(211)
11.1.1	· 齿轮传动的使用要求	(184)	12.1.1	· 尺寸链的基本术语 · 与定义·····	(211)
11.1.2	· 影响齿轮使用要求的 · 主要误差及来源···	(185)	12.1.2	· 尺寸链的分类·····	(212)
11.2	· 单个圆柱齿轮的精度评定 · 指标及其检测·····	(186)	12.1.3	· 尺寸链的确立 · 与分析·····	(214)
11.2.1	· 影响齿轮传递运动准确性 · 的评定指标及其检测	(186)	12.1.4	· 尺寸链的求解方法···	(215)
11.2.2	· 影响齿轮传动平稳性的 · 评定指标及其检测···	(191)	12.2	· 完全互换法·····	(216)
11.2.3	· 影响齿轮载荷分布均匀性 · 的评定指标及其检测	(193)	12.2.1	· 基本公式·····	(216)
11.2.4	· 影响侧隙的单个齿轮评定 · 指标及其检测·····	(195)	12.2.2	· 尺寸链的计算·····	(217)
11.3	· 齿轮副的精度评定指标 · 及其检测·····	(198)	12.3	· 大数互换法·····	(221)
11.4	· 圆柱齿轮精度标准及 · 设计·····	(199)	12.3.1	· 基本公式·····	(221)
11.4.1	· 圆柱齿轮精度标准···	(199)	12.3.2	· 大数互换法解尺寸链	(222)
			12.4	· 本章小结·····	(224)
			12.5	· 习题·····	(224)
			<b>参考文献</b> ·····		(226)



# 第1章

## 绪 论

### ► 学习目的

通过本章的学习,了解互换性生产的概念、作用和分类;互换性生产与误差、公差的关系;标准的基本概念与标准化的意义;优先数与优先数系的基本内容和特点,以及优先数系在标准化中的作用。

## 1.1 互换性

### 1.1.1 互换性的概念

我们在日常生活中经常会碰到灯泡损坏的情况,维修时,修理人员往往是将损坏的灯泡拆下,购买相同规格的完好灯泡装上,电路开关一合上,灯泡一定会发光。这是因为规格相同的灯泡,都是按互换性要求制造的,无论它们生产于哪个工厂,只要产品合格,都具有互相替换的性能;还有很多同样的例子,如人们经常使用的汽车、电视机、手机、手表等。所谓互换性,就是机器零件(或部件)相互之间可以替代,且能保证使用要求的一种特性。确切地说,互换性是指在同一规格的一批零件(或部件)中,不经选择、修配或调整,任取其一,都能装在机器上达到规定的功能要求。如图1-1所示,(a)中上方规格的轴颈不能替换下方规格的轴颈,它们不具有互换性;而(b)中上方规格的轴颈可以替换下方规格的轴颈,它们具有互换性。因此,互换性生产是制造业和其他许多工业产品设计和制造的重要原则。

在现代工业生产中常采用专业化的协作生产,即用分散制造、集中装配的办法来提高生产率,保证产品质量和降低成本。要实行专业化生产保证产品具有互换性,必须采用互换性生产原则。

互换性通常包括几何参数互换(如尺寸、形状等),机械性能互换(如硬度、强度等),理化性能互换(如化学成分、导电性等)等。本课程仅讨论几何参数的互换性。

几何参数主要指尺寸大小、几何形状(包括微观与宏观),以及点、线、面间的相互位置关系等。为了满足互换性的要求,同一规格的零件(或部件)的几何参数要做得完全一致是最理想的,但由于加工误差的存在,在实践中这是达不到的,同时也是不必要的。实际上,只要要求同一规格的零件(或部件)的几何参数保持在一定的范围内,就能达到互换性的目的。

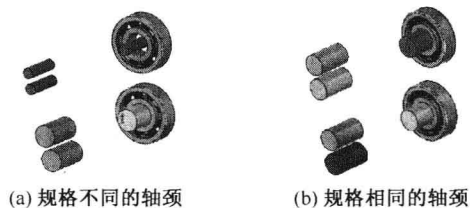


图 1-1 互换性示例

### 1.1.2 互换性的作用

互换性生产对国家经济建设具有非常重要的意义。现代的工业，要求机械零件具有互换性，才能将一台设备中的成千上万个零件（或部件），分散到不同的工厂、车间进行高效率的专业化生产，然后集中进行装配，如图1-2所示。因此，按互换性原则组织生产，是现代生产的重要技术原则，它为生产的专业化创造了条件，不但促进了自动化生产的发展，而且有利于降低产品成本，提高产品质量。

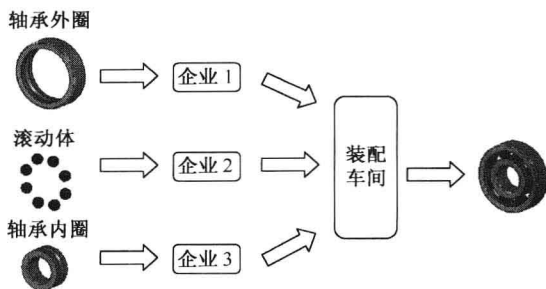


图 1-2 分散生产，集中装配

互换性生产为产品的设计、制造、使用 and 维修带来很大的方便，使得各相关部门获得最佳的经济效益和社会效益。

在设计方面，遵循互换性生产原则，便于采用三化（标准化、系列化、通用化）设计和计算机辅助设计（CAD），大量采用标准件和通用件，减小绘图、计算等工作量，缩短设计周期，并有利于产品多样化开发。

在制造方面，遵循互换性生产原则，利于合理进行分工和组织专业化协作生产，利于采用先进工艺和高效专用设备，尤其是计算机辅助制造，利于实现加工和装配过程的机械化、自动化，提高生产率，保证产品质量，降低生产成本，缩短生产周期。

在使用和维修方面，零件（或部件）具有互换性，可以及时更换磨损或损坏的零件（或部件），以便迅速排除故障，恢复设备工作性能；减少了修理机器设备的时间和费用，保证机器能连续而持久地运转。

由上可知，互换性生产对提高生产率，保证产品质量和可靠性，降低生产成本，缩短生产周期，增加经济效益具有重要作用，因此，互换性生产已成为现代制造业中一个普遍遵守的原则，也是现代工业发展的必然趋势。

### 1.1.3 互换性的分类

按照互换的范围，可分为功能互换和几何参数互换。功能互换是指零部件的几何参数、机械性能、理化性能及力学性能等方面都具有互换性（又称为广义互换）；几何参数互换是指零部件的尺寸、形状、位置及表面粗糙度等参数具有互换性（又称为狭义互换）。

按照互换的程度，可分为完全互换和不完全互换。完全互换是指一批零件（或部件）在装配前不需要分组、挑选，装配时也不需要调整和修配，装配后就能满足预定的性能要求。如螺栓、圆柱销等标准件的装配大都属于此类情况。不完全互换是指允许零部件在装配前预先分组或在装配时采取修配、调整等措施，这类互换又称为有限互换。如当装配精度要求很高时，采用完全互换将使零件的尺寸误差要求减得很小，制造精度要求提得很高，加工困难，成本增高，甚至无法加工。这时可适当降低零件的制造精度，使之便于加工；在加工完成后，通过测量将零件按实际尺寸大小分为若干组，用相同组号的零件进行装配，此时，仅是组内零件可以互换，组与组之间不可互换；如此，既可保证装配精度和使用要求，又可降低加工成本，解决加工难的问题，这种方法称为分组装配法。又如，在装配时允许采用补充加工或钳工修刮的方法，获得所需的装配精度，称为修配法。用移动或更换某些零件来改变其位置和尺寸的方法，达到所需的装配精度，称为调整法。上述方法均属于不完全互换，如图1-3所示。

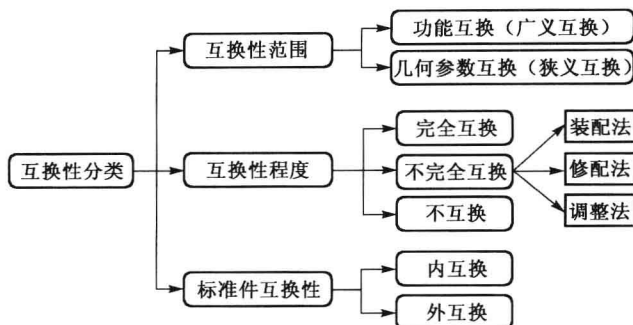


图 1-3 互换性的分类

对于标准件，互换性又可分为内互换和外互换。标准部件内部零件之间的互换称为内互换。如滚动轴承外圈内滚道、内圈外滚道与滚动体之间的互换即为内互换。标准部件与其他零件（或部件）之间的互换称为外互换。如滚动轴承外圈外径与机壳孔、内圈内径与轴颈的互换为外互换，如图1-4所示。

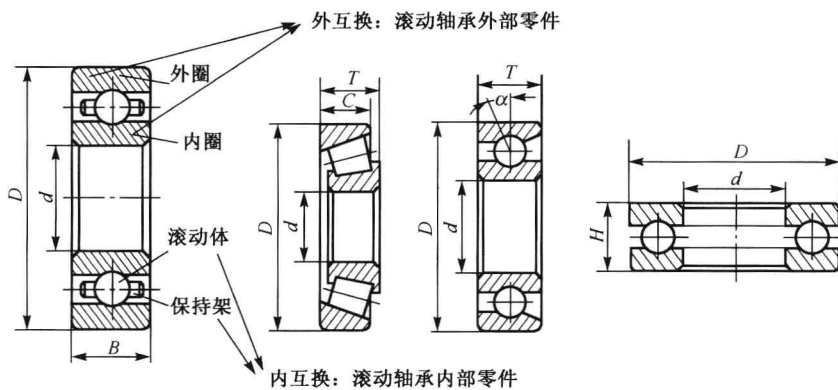


图 1-4 内互换与外互换

究竟采用何种互换性生产方式，要由产品精度、产品复杂程度、生产规模、设备条件及技术水平等一系列因素决定。一般来说，企业外部的协作、大量和成批生产，均采用完全互换法生产，如汽车、电视机、手机、手表等。采用不完全互换法生产的往往是一些特殊行业；精度要求很高的如轴承工业，常采用分组装配生产；而小批和单件生产的如矿山、冶金等重型机器业，常采用修配法或调整法生产。

## 1.2 互换性与技术测量

### 1.2.1 几何参数误差与公差

#### 1. 几何参数误差

任何一种加工方法都不可能把零件制造得绝对准确。在零件在加工过程中，由于工艺系统（零件、机床、刀具、夹具等）误差和其他因素的影响，使得加工完成后的零件，总存在着不同程度几何参数的误差；即便是提高制造技术水平，也仅可能减小误差，不可能消除误差。通常，我们称这类误差为加工误差。实践中，根据产品使用要求的高低，只要把几何参数的误差控制在一定范围内，就能满足互换性生产的要求，如图1-5所示。

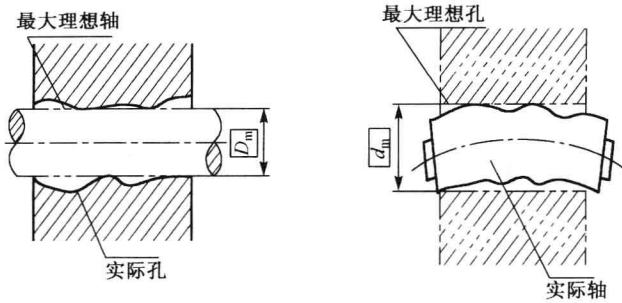


图 1-5 孔、轴配合图

零件几何参数误差可分为如下几种，如图1-6所示。

(1) 尺寸误差 指零件加工后的实际尺寸相对于理想尺寸之差，如直径误差、孔径误差、长度误差等。

(2) 几何形状误差（宏观几何形状误差） 指零件加工后的实际表面形状相对于理想形状的差值，如孔、轴横截面的理想形状是正圆形，加工后实际形状为椭圆形等。

(3) 相互位置误差 指零件加工后的表面、轴线或对称平面之间的实际相互位置相对于理想位置的差值，如两个表面之间的垂直度、阶梯轴的同轴度等。

(4) 表面粗糙度（微观几何形状误差） 指零件加工后的表面上留下的较小间距和微小峰谷所形成的不平度。

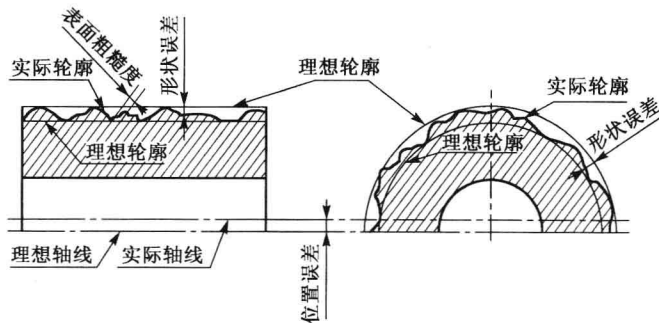


图 1-6 几何参数误差

## 2. 公差

公差是指一批合格零件几何参数误差被允许的变动范围，用以控制加工误差的大小。若单个零件的误差在公差范围内，则为合格件；若超出了公差范围，则为不合格件；因而，公差也可以看成零件被允许的最大误差，如图 1-7 所示。公差是由设计人员根据产品使用要求给定的，给定原则是在保证产品使用性能的前提下，给出尽可能大的公差范围。公差反映了一批零件对制造精度和经济性的要求，也体现了零件加工的难易程度。公差越小，加工越困难，生产成本就越高。

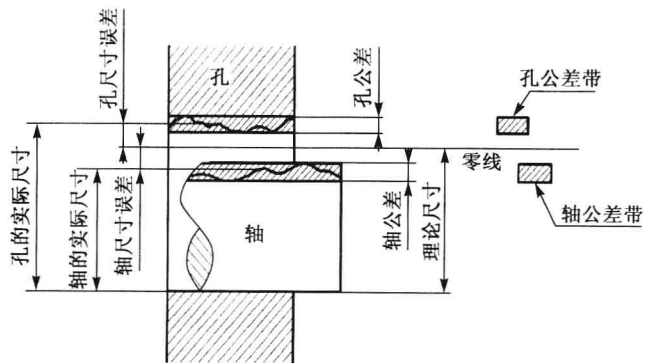


图 1-7 公差及公差带图

## 1.2.2 技术测量

在制造业中,判断加工后的零件是否符合设计要求,需要通过技术测量来进行。技术测量采用各种方法和措施,检测出零件实际的几何参数值,以公差为标准来评定零件误差的合格性。

技术测量不仅能评定零件合格与否,而且能分析不合格的原因,指导我们及时调整工艺过程,监督生产,预防废品产生。技术测量就像制造业的眼睛,处处监控着产品质量的变化。事实证明,产品质量的提高,除设计和加工精度的提高外,往往更依赖于技术测量方法和措施的改进及检测精度的提高。

公差标准是实现互换性的应用基础,技术测量是实现互换性的技术保证。合理确定公差与正确进行技术测量是保证产品质量与实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。

## 1.3 互换性与标准化

### 1.3.1 标准

标准是以生产实践、科学试验和可靠经验的综合成果为基础,对各生产、建设及流通等领域中重复出现的共同技术统一规定的准则,是各方面共同遵守的技术法规。它由权威机构协调制定,经一定程序批准生效后,在相应范围内具有法制性,不得擅自修改或拒不执行。标准代表着经济技术的发展水平和先进的生产方式,既是科学技术的结晶、组织互换性生产的重要手段,也是实行科学管理的基础。通过对标准的实施,可获得最佳的社会经济效益。

标准的范围和内容非常广泛,种类繁多,涉及人类生产和生活的方方面面。标准按照适用领域、有效作用范围可分为基础标准、产品标准、方法标准、安全标准、卫生标准、环境保护标准等。基础标准是在一定范围内作为其他标准的基础而普遍使用的、具有广泛指导意义的标准,如本课程所研究的公差标准。标准按照颁布的权力级别可分为:国际标准,如 ISO (国际标准化组织)、IEC (国际电工委员会) 标准;区域标准(或国家集团标准),如 EN (欧盟)、DIN (德国) 等标准;国家标准,如 GB (中国)、SNV (瑞士)、JIS (日本) 等标准;行业标准(或协会标准),如我国的 JB (原机械部)、YB (原冶金部) 等标准;地方标准 DB 和企业 QB 标准。

我国标准(如图 1-8 所示)由国家标准(GB)、行业标准(JB、YB 等)、地方标准 DB 和企业标准 QB 几个层次构成,其中又分为强制性标准和推荐性标准两大类。一些关系到人身安全、健康、卫生及环保等方面的标准属于强制性标准,国家采用法律、行政和经济等手段来强制实施。其他大量的标准属于推荐性标准,鼓励企业积极认真执行。随着技术和经济的快速

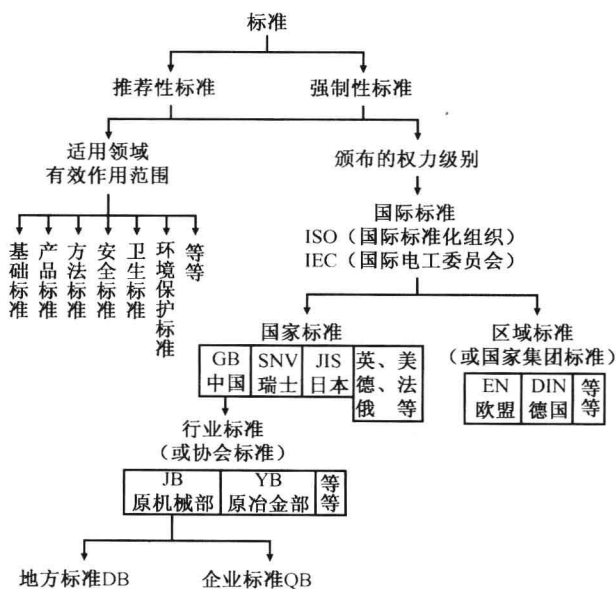


图 1-8 标准及标准分类

发展,在立足我国实际情况、利于加强国际间技术交流的基础上,我国已陆续对原有许多标准进行了修订。

### 1.3.2 标准化

标准化是指制定、贯彻和修改标准,从而获得社会秩序和效益的全部活动过程。它由标准来体现,是一个不断循环和提高的过程。标准化的程度也体现出国家现代化的技术水平,是国家的一项重要技术政策。

互换性生产的特点是规模大、品种多、分工细的协作生产。为了使社会生产有序进行,必须通过标准化过程去正确地贯彻实施标准,使分散的、局部的生产技术环节达到相互协调和统一。标准化是实现互换性的基础,是实现专业化分工协作、组织现代化生产的重要手段,也是科学管理的组成部分。

### 1.3.3 优先数与优先数系

互换性生产中,各种技术参数的协调、简化和统一是标准化的重要内容之一。在产品设计、制造和使用时,总有它自身的一系列通过数值来表达的技术参数指标(即便是同一产品的同一个参数,要形成产品的系列化同样需要选取大小不同的数值)。这些数值往往不是孤立的,当选定某产品的某个参数值时,这个数值就会按一定的规律向一切相关的参数传播。例如,螺栓的直径尺寸一旦确定,将会传播到螺母、丝锥板牙、螺栓孔,以及加工螺栓孔的钻头、螺栓检验环规、螺母检验塞规等相应的直径尺寸参数上。这种参数值的传播普遍存在于生产中,若不加以限制,将会造成产品、刀具、量具、夹具和辅具等尺寸规格的紊乱局面,给生产组织、协调配套及使用维护带来困难。为了使各种参数值协调、简化和统一,前辈们在生产实践中总结出一套科学合理的统一数值标准,就是优先数字系列,简称优先数系;优先数系中的任一个数值都为优先数。

优先数系是国际上统一的数值分级制度,为无量纲的数系,它是在十进制和二进制的几何级数基础上形成的,适用于各种数值的分级。十进制级数就是  $\frac{1}{10^n}$ 、 $\dots$ 、0.01、0.1、1 和 1、10、100、 $\dots$ 、 $10^n$  组成的级数,其中  $n$  为正整数;其规律是每经  $r$  项就使数值增大 10 倍,即若首项值为  $a$ ,公比为  $q$ ,则  $aq^r=10a$ ,因而  $q=\sqrt[r]{10}=10^{\frac{1}{r}}$ 。二进制级数具有倍增规律,如 1、2、4、 $\dots$ 、 $2^n$ ,其中  $n$  为正整数。若要得到二进制与十进制相结合的级数,并规定在十进制级数中每经  $x$  项构成倍数系列,则  $q^x=10^{\frac{x}{r}}=2$ ,得  $\frac{x}{r}=\lg 2 \approx \frac{3}{10}$ 、 $\frac{6}{20}$ 、 $\frac{12}{40}$ 、 $\dots$ ;由此得到数列  $x$  和  $r$  值的任意组合情况,所以当  $x$  与  $r$  为正整数时,就可以同时满足十进制和二进制级数要求。下面以  $\frac{r}{x}=\frac{10}{3}$  为例加以说明。当首项为 1 时,公比  $q_{10}=\sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ,即构成 1.00、1.25、1.60、2.00、2.50、3.15、4.00、5.00、6.30、8.00、10.00 等一系列数值,该系列每经 3 项构成倍数系列,每经 10 项构成十倍数系列。

国际标准 ISO 与我国现行的《优先数和优先数系》国家标准(GB321—1980)相同,规定了优先数系的五个系列,代号为  $R_r$ ,公比为  $q_r=\sqrt[r]{10}$  ( $r$  取 5、10、20、40、80),分别表示为  $R_5$ 、 $R_{10}$ 、 $R_{20}$ 、 $R_{40}$ 、 $R_{80}$ 。系列的项值从 1 开始,可向大于 1 和小于 1 两边无限延伸。其中,前 4 个系列为常用的基本系列; $R_5$  是为了满足分级更稀的需要而推荐的,其他 4 个都含有倍数系列, $R_{80}$  为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。相应的各系列的公比分别为



$$\text{R5 系列公比为 } q_5 = \sqrt[3]{10} \approx 1.60$$

$$\text{R10 系列公比为 } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$\text{R20 系列公比为 } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$\text{R40 系列公比为 } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

$$\text{R80 系列公比为 } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

范围为 1~10 的优先数系列见表 1-1。

表 1-1 优先数系的基本系列 (摘自 GB 321—1980)

基本系列 (常用值)											
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				3.75				8.50
		1.80	1.80	4.00	4.00	4.00	4.00			9.00	9.00
			1.90				4.25				9.50
	2.00	2.00	2.00			4.50	4.50	10.00	10.00	10.00	10.00
			2.12				4.75				

表 1-1 中列出了 1~10 范围内基本系列的常用值。在 R5 系列中插入比例中项,即得出 R10 系列,因而 R5 系列的各项数值包含在 R10 系列中,其余系列同理。另外,若将表中所列优先数乘以 10、100、…,或乘以 0.1、0.01、…,即可得到大于 10 或小于 1 的优先数。

此外,由于生产的需要,标准还允许从基本系列和补充系列中取值组成派生系列和复合系列。派生系列指从某系列中按一定项差取值所构成的系列,如 R10/3 系列,就是在 R10 系列中按每隔 3 项取 1 项,得到 1.00、2.00、4.00、8.00、…,它是倍数系列。复合系列是指由若干等公比系列混合而成的多公比系列,如 10、16、25、35.5、50、71、100、125、160、…,这一系列是由 R5、R20/3 和 R10 三种系列构成的复合系列。

优先数系的主要优点是分档协调,疏密均匀,便于计算,简单易记,且在同一系列中,优先数的积、商、乘方仍为优先数。因此,优先数系广泛适用于各种尺寸、参数的系列化和质量指标的分级,如长度、直径、转速及功率等分级。在应用上,机械产品的主要参数一般遵循 R5 系列和 R10 系列;专用工具的主要尺寸遵循 R10 系列;通用型材、通用零件及工具的尺寸、铸件的壁厚等遵循 R20 系列。所以,优先数系对保证各种产品的品种、规格、系列的合理简化,分档和协调配套具有十分重要的意义。

### 1.3.4 本课程的研究对象与任务

本课程是机械类专业及相关专业的一门重要技术基础课,在学习中起着连接基础课与专业课的桥梁作用,也是联系设计类课程和制造工艺类课程的纽带;它与“机械制图”、“机械设



计”、“机械制造工艺”等课程一样是机械设计与制造的基础；其任务就是研究互换性与技术测量的原则和方法，初步掌握保证机械产品功能和质量要求的精度设计及其检测原理。

互换性与技术测量分别属于标准化和计量学两个不同的范畴。本课程正是将它们有机地结合在一起，从加工的角度研究误差，从设计的科学性探讨公差，从而形成的一门重要的技术基础课，也是一门实践性很强的课程。我们知道，科学技术越发达，对机械产品的精度要求就越高，对互换性的要求也随之提高，机械加工就越来越困难，这就要求我们处理好产品的使用要求与制造工艺之间的矛盾，处理好公差选择的合理性与加工出现误差的必然性之间的矛盾。

本课程的特点是：概念、术语和定义多；代号和符号多；具体规定多、内容关联少；经验总结多、逻辑推理少。学习本课程时，学生会感到枯燥，内容多且繁杂，记不住，不会用等，因此应了解每个术语、定义的实质，及时归纳总结并掌握各术语及定义的区别和联系。通过听课、作业、实验等教学环节，其具体要求如下。

(1) 掌握互换性原理的基础知识；熟悉极限与配合的基本概念，掌握极限配合标准的主要内容。

(2) 了解各种公差标准和基本内容，确定公差的原则和方法，并掌握其特点。

(3) 学会根据产品的功能要求，选择合理的公差，并能正确地标注到图样上；为正确地表达设计思想打下基础。

(4) 掌握一般几何参数测量的基础知识；了解技术测量的工具和方法，学会使用常用的测量器具。

## 1.4 习题

### 简答题

1. 试述互换性在机械制造业中的重要意义。
2. 什么叫互换性？互换性的分类有哪些？
3. 试述完全互换与不完全互换有何区别？各应用于何种场合？
4. 零件几何参数误差可分为哪几种？
5. 为什么要规定优先数系？R5、R10、R20、R40 系列各代表什么？
6. 下列数据属于哪种系列？公比为多少？
  - (1) 电动机转速为：375, 750, 1500, 3000, …, 单位为 r/min。
  - (2) 摇臂钻床的最大钻孔直径有：25, 40, 63, 80, 100, 125, …, 单位为 mm。

# 第2章

## 测量技术基础

### ► 学习目的

通过本章的学习,了解测量的基本概念、计量器具与测量方法的分类及常用术语;掌握测量误差分析和数据处理的方法;具备确定光滑工件尺寸的验收极限和选择计量器具的能力。

## 2.1 概述

为了满足机械产品的功能要求,在正确合理地完成了强度、运动、寿命和精度等方面的设计以后,还必须进行加工、装配和检测过程的设计,即确定加工方法、加工设备、工艺参数、生产流程和检测方法。其中,非常重要的环节就是质量保证措施,而质量保证的终结手段就是检验。

一般来说,检验就是确定产品是否满足设计要求的过成,即判断产品合格性的过程。

检验的方法可以分为两类:定性检验和定量检验。定性检验的方法只能得到被检验对象合格与否的结论,而不能得到其具体的量值。如用光滑极限量规检验工件的尺寸和用功能量规检验工件的位置误差是否超差。定量检验又称为测量检验。从本质上说,就是将被测的量和一个作为计量单位的标准量进行比较,以获得被测量值的实验过程,该方法简称为“检测”。

任何一个测量过程都必须有明确的被测的对象和确定的测量单位。此外,还有二者怎样进行比较和比较所得结果的准确程度如何的问题,即测量方法和测量的准确度问题。测量所必须包含的这四个部分,即测量对象、计量单位、测量方法和测量的准确度称为测量的四个基本要素。

(1) 测量对象 测量对象是指被测定物理量的实体,如测量量块长度时的量块、测量表面粗糙度时的各种工件、测量平面度时的平板等。而被测量则是指某一被测的物理量或被测对象的某一被测参数。测量对象可能包含多个被测的量,这里主要指几何量测量,包括长度、角度、表面粗糙度及形位误差等。

(2) 计量单位 计量单位是在定量评定物理量时,作为标准并用与被测的量进行比较的同类物理量的量值。1984年2月27日正式公布中华人民共和国法定计量单位,确定米制为我国的基本计量制度。在长度计量中,单位为米(m),其他的常用单位有毫米(mm)和微米( $\mu\text{m}$ )。在角度测量中,以度、分、秒为单位。在测量过程中,计量单位必须以物质形式体现出来,即必须以物质形式复制成的标准器作为相应的计量单位与被测量进行比较,测量才能进行。

(3) 测量方法 要实现测量,除了测量对象和计量单位外,还必须具备一定的计量器具、相应的比较方法和测量的环境条件。例如,对于量块中心长度的测量,必须在规定的环境条件下(如温度、湿度和震动等),用标准量块在相应的仪器上进行比较,在这里参与测量过程的