



普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材  
普通高等工科教育机电类规划教材

Interchangeability and Measurement Technology Foundation

# 互换性与测量技术基础

## 第3版

毛平淮 主编



免费电子课件

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材  
普通高等教育“十二五”规划教材

# 互换性与测量技术基础

第3版

主 编 毛平淮  
副主编 余晓流 杨国太  
主 审 张认成

机械工业出版社

本教材为高等学校机械类和近机类各专业技术基础课教材。内容包括：绪论，尺寸的极限与圆柱结合的互换性，测量技术的基础知识及光滑工件尺寸的检测，几何公差及检测，表面粗糙度及其检测，滚动轴承的公差与配合，圆锥和角度的公差及检测，平键、半圆键、花键联接的公差及检测，螺纹结合的公差及检测，渐开线圆柱齿轮的公差及检测，以及尺寸链等。

本教材采用最新国家标准，侧重以现场实例来阐述理论，附有学习指导、小结、习题与思考题。

本教材可作为高等院校和高职高专机械类及近机类各专业教学用书，也可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

互换性与测量技术基础/毛平准主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2015.12

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

ISBN 978-7-111-51979-9

I. ①互… II. ①毛… 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 (2015) 第 254575 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:余 隰 责任编辑:余 隰 安桂芳

责任校对:纪 敬 封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2016 年 1 月第 3 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.25 印张 · 349 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-51979-9

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

# 前言

“互换性与测量技术基础”是高等工科院校机械类和近机类各专业的重要技术基础课，是和机械工业紧密联系的一门基础课程。

本教材是根据全国高校机械专业教学指导委员会教材编写大纲编写的普通高等工科教育机电类规划教材，并通过安徽省教育厅的审定。

本教材第1版从2006年出版至今已多次重印，被几十所院校选用或馆藏，由于近年来相关国家标准更新较快，因此在2010年进行了本教材的修订。

本教材第2版编写修订原则为：①标准最新，参照截止于2010年底颁布的国家最新标准，且对2003年后改动较大的国家标准附新旧国家标准对照，以便学习使用；②重点突出，在每章前有“学习指导”，每章后有“本章小结”，每章中还做了适量标注，以便突出重点和难点；③便于自学，在编写过程中，注意理论联系实际，尽量多地列举实例，每章配有习题与思考题，以便所学知识的巩固。

随着高校教学改革的不断深入，提高教材的编写、出版质量势在必行。应出版社之约，本教材启动第3版修订工作。①修订主要方向是提高文字表达的可读性；②提高版式设计阅读的便利性；③提高图片的美观性。

由于近年来课程内容的改革，各校“互换性与测量技术基础”课程安排的学时不同，本教材为扩大适用面，按40~50学时编写，在使用时可根据具体情况进行取舍。

参与本教材第1版编写的人员有：毛平淮、余晓流、杨国太、戴雪晴、姜志明、方代正、袁长颂。

参与本教材第2版修订工作的人员有：毛平淮、余晓流、杨国太、戴雪晴、周哲波、姜志明、毛祎琳、田金丽、方代正、袁长颂、李君、杨丽、叶琦。

本次教材第3版修订，由毛平淮任主编，余晓流、杨国太任副主编。参与修订工作的还有：戴雪晴、叶琦、毛祎琳、杨丽、江峰、李君。华侨大学张认成教授担任本次修订的主审，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

编者

# 目录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 互换性概述	1
第二节 实现互换性的条件	3
第三节 互换性生产的发展简介	6
第四节 本课程的性质、内容和基本要求	7
本章小结	8
习题与思考题	8
第二章 尺寸的极限与圆柱结合的互换性	9
第一节 概述	9
第二节 极限与配合的常用术语与定义	10
第三节 标准公差系列	17
第四节 基本偏差系列	19
第五节 一般、常用和优先的公差带与配合	30
第六节 一般公差(线性尺寸的未注公差)	33
第七节 尺寸公差与配合的选用	34
本章小结	42
习题与思考题	43
第三章 测量技术的基础知识及光滑工件尺寸的检测	45
第一节 测量的基本概念	45
第二节 长度和角度计量单位与尺寸传递	46
第三节 计量器具的分类及其主要技术指标	48
第四节 测量方法	51
第五节 测量误差与数据处理	53
第六节 光滑工件尺寸的检测	64
本章小结	75
习题与思考题	76
第四章 几何公差及检测	78
第一节 概述	78
第二节 形状公差	82
第三节 方向公差、位置公差和跳动公差	85
第四节 几何公差与尺寸公差的关系	94
第五节 几何公差的应用	99
第六节 几何误差的评定及检测	111
本章小结	116
习题与思考题	117
第五章 表面粗糙度及其检测	120
第一节 表面粗糙度的基本概念	121
第二节 粗糙度轮廓的评定	122
第三节 表面粗糙度的技术要求	125
第四节 表面粗糙度技术要求在零件图上标注的方法	129
第五节 表面粗糙度的检测	133
本章小结	135
习题与思考题	135
第六章 滚动轴承的公差与配合	137
第一节 滚动轴承的互换性和公差等级	137
第二节 滚动轴承内、外径及相配轴颈、外壳孔的公差带	139
第三节 滚动轴承与轴颈、外壳孔配合选用	141
本章小结	146
习题与思考题	147
第七章 圆锥和角度的公差及检测	148
第一节 概述	148
第二节 锥度与锥角	149
第三节 圆锥公差	150
第四节 圆锥配合	154
第五节 锥度的检测	157
本章小结	158
习题与思考题	159
第八章 平键、半圆键、花键连接的公差及检测	160
第一节 平键、半圆键连接的公差与	



配合 .....	160	应用 .....	192
第二节 花键连接 .....	163	第四节 齿轮坯的精度和齿面粗糙度 .....	197
本章小结 .....	168	第五节 渐开线圆柱齿轮副的精度 .....	200
习题与思考题 .....	169	第六节 齿轮精度设计举例 .....	205
<b>第九章 螺纹结合的公差及检测</b> .....	170	本章小结 .....	207
第一节 概述 .....	170	习题与思考题 .....	208
第二节 普通螺纹的公差与配合 .....	173	<b>第十一章 尺寸链</b> .....	209
第三节 螺纹测量 .....	177	第一节 概述 .....	209
第四节 梯形螺纹公差简介 .....	179	第二节 尺寸链的建立与分析 .....	212
本章小结 .....	182	第三节 完全互换法计算直线尺寸链 .....	213
习题与思考题 .....	183	第四节 用大数互换法(概率法)解 尺寸链 .....	217
<b>第十章 渐开线圆柱齿轮的公差及     检测</b> .....	184	第五节 解装配尺寸链的其他方法 .....	218
第一节 概述 .....	184	本章小结 .....	219
第二节 渐开线圆柱齿轮精度的评定 参数 .....	187	习题与思考题 .....	220
第三节 渐开线圆柱齿轮精度等级及 应用 .....	192	<b>参考文献</b> .....	221

# 第一章

## 绪 论



### 学习指导

学习目的：—了解本课程的性质和任务。

学习要求：—懂得互换性的含义；

—了解互换性与标准化的关系及其在现代化生产中的重要意义；

—了解优先数的基本原理及其应用。

### 第一节 互换性概述

#### 一、互换性的定义

在人们的日常生活中，有大量现象涉及互换性。例如，汽车、摩托车、家用电器、计算机等，若其中某一零件或部件坏了，只要将同一规格的一个产品更换上，便能跟原来一样继续使用。之所以这样方便，就是因为这些零件或部件均具有能够彼此互相替换的性能，即具有“互换性”。

所谓互换性是指同一规格的一批零件或部件中，任取其一，不需要任何挑选或附加修配（如钳工修配）就能装在机器上，达到规定的功能要求。这样的一批零件或部件就称为具有互换性的零、部件。

#### 二、互换性的种类

互换性可按不同方法来分类。

按互换参数范围，可分为几何参数互换性和功能互换性。几何参数互换性是通过零件几何要素的形状、大小及相对位置提出适当要求，以保证零件在装配中的互换，这种互换性称为狭义互换性。功能互换性除了对零件几何要素规定要求外，还对零件的物理、化学性能和机械性能等方面的参数提出互换要求，故功能互换性又称为广义互换性。本课程只讨论几何参数互换性。

按互换程度，可分为完全互换和不完全互换。

完全互换是指零、部件在装配或更换时, 无需挑选、无需辅助加工或无需修配就能顺利装在机器上并满足使用的性能。例如, 常用的、大批量生产的标准连接件和紧固件、各类滚动轴承等都具有完全互换性。完全互换的优点是能做到零、部件的完全互换、通用, 为专业化生产和相互协作创造了条件, 简化了修理工作, 从而提高了经济效益。它的主要缺点是当组成产品的零件较多、整机精度要求较高时, 按此原则分配到每一零件上的尺寸允许的变动范围(即制造公差)必然较小, 造成加工困难、成本增高。当装配精度要求很高时, 会使加工难度和成本大大提高, 甚至无法加工。为此, 可采用不完全互换或修配的方法达到装配精度要求。

不完全互换是指零、部件在装配时, 采用概率法、分组互换法或调整法等工艺措施(参见第十一章), 实现顺利装配并在功能上达到使用性能要求。不完全互换的优点是在保证装配、配合功能要求的前提下, 能适当放宽制造公差, 使得加工容易, 降低制造成本。其主要缺点是降低了互换水平, 不利于部件、机器的装配和维修。

如装配时, 还需要附加修配的零件, 则不具有互换性。

对标准部件或机构来说, 互换性又可分为内互换与外互换。

内互换是指部件或机构内部组成零件间的互换性。例如, 滚动轴承内、外圈滚道与滚珠(滚柱)的配合。外互换是指部件或机构与其他相配件的互换性。例如, 滚动轴承内圈内径与轴的配合、外圈外径与孔的配合。在高精度时, 内互换可采用不完全互换, 而外互换一定要采用完全互换。

采用什么互换性, 是设计者根据产品精度、生产批量、生产技术装备等多种因素, 在进行产品设计时就要确定的。只要能方便采用完全互换性原则生产的, 都应遵循完全互换性原则。当产品结构复杂, 装配精度较高, 用完全互换性原则有困难且不经济时, 在局部范围内可采用不完全互换。其中, 概率法用于影响装配精度的零件数量较多的情况下; 分组互换法用于批量较大的产品, 结构中要求使用精度较高的那些结合件; 调整互换法应用比较普遍。一般而言, 对于厂际协作应采用完全互换, 不完全互换仅限于厂内的生产装配; 而用修配法保证装配精度一般只用于单件或小批量生产的产品。

### 三、互换性的重要性

互换性生产不仅是使用上的需要, 也是设计、制造上的需要。

从使用上看, 由于零、部件具有互换性, 使维修变得很方便, 维修时间和费用显著减少, 从而提高了机器的使用效率, 延长了产品的使用寿命。这给工厂生产和人们日常生活带来极大方便。在某些情况下, 互换性所起的作用难以用经济价值来衡量。例如, 在电厂设备、消防设备等影响范围广的设备中, 必须采用互换性的零部件, 以保证机械设备连续持久运转; 还有军用设备, 军工产品易损件, 如子弹、炮弹等具有互换性是何等重要。

从制造上看, 互换性是组织专业化协作的重要基础。在零件的加工过程中, 按互换性进行生产, 各个零件可以分别由不同的车间或工厂进行加工。这样, 每个车间或工厂由于产品单一, 加工质量和生产率都容易提高。大批量生产时, 有利于采用高效率的专用设备或采用计算机辅助制造, 进而实现生产过程的自动化, 建立自动化生产线、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, 从而易于采用流水线或自动线进行装配, 大大提高



装配生产率。

互换性生产是随着大批量生产而发展和完善起来的，它不仅在大批量生产中广为采用，而且在由单一品种的大批量生产，逐步向多品种、小批量生产发展中，以及由传统的生产方式向现代化的数字控制（NC）、计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）及柔性制造系统（FMS）和更先进的计算机集成制造系统（CIMS）的逐步过渡中也起着重要作用。科学技术越发展，对互换性的要求越高、越严格。例如，柔性制造系统的主要特点是可以根据市场需求改变生产线上产品的型号和品种。当生产线上工序变动时，信息送给多品种控制器，控制器接受将要装配哪些零件的指令后，就指定机器人或机械手选择零件，进行装配，并经校核送到下一工序。库存零件提取后，由计算机通知加工站补充零件。显然这种生产系统对互换性的要求更加严格。

从设计上看，在进行某一产品或其系列产品的设计过程中，零部件具有互换性使设计者可以尽量采用标准件、通用件，从而大大减少设计、计算、绘图等工作量，缩短设计周期。设计者应做到尽可能利用标准件和通用件来设计产品，同时也要考虑自己设计的零、部件方便他人设计时选用。

另外，从机械设备的 management 上看，无论是技术和物资供应，还是计划管理，零部件具有互换性都将便于实现科学化管理。所以，互换性原则是机械工业生产的基本技术经济原则，是人们设计、制造中必须遵循的，即使是单件、小批量生产，零件不用具有互换性，此原则也必须遵循，因为不可避免地要采用具有互换性的刀具、夹具及量具等工艺装备，更何况在整台产品中还可能用到许多具有互换性的零件与部件。

不仅如此，现代社会生产活动是建立在先进技术装备、严密分工、广泛协作基础上的社会化大生产。产品的互换性生产，无论从深度或广度，都已进入新的发展阶段，远超出机械工业的范畴，已扩大到国民经济各个行业和领域。所以，互换性原则不仅是机械工业生产的基本技术经济原则，也是其他行业生产的基本技术经济原则。

从根本上讲，按互换性原则组织生产，就是按分工协作的原则组织生产，“分工与协作产生的生产力不增加成本”，因此，按互换性原则组织生产能获得巨大的经济效益。

## 第二节 实现互换性的条件

### 一、公差与检测

为了满足互换性要求，最理想的是同一规格的零、部件的几何参数做得完全一样。由于任何零件都要经过加工的过程，无论设备的精度和操作工人的技术水平多么高，要使加工零件的尺寸、形状和位置关系做到绝对准确，也是不可能的。实际上，只要将同规格的零、部件的几何参数控制在一定的范围内，就能达到互换的目的。

人们将零件尺寸和几何参数的允许变动范围称为“公差”。它包括尺寸公差、形状公差、位置公差等，用来控制加工中的误差，以保证互换性的实现。

为了保证互换性的要求，便于全国范围的厂际协作和国际技术合作，设计者不能任意规定公差数值，而应按一定的精度要求和标准规定，合理选用标准的公差数值。因此，建立各种几何参数的公差标准是实现零件误差控制和保证互换性的基础。

先进的公差标准是实现互换性的基础。但是,仅有公差标准而无相应的检测措施还不足以保证实现互换性。加工后的零件满足了公差要求,才能具有互换性,而是否满足公差要求,要通过技术测量(即检测)来判断。因此,缺乏相应的检测措施,互换性生产是不可能实现的。

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,并做出合格与否的判断,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,以确定被测量具体数值的过程。检测不仅用来评定产品质量,而且可用于分析产品不合格的原因,从而及时调整生产,监督工艺过程,预防废品产生。产品质量的提高,除设计和加工精度的提高外,检测精度的提高也至关重要。

要进行检测,还必须从计量上保证长度计量单位的统一,在全国范围内规定严格的量值传递系统及采用相应的测量方法和测量工具,以保证必要的测量精度。

人们将几何参数的“公差”标准化,并制定相应的检验标准,按公差标准制造,并按一定的标准来检验,这样互换性才能得以实现。此时零部件才能保证既满足使用要求,又最经济。因此,标准化是实现互换性的前提。

## 二、标准和标准化

现代生产的特点是品种多、规模大、分工细。任何产品的组成零件都可以在不同车间、不同工厂、不同地区以至不同国家生产和协作完成。为使社会生产有序地进行,须通过标准化使产品规格品种简化,使分散的局部的生产环节相互协调和统一,从而保证产品具有互换性。

标准是对重复性事物和概念所做的统一规定。重复性事物和概念是指在人类实践过程中重复发生的事物。例如,零件的批量生产;某种零、部件在不同产品中得到应用;设计中反复使用的图形、符号、概念、计算公式和计算方法等。标准的制定是以科学、技术和实践经验的综合成果为依据,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。

标准按不同的级别颁发。我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

国家标准(代号 GB,其中 GB/T 为推荐性国家标准代号)是指对全国经济、技术发展有重大意义,必须在全国范围内统一执行的标准。它由国家质量技术监督局委托有关部门起草,经审批后由国家质量技术监督局发布;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规范,可制定行业标准,如机械标准(JB)等;对没有国家标准和行业标准而又需要在某个范围内统一的技术规范,可制定地方标准或企业标准,它们的代号分别用 DB、Q 表示。有的企业为了提高产品质量,强化竞争力,会制定出高于国家标准的“内控标准”。

标准和标准化是两个不同的概念,但又有着不可分割的联系。标准化是指制定及实施标准的全过程。没有标准,就没有标准化;反之,没有标准化,标准也就没有意义。

在科学技术蓬勃发展的今天,标准化的必要性和效益越来越明显。标准化水平已成为衡量一个国家科技水平和管理水平的尺度之一,是现代化程度的一个重要标志,它已超出工厂的范围,跨过国家疆界,走向全世界。

在国际上,由国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)等组织负责制定和颁布国际标准。此外,还有区域标准,是指世界某区域标准化团体颁布的标准或采用的技术规

范,如欧洲标准化委员会(EN)、经互会标准化常设委员会(DB)所颁布的区域标准。国际标准属于推荐和指导性标准。

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) 产品的质量和数量的提高,要依靠科学的进步。国外许多已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、高水平的产品,就很难在国际市场上拥有竞争能力。

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线,形成了全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。

我国是ISO的成员国,参照国际标准制定和修订我国的国家标准,是我国重要的技术政策,也为加快我国工业进步奠定了基础。

### 三、优先数和优先数系(GB/T 321—2005)

统一的数值标准是标准化的重要内容。

各种产品的性能参数和尺寸规格参数都需要通过数值来表达。这些参数的数值具有扩散性,如螺栓的尺寸一旦确定,将影响螺母以及加工它们用的丝锥和板牙的尺寸,也会影响检验它们的量规的尺寸,还有螺栓孔和垫圈孔的尺寸以及紧固螺母用的扳手尺寸也将受到影响;纸张的大小将影响印刷、打印设备的相关参数。这些参数如不标准化,将会导致相应产品尺寸规格繁多、杂乱,以致给生产协作及使用维修带来困难,必须有一个统一的数值制度。优先数和优先数系就是国际上统一的对各种技术参数进行简化、协调的一种科学的数值制度。

#### 1. 优先数系的构成

GB/T 321—2005中规定优先数系由一系列十进制等比数列构成,代号 $R_r$ ( $r=5、10、20、40、80$ 等)。 $R_5、R_{10}、R_{20}、R_{40}$ 四个常用系列称为基本系列, $R_{80}$ 称为补充系列。优先数系中的每个数都是一个优先数。

在十进制区间 $0.1 \sim 1 \sim 10 \sim 100 \sim 1000$ (两边可延伸)中按一定公比 $q$ 插入一些数,得到优先数系列,见表1-1。各优先数系列的公比为 $\sqrt[r]{10}$ ,如 $R_5$ 系列的公比 $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$ ;其余各系列的公比分别为 $q_{10} \approx 1.25$ ;  $q_{20} \approx 1.12$ ;  $q_{40} \approx 1.06$ ;  $q_{80} \approx 1.03$ 。

按公比计算出的优先数的理论值一般都是无理数,工程上不能直接应用,实际应用的是经过圆整后的常用值和计算值。常用值是经常使用的,通常称为优先数,取三位有效数字,计算值取五位有效数字,供精确计算用。表1-1中列出了 $1 \sim 10$ 范围内基本系列的常用值。将这些值乘以 $10, 100, \dots$ 或乘以 $0.1, 0.01, \dots$ ,即可向大于 $1$ 或小于 $1$ 两边无限延伸,得到大于 $10$ 或小于 $1$ 的优先数。每个优先数系中,相隔 $r$ 项的末项与首项相差 $10$ 倍;每个十进制区间中各有 $r$ 个优先数,如 $R_5$ 系列在 $1 \sim 10$ 这个十进制区间有 $1、1.6、2.5、4、6.3$ 这五个优先数。

表 1-1 优先数基本系列的常用值 (摘自 GB/T 321—2005)

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

## 2. 优先数的派生系列和复合系列

由于生产需要, 优先数系  $R_r$  还有变形系列, 即派生系列和复合系列。

(1) 派生系列 在  $R_r$  系列中, 按一定的项差  $P$  取值所构成的系列, 即  $R_r/P$  系列。若在  $R_{10}$  系列中按项差  $P=3$  (每隔两项) 取值, 则构成  $R_{10}/3$  系列, 其公比  $q_{10/3} = (\sqrt[10]{10})^3 = 2$ 。如 1、2、4、8、…; 1.25、2.5、5、10、…等均属于该系列, 它即是常用的倍数系列。

(2) 复合系列 由若干公比系列混合构成的多公比系列, 如 10、16、25、35.5、50、71、100、125、160 这一系列, 它们分别由  $R_5$ 、 $R_{20}/3$ 、 $R_{10}$  三种系列混合构成。

## 3. 优先数系的应用和举例

(1) 用于产品几何参数、性能参数的系列化 通常, 一般机械的主要参数按  $R_5$  或  $R_{10}$  系列, 如立式车床主轴直径、专用工具的主要参数尺寸都按  $R_{10}$  系列; 通用型材、零件及工具的尺寸和铸件壁厚等按  $R_{20}$  系列; 锻压机床吨位采用  $R_5$  系列。

(2) 用于产品质量指标分级 如在本课程所涉及的有关标准里, 诸如尺寸分段、公差分级及表面粗糙度参数系列等, 基本上采用优先数。

选用优先数系应遵循“先疏后密”的原则。设计任何产品时, 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。

## 第三节 互换性生产的发展简介

最早的互换性生产是在两千多年前, 这可以从秦始皇兵马俑出土的上万件兵器上得到证实。以出土的一种远射程弓箭的扳机为例, 其用青铜制成的零件都具有互换性, 而且制造精度、表面粗糙度也达到相当高的水平; 铜人和铜车马也都是装配式的, 各个部件或零件可互换。这充分说明我国是最早掌握互换性原理的国家。

近代的互换性生产起源于战争的需要。18 世纪后半叶, 英、法、德、俄等国, 首先把互换性生产方式用于兵工生产, 大量制造枪支弹药。互换性生产方式的产生, 促进了机械工业的发展。

19 世纪末,随着机械工业的发展,互换性生产由兵器工业扩大到一般机器制造业,而公差与配合制也在 19 世纪末 20 世纪初相继出现。之后,随着互换性标准不断建立和完善,使得互换性生产蓬勃发展起来。从表 1-2 中可以清楚地看出互换性生产的百年发展史。

表 1-2 互换性生产的百年发展史

国际标准发展史		我国的发展史	
1902 年	英国纽瓦(Newall)公司制定了最早的公差标准(尺寸公差的“极限表”),用于生产剪羊毛机	在半封建半殖民地的旧中国,所采用的标准非常混乱,有德国、日本、美国、英国以及 ISA 标准	
1906 年	英国制定公差标准	1944 年	颁布工业标准 CIS(完全借用 ISA),实际上也未执行
1925 年	美国制定公差标准	1955 年	成立中国计量局,当年原第一机械工业部颁布了第一个公差与配合的部颁标准
1926 年	国际标准化协会(ISA)成立,其中第三技术委员会(ISA/TC3)负责制定公差与配合,秘书国为德国	1959 年	统一了计量制度,国家科委颁布光滑圆柱体公差与配合标准(GB 159~174—1959)
1929 年	苏联颁布“公差与配合”标准	1960 年	原第一机械工业部颁布了圆柱齿轮公差部颁标准
1932—1940 年	在总结德国、法国、英国、瑞士等国公差制的基础上,1932 年提出了国际制 ISA 议案,1940 年正式颁布国际公差标准 ISA	之后多年	陆续颁布了表面粗糙度、形位公差、螺纹连接、键与花键等国家标准,并参照 ISO 标准对公差与配合国家标准进行了修订
1947 年	第二次世界大战以后,ISA 重新成立并改名为国际标准化组织(ISO),仍由第三技术委员会(ISO/TC3)负责制定公差与配合,秘书国为法国	1979 年	颁布新的公差与配合国家标准 GB 1800~1804—1979
		1989 年	颁布了中华人民共和国标准法
1962—1975 年	在 ISA 公差的基础上,1962 年公布了新的 ISO 公差与配合标准,此后又公布了一系列互换性方面的标准,形成了现行国际公差标准	1992—2005 年	对公差与配合国家标准 GB 1800~1804—1979、滚动轴承公差、平键公差、普通螺纹公差、圆锥公差等进行了修订,形成了现行的互换性的国家标准

20 世纪 70 年代末国际上开始了对“计算机辅助公差设计(CAT)”的研究,近几年来该研究更成为热门课题,我国部分高校近几年来也积极开展了这方面的研究。可以预计,在不久的将来,公差设计的自动化将成为现实

## 第四节 本课程的性质、内容和基本要求

本课程是机械类各专业的重要技术基础课。它包含几何量精度设计与误差检测两方面的内容,主要讲授几何量精度设计与误差检测这两方面的国家标准的主要内容。它与机械设计、机械制造、质量控制等方面密切相关,是联系“机械设计”“机械制造工艺学”“机械制造装备设计”等课程及其课程设计的纽带,是从基础课学习过渡到专业学习的桥梁。

学生学完本课程以后,应达到如下基本要求:

- 1) 掌握标准化和互换性的基本概念及有关的基本术语与定义。
- 2) 基本掌握几何量公差标准的主要内容、特点和应用原则。
- 3) 初步学会根据机器和零件的功能要求,选用公差与配合。
- 4) 能够查用本课程讲授的公差表格和正确标注图样。
- 5) 建立技术测量的基本概念,了解基本测量原理与方法并初步学会使用常用计量器具,知道分析测量误差与处理测量结果,会设计用于检验圆柱形零件的量规。

总之,本课程的任务在于使学生获得机械工程技术人员所必须具备的几何量公差与检测

方面的基本知识和技能。而后续课程的教学和毕业后的实际工作锻炼,则将使学生进一步加深理解和逐渐熟练掌握本课程的内容。

## 本章小结

### 1. 互换性的概述

互换性简单地讲就是同一规格的零件或部件具有能够彼此互相替换的性能。

零、部件在装配前不挑选,装配时不调整或不修配,装配后能满足使用要求的互换性称为完全互换;零、部件在装配时要采用分组装配或调整等工艺措施,才能满足装配精度要求的互换性称为不完全互换。如装配时,还需要附加修配的零件,则不具有互换性。

互换性原则是机械工业生产的基本技术、经济原则,是人们在设计、制造中必须遵循的原则。就是采用修配法保证装配精度的单件或小批量生产的产品(此时零、部件没有互换性)也必须遵循互换性原则。

### 2. 实现互换性的前提

标准化是实现互换性的前提。只有按一定的标准进行设计和制造,并按一定的标准进行检验,互换性才能实现。

### 3. 优先数系

由一系列十进制等比数列构成,代号Rr。优先数系中的每个数都是一个优先数。每个优先数系中,相隔r项的末项与首项相差10倍;每个十进制区间中各有r个优先数。

## 习题与思考题

- 1-1 完全互换和不完全互换有什么区别?各应用于什么场合?
- 1-2 什么是标准、标准化?按标准颁发的级别分类,我国有哪几种标准?
- 1-3 公差、检测、标准化与互换性有什么关系?
- 1-4 什么是优先数?我国标准采用了哪些系列?
- 1-5 判断下面说法是否正确。
  - (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、生产率提高、制造成本降低、使用维修方便。

## 第二章

# 尺寸的极限与圆柱结合的互换性

### 学习指导

学习目的：—掌握基础标准《极限与配合》的一般规律。

学习要求：—搞清极限与配合标准中的术语定义、概念和作用，抓住区别与联系进行分析；

—掌握标准公差与基本偏差的结构、特点和基本规律以及尺寸公差与配合的选用原则。

## 第一节 概 述

为使零件或部件在几何尺寸方面具有互换性，就要进行几何尺寸允许范围（公差）的设计，也就是要根据机器的传动精度、性能及配合要求，考虑加工制造成本及工艺性，进行尺寸精度的设计。在此过程中，必须按照标准化的有关规定，遵守相关的国家标准确定精度方面的参数。

有关尺寸公差与光滑圆柱体结合（即圆柱形孔和轴的结合）的国家标准《极限与配合》就是关于尺寸精度设计的一项应用广泛而重要的标准，也是最基础、最典型的标准。

现行国家标准《极限与配合》的基本结构包括公差与配合、测量与检验两部分。

公差与配合部分包括极限制与配合制，是对工件公差、极限偏差以及配合的规定；测量与检验部分包括检验制与量规制，是作为公差与配合的技术保证。两部分合起来形成一套完整的公差制体系。

国家标准《极限与配合》中，公差与配合部分的标准主要包括：

GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础》

GB/T 1800.2—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第2部分：标准公差等级和孔、轴极限偏差》

GB/T 1801—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 公差带和配合的选择》

GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》

GB/T 18780.1—2002《产品几何量技术规范 (GPS) 几何要素 第1部分 基本术语和定义》

这些标准是尺寸精度设计的重要依据,将在本章进行介绍。而有关公差与配合的技术保证(即测量与检验)部分的国家标准将在下一章中介绍。

## 第二节 极限与配合的常用术语与定义

### 一、有关尺寸的术语与定义 (GB/T 1800.1—2009, GB/T 18780.1—2002)

#### 1. 尺寸

以特定单位表示线性尺寸值的数值,如直径、宽度、高度、中心距等。

#### 2. 孔和轴

孔通常指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面,即由两平行平面或切平面形成的包容面。轴通常指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面,即由两平行平面或切平面形成的被包容面。

由定义可见,孔和轴具有广泛的含义,它们不仅是指圆柱形的内、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,例如,键和键槽的宽度可由单一尺寸确定,而椭圆形孔和轴则不能由单一尺寸确定。从加工过程看,随着余量的切削,孔的尺寸由小变大,轴则相反。

#### 3. 公称尺寸

公称尺寸是由图样规范确定的理想形状要素的尺寸(旧标准中称为基本尺寸)。通过它并应用上、下极限偏差可计算出极限尺寸(见图2-1)。它可以是一个整数或一个小数值。孔和轴的公称尺寸分别用 $D$ 和 $d$ 表示。

公称尺寸是设计时根据零件的强度、刚度、使用要求和结构,通过计算或类比法确定,并经过圆整后得到的,一般要符合标准尺寸系列,以减少定值刀具、量具的规格。

#### 4. 实际(组成)要素

实际(组成)要素是由接近实际(组成)要素所限定的工件实际表面的组成要素部分,是通过测量获得的尺寸(旧标准中称为实际尺寸)。孔用 $D_a$ 表示,轴用 $d_a$ 表示,长度用 $L_a$ 表示。

由于存在测量误差,所以实际(组成)要素并非尺寸的真值。同时,由于形状误差等影响,零件同一表面不同部位的实际(组成)要素往往是不等的。一个孔和轴的任意横截面中的任何两相对点之间测得的尺寸称为提取组成要素的局部尺寸。若无特别指明,实际(组成)要素均指提取组成要素的局部尺寸,是用两点法测得的。

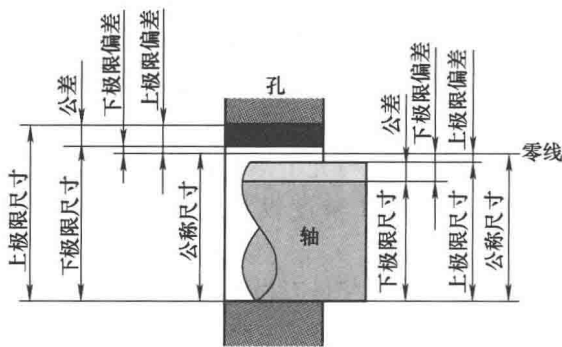


图 2-1 极限与配合示意图



### 5. 提取组成要素

按规定方法, 由实际 (组成) 要素提取有限数目的点所形成的实际 (组成) 要素的近似替代。

### 6. 拟合组成要素

按规定方法, 由提取组成要素形成的并具有理想形状的组成要素。

### 7. 极限尺寸

尺寸要素允许的尺寸的两个极端。提取组成要素的局部尺寸应位于其中, 也可达到极限尺寸。孔或轴允许的最大尺寸称为上极限尺寸; 孔或轴允许的最小尺寸称为下极限尺寸 (见图 2-1)。孔和轴的上极限尺寸分别用  $D_{\max}$  和  $d_{\max}$  表示, 下极限尺寸分别用  $D_{\min}$  和  $d_{\min}$  表示。

极限尺寸以公称尺寸为基数, 也是在设计时确定的, 它可能大于、等于或小于公称尺寸。

### 8. 最大实体状态和最大实体尺寸

假定提取组成要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其具有实体最大时的状态称为最大实体状态, 简称 MMC。即孔或轴占有材料最多的状态。确定要素最大实体状态的尺寸, 即外尺寸要素的上极限尺寸, 内尺寸要素的下极限尺寸称为最大实体尺寸, 简称 MMS。孔和轴的最大实体尺寸分别用  $D_M$  和  $d_M$  表示。

### 9. 最小实体状态和最小实体尺寸

假定提取组成要素的局部尺寸处处位于极限尺寸且使其具有实体最小时的状态称为最小实体状态, 简称 LMC。即孔或轴占有材料最少的状态。确定要素最小实体状态的尺寸, 即外尺寸要素的下极限尺寸, 内尺寸要素的上极限尺寸称为最小实体尺寸, 简称 LMS。孔和轴的最小实体尺寸分别用  $D_L$  和  $d_L$  表示。

极限尺寸与实体尺寸有如下关系

$$\begin{aligned} D_M &= D_{\min}, D_L = D_{\max} \\ d_M &= d_{\max}, d_L = d_{\min} \end{aligned}$$

### 10. 体外作用尺寸

GB/T 16671—2009 将体外作用尺寸定义为: 在被测要素的给定长度上, 与实际内表面体外相接触的最大理想面或与实际外表面相接触的最小理想面的直径或宽度。即孔的体外作用尺寸是指与实际孔表面内接的最大理想圆柱体的直径; 轴的体外作用尺寸是指与实际轴表面外接的最小理想圆柱体的直径, 如图 2-2 所示。孔和轴的体外作用尺寸分别用  $D_{fe}$  和  $d_{fe}$  表示。

体外作用尺寸的特点:

- 1) 体外作用尺寸是零件上实际存在的。对一个实际孔或轴来说, 体外作用尺寸只有一个, 但对一批实际零件而言是一随机变量。
- 2) 从图 2-2 中可看出:  $D_{fe} \leq D_a$ ,  $d_{fe} \geq d_a$ 。
- 3) 只有  $D_{fe} \geq d_{fe}$ , 孔、轴才能自由装配。

### 11. 极限尺寸判断原则 (泰勒原则)

极限尺寸判断原则是指孔的体外作用尺寸应大于或等于孔的下极限尺寸, 并在任何位置上孔的最大实际 (组成) 要素应小于或等于孔的上极限尺寸; 轴的体外作用尺寸应小于或