

普通高等教育机电类规划教材

# 机械精度设计与检测技术基础

主编 杨沿平

主审 温松明

机械工业出版社

本书介绍了几何量精度设计与检测技术的基本知识。全书包括绪论、尺寸精度设计、测量技术基础、形状和位置精度设计、表面粗糙度、光滑工件尺寸的检验、滚动轴承配合的互换性及精度设计、键与花键联结的互换性及精度设计、螺纹联接的互换性及精度设计、渐开线圆柱齿轮的精度设计以及尺寸链共十一章。为了突出本课程研究的主题和精度设计主线，本书名称由传统的“互换性与测量技术基础”更名为“精度设计与检测技术基础”。

为使学生更好地理解和巩固本书所学内容，同时配套出版了《机械精度设计与检测技术基础练习册》。

本书为高等院校机械类或近机械类专业教材，也可供相关工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械精度设计与检测技术基础 / 杨沿平主编. —北京 :  
机械工业出版社, 2004.2  
普通高等教育机电类规划教材  
ISBN 7-111-13569-5

I. 机... II. 杨... III. ①机械-精度-设计-高等  
学校-教材②机械元件-测量-高等学校-教材  
IV. ①TH122②TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 112222 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑: 赵爱宁 版式设计: 冉晓华 责任校对: 魏俊云  
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> · 12 印张 · 295 千字  
定价: 18.00 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

“精度设计与检测技术基础”是高等工科院校机械类（包括精密仪器类）各专业的一门重要技术基础课。它不仅将标准化与计量学的有关部分有机地结合在一起，而且涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产组织管理等许多方面。因此，它是与机械工业紧密联系的一门综合性基础学科。

本书参考高等工业学校“互换性与测量技术基础”课程教学指导小组审定的高等工业学校“互换性与测量技术基础”课程教学基本要求，在满足原课程教学基本要求的基础上，根据教学改革及学科发展的需要，精选教学内容、突出精度设计主线、强化理论联系实际、配合机械基础课教学改革而编写的。本书立足于强化专业人才的知识获取能力、分析解决工程实际问题的能力以及实验动手能力的培养，力图从几何精度设计的生产实际需要出发，提高学生综合运用本课程知识解决实际问题的能力，因而符合高等教育改革的思路和国民经济发展的需要。

全书共分十一章，主要包括几何精度设计及几何精度检测两大部分。几何精度设计部分主要论述尺寸精度、形状和位置精度、表面精度、典型零部件（滚动轴承、螺纹、键与花键、齿轮）等基本几何要素、结合要素和传动要素的精度设计及其尺寸链的计算。几何精度检测部分主要论述几何精度测量与检验的基本知识、基本原理与基本方法，要求学生与相应的实验室检测实验相结合进行学习。本书融入了编者多年的教学实践经验，参考了多种现已出版的同类教材和有关国家标准。本书具有如下特色：

1) 全部采用最新颁布的国家标准，并侧重于对新标准的理解与应用（如新的圆柱齿轮精度国家标准与原标准完全不同，且内容非常丰富和复杂，已出版教材对圆柱齿轮精度新国标均未涉及。本书能在有限的篇幅内抓住主线、突出重点、深入浅出地进行论述）。这对于新国标内容的贯彻执行将起到非常积极的推动作用。

2) 为了突出重点，理顺难点，使学生能够较好地巩固和理解所学内容，除每章后均附有思考题外，还有十分便于学生解题和教师批阅的与本书配套使用的练习册：《机械精度设计与检测技术基础练习册》。

3) 紧密结合教学与生产实际，对内容进行了必要的增删，削减了一些一般不在课堂上讲授和与其他教材重复的内容（如因有成熟的实验指导书，故检测实验内容省略），力求做到少而精。

4) 为了做到理论联系实际，学以致用，本书结合实际选用的实例较多。

本书由湖南大学杨沿平主编，温松明教授主审。参加本书编写的有湖南大学杨沿平（第一、七、八、九、十一章）、长沙理工大学廖东初（第二章）、湖南大学周海萍（第三章）、湖南工程学院胡凤兰（第四章）、生物机电职业技术学院袁金成（第五章）、湖南大学胡仲勋（第六章）、第十章由机械科学研究院厉始忠及湖南大学胡仲勋共同编写。

由于编者水平所限，书中难免存在错误和不当之处，欢迎广大读者批评指正。

编者

# 目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 精度设计与互换性	1
第二节 标准化与优先数系	4
第三节 本课程的性质及任务	7
思考题	8
第二章 尺寸精度设计	9
第一节 概述	9
第二节 极限与配合的基本术语及其定义	9
第三节 极限与配合标准的基本规定	16
第四节 极限与配合标准的应用及尺寸精度设计示例	31
思考题	39
第三章 测量技术基础	40
第一节 测量的基本概念	40
第二节 长度基准和量值的传递	41
第三节 计量器具与测量方法	45
第四节 测量误差及数据处理	49
思考题	62
第四章 形状和位置精度设计	63
第一节 概述	63
第二节 形状公差	68
第三节 位置公差	72
第四节 公差原则	79
第五节 形状和位置精度设计	86
第六节 形位误差的检测原则	95
思考题	98
第五章 表面粗糙度	99
第一节 概述	99
第二节 表面粗糙度的评定	100
第三节 表面粗糙度的选择	107
第四节 表面粗糙度的测量	109
思考题	110
第六章 光滑工件尺寸的检验	111
第一节 基本概念	111
第二节 用普通计量器具检验	112
第三节 用光滑极限量规检验	116
思考题	122
第七章 滚动轴承配合的互换性及精度设计	123
第一节 概述	123
第二节 滚动轴承的精度等级及其应用	123
第三节 滚动轴承内、外径的配合及其公差带特点	124
第四节 轴颈和外壳孔公差带的规定	125
第五节 轴颈和外壳孔精度设计示例	128
思考题	129
第八章 键与花键联结的互换性及精度设计	130
第一节 平键联结的精度设计	130
第二节 矩形花键联结的精度设计	132
思考题	135
第九章 螺纹联接的互换性及精度设计	136
第一节 概述	136
第二节 螺纹几何参数误差对互换性的影响	137
第三节 普通螺纹的公差带及其选用	139
第四节 梯形螺纹的公差带及其选用	144
思考题	147
第十章 渐开线圆柱齿轮的精度设计	148
第一节 概述	148
第二节 渐开线圆柱齿轮的精度检验项目	148
第三节 渐开线圆柱齿轮的精度等级及其应用	153

第四节	齿轮副的精度检验项目和公差 .....	161	第一节	基本概念 .....	173
第五节	齿轮坯的精度 .....	166	第二节	用极值法计算尺寸链 .....	175
第六节	轮齿齿面的表面粗糙度 .....	168	第三节	用统计法计算尺寸链 .....	179
第七节	齿轮精度设计示例 .....	170	思考题 .....	180	
思考题 .....	172		附录	部分术语汉英对照 .....	181
第十一章	尺寸链 .....	173	参考文献 .....	186	

# 第一章 绪 论

## 第一节 精度设计与互换性

### 一、精度设计概述

机械设计过程通常可以分为三个阶段：系统设计、参数设计和精度设计。

系统设计是确定机械的基本工作原理和总体布局，以保证总体方案的合理性与先进性。机械系统设计主要是运动学设计，如传动系统、位移、速度、加速度等，故又称为运动设计。

参数设计是确定机构各零件几何要素的标称值（或公称值），故又称结构设计。参数设计的主要依据是保证系统的能量转换和工作寿命。为此，必须按照静力学与动力学的原理，采用优化、有限元等方法进行计算，并按摩擦学和概率理论进行可靠性设计。

精度设计是确定机械各零件几何要素的允许误差，因为允许的误差称为公差，所以精度设计也称公差设计。精度设计的主要依据是对机械的静态和动态精度要求。因为任何加工方法都不可能没有误差，而零件几何要素的误差都会影响其功能要求的满足，允许误差的大小又与生产的经济性和产品的使用寿命密切相关。因此，精度设计是机械设计不可分割的重要组成部分，是机械工程永恒的主题。很难想象一个优秀的机械工程师和科学家，只懂得机械的运动设计和结构设计，而不懂精度设计。本教材的基本内容便是研究机械的几何精度设计（简称精度设计）。

机械产品的精度设计是极其重要的，因为没有足够的几何精度，航天飞机上不了天，远程导弹不能击中预定的目标，钟表不能准确地计时，机床不能加工出合格品，汽车不会有舒适性和安全性……，而且，机械产品的报废往往就是因为其精度的丧失，机械产品的周期性检修，实质上就是其精度的检定和修复。因此，没有足够的几何精度，机械产品就失去了使用价值。进入 20 世纪以来，随着机械产品的功能要求和制造—检测技术水平的不断提高，几何精度已经逐渐成为一门独立的技术学科，并越来越受到工程科学与技术界有识之士的高度重视。

### （一）精度设计的基本原则

一般说来，精度设计的基本原则是尽可能经济地满足功能要求。因为任何机械产品都是为了满足人们生活、生产或科学研究的某种特定的需要，这种需要表现为机械产品可以实现的某种功能。因此，机械精度设计首先必须满足产品的功能要求。机械产品功能要求的实现，在相当程度上依赖于组成该产品的各零件的几何精度。因此，在进行零件的几何精度设计时，首先要对零件的功能要求进行分析，然后对不同的要求给出不同大小的公差，从而保证功能要求的满足。但一般来说，从保证功能要求来看，零件的公差越小越好，但公差越小制造成本越高，经济性越差，所以在精度设计时应正确处理好功能要求与经济性之间的矛盾，使之既满足功能要求又尽可能经济性好。

## （二）精度设计的基本方法

精度设计的基本方法有类比法、计算法和试验法三种。

### 1. 类比法

类比法就是与经过实际使用证明合理的类似产品上的相应要素相比较，然后再确定所设计零件几何要素的精度。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。因此，采用类比法进行精度设计的基础是资料的收集、分类与整理。类比法是大多数零件进行精度设计所采用的基本方法，亦称为经验法。迄今为止，几何精度设计主要采用凭实际工作经验确定的类比法。

### 2. 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，计算确定零件要素的精度。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。用计算法确定零件几何要素的精度，目前只适用于某些特定的场合。而且，用计算法得到的公差，往往还需要根据实际情况进行调整。

### 3. 试验法

试验法就是先根据一定条件初步确定零件要素的精度，并进行试制，再将试制产品在规定的条件下进行试用。试用时，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。经反复试验和修改，便可最终确定满足功能要求的最佳设计。试验法用“实践”来“检验真理”，是最可靠的设计方法，但设计周期较长、费用较高，因此主要用于新产品开发中个别特别重要的精度设计。然而，随着计算机科学的不断发展、计算机水平的不断提高，相应的“虚拟试验法”（即计算机仿真试验法）也应运而生，并在不断地发展。由于虚拟试验法可能显著降低设计周期和试验成本，必定会在一定程度上取代传统的试验法而具有不断扩大使用的趋势。

计算机科学的兴起与发展，为机械精度设计提供了先进的手段和工具。在计算机辅助设计（CAD）的领域中，计算机辅助公差设计（CAT）的研究已越来越受到重视。但由于CAT需要建立和完善精度设计理论与精度设计方法，并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，故计算机辅助公差设计进入实用化阶段尚有待时日。

## 二、互换性概述

从理论上讲，无论何种生产类型和何种功能要求，都应该在设计中对零件的几何要素提出精度要求，即规定公差的要求是无条件的。但公差的大小却可以而且应该根据不同的功能要求和生产条件作出合理的选择，互换性就是在特定的生产和使用条件下对精度设计的要求。只有重复生产的零件才可能有互换性要求。因此，互换性要求是不同于精度设计的另一种要求，一般首先要进行合理的精度设计，然后再根据具体条件确定是否需满足互换性要求。

### 1. 互换性的含义

什么叫互换性？互换性是指在同一规格的一批零件或部件中任取一件，不经任何选择、修配或调整，就能装在机器或仪器上，并满足原定使用功能要求的特性。例如：机器或仪器上掉了一个螺钉，找相同的规格买一个装上就行了；电灯泡坏了，买一个相同规格的安上即

可；自行车、缝纫机、手表乃至汽车、拖拉机中某个机件磨损了，换上一个新的就行。上述这些零件或部件就具有互换性。若零部件具有互换性，则应同时满足两个条件：

- 1) 不需任何选择、修配或调整便能进行装配或维修更换。
- 2) 装配或更换后能满足原定的使用性能要求。

## 2. 互换性的分类

1) 按互换的程度或范围，分为完全互换（绝对互换）与不完全互换（有限互换）。若零件在装配或更换时，不需任何选择、修配与辅助加工，则其互换为完全互换。但当装配精度要求较高时，采用完全互换将使零件制造困难、成本很高，甚至无法加工。这时，可将零件的制造公差适当放大后进行加工，而在零件完工后，经测量后并按实际尺寸的大小分为若干组，使每组零件间实际尺寸的差别减小，再按相应组进行装配（即大孔与大轴相配，小孔与小轴相配）。这样，既可保证装配精度要求，又能使加工难度减小而降低制造成本。但这种互换仅在同组内的零件之间可以进行，故称为不完全互换或有限互换。

2) 按使用要求，分为几何参数互换与功能互换。几何参数互换是通过规定几何参数的公差保证成品的几何参数充分近似的互换，又称为狭义互换。因为要保证零件使用功能的要求，不仅仅取决于几何参数的一致性，还取决于它们物理性能、化学性能、力学性能等参数的一致性。通过规定功能参数（如材料力学性能、化学、光学、电学、流体力学等参数）的公差所达到的互换称为功能互换，又称为广义互换。本课程主要研究零件几何参数的互换性。

3) 按应用场合，分为外互换与内互换。外互换是指部件或机构与其相配件间的互换性，例如滚动轴承内圈内径与轴的配合，外圈外径与机座孔的配合。内互换是指在厂家内部生产的部件或机构内部组成零件间的互换，例如滚动轴承内、外圈滚道与滚动体之间的装配。为使用方便起见，一般内互换才采用不完全互换，且局限在厂家内部进行，而外互换采用完全互换，适用于生产厂家之外广泛的范围。

## 3. 互换性的重要意义与作用

1) 从使用方面看，如果零件具有互换性，则当该零件损坏后，可以很快地用备件来代替，从而使机器维修方便，保证了机器工作的连续性和持久性，延长了机器的使用寿命，提高了机器的使用价值。在某些情况下，互换性所起的作用是很难用价值来衡量的。例如，发电厂要迅速排除发电设备的故障，保证继续供电；在战场上需很快排除武器的故障，保证继续战斗。在这些场合，实现零件的互换性，显然是极为重要的。

2) 从制造方面看，由于具有互换性的零部件按标准规定的公差加工，故可采用专业化协作生产，即同一部机器上的各个零件可以分别由不同工厂同时制造。各专业厂由于产品单一、数量多、专业分工细，可采用高效率的专用设备，或采用计算机进行辅助加工，这样就使产品的数量和质量明显提高，成本显著降低。例如，在汽车制造中，汽车上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部件，其他都是采用专业化的协作生产。

3) 从装配方面看，由于具有互换性的零部件不需要辅助加工和修配，故可以减轻装配工的劳动量，缩短装配周期；而且还可采用流水线或自动线装配。例如，在汽车装配线上，由各工厂协作生产的零件或部件，由于采用了适当的、统一的技术要求，故不会在汽车厂装配时发生困难，也不会出现不能满足产品技术性能要求的情况。

4) 从设计方面看, 由于产品中采用了具有互换性的零部件, 尤其是采用了较多的标准零件或部件(如螺钉、销钉、滚动轴承等)时, 使许多零部件不必重新设计计算, 从而大大减轻了设计计算与绘图工作量, 简化了设计程序, 缩短了设计周期; 尤其是还可以应用计算机进行辅助设计, 这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改善, 都有很大好处。例如, 手表生产采用具有互换性的统一机芯, 使新手表的设计周期大大缩短。

综上所述, 大量地使用具有互换性的零部件, 在机械制造中遵循互换性原则的生产(能够保证产品具有互换性的生产, 就称为遵循互换性原则的生产), 不仅能显著提高劳动生产效率, 而且还能有效地保证产品质量和降低生产成本。所以, 互换性是机械制造中重要的生产原则和有效的技术措施, 同时也是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。

#### 4. 互换性生产的发展概况

互换性生产始于兵器工业。在 19 世纪, 为了在战争中争取时间赢得胜利, 要求能迅速更换发热的枪管, 以保证连续进行射击, 这就产生了互换性的萌芽。以后开始用于机械制造行业并逐渐扩大到其他各行业。随着生产的发展, 对生产和生活中使用的各类产品的互换要求越来越广泛。特别是随着产品质量多功能的需要, 由单参数(尺寸)的配合互换性发展到功能互换性。零件的检验由要求用极限量规控制尺寸发展到要求用功能量规控制零件的形状和各尺寸间相互位置精度的要求。

以往的互换性生产都是与大批量生产连在一起的。近年来, 现代化机械工业的发展趋势, 已由单一品种的大批量生产, 逐步向多品种的柔性生产系统(FMS)方向转变。这种生产系统的主要特点是: 根据市场需求, 及时改变生产线上的产品型号和规格。例如, 目前比较先进的汽车装配生产线均是采用可根据用户需求随时更换车型的柔性生产系统。这种生产系统的实质是用大量生产方式生产小批或单件产品, 因而极大地满足了用户对个性化产品的需求, 降低了制造成本。在这种生产线上, 工序变动时, 信息传送给多品种控制器, 接受欲装配哪些零件的指令, 指定机械手选择零件、进行装配, 并经校核送到下一工序。库存零件被提出后, 由计算机通知加工站补充零件, 这样还可避免积压零件。显然, 这种生产系统对互换性生产提出了更加严格的要求。

当前, 互换性原则已经在各个行业被普遍而广泛地采用, 并已成为现代化生产的一项重要的技术经济原则。从手表、缝纫机、自行车到机床、汽车、电视机、计算机以及各种军工产品的生产, 都无不在极大规模和极高程度上按照互换性原则进行生产。尤其是在当前全球化大生产的条件下, 按照专业化协作的原则进行互换性生产, 已是提高产品质量、降低生产成本和提高经济效益的必由之路。可以预言, 随着工业生产的不断发展, 必将促进互换性生产水平的不断提高, 而互换性生产水平的不断提高又将促使工业生产得到更快的发展, 两者如此良性循环, 永无止境。

## 第二节 标准化与优先数系

### 一、标准与标准化

由上述可知, 现代工业是建立在互换性原则基础上的。为了保证机器零件几何参数的互换性, 必须制订和执行统一的互换性公差标准。我国互换性公差标准包括: 极限与配合、形状和位置公差、表面粗糙度以及各种典型的联接件和传动件的精度标准。这类标准是以保证

一定的几何参数制造公差来保证零件的互换性和使用要求的，是机械制造中非常重要的技术基础标准。

### 1. 标准

标准是指为了取得国民经济最佳效果，在总结实践经验和充分协商的基础上，有计划地对人类生活和生产活动中具有多样性和重复性的事物，在一定范围内作出统一规定，并经一定的批准程序，以特定的形式颁发的技术法规。

### 2. 标准的分类

标准种类繁多、数量巨大，可从不同的角度进行分类。按一般习惯，可把标准分为技术标准、管理标准和工作标准；按作用范围，可分为国际标准、区域标准、国家标准、专业标准、地方标准和企业标准；按标准在标准系统中的地位与作用，可分为基础标准和一般标准；按标准的法律属性，可分为强制性标准和推荐性标准。

我国《标准化法》规定：“为保障人体健康，人身、财产安全的标准和法律、行政法规规定强制执行的标准是强制性标准，其他标准是推荐性标准。”强制性标准颁布后，凡从事科研、生产、经营的单位和个人，都必须严格执行。推荐性标准不具有法律的约束力，但一经被采用，或在合同中被引用，就应该严格执行并受合同法或有关经济法的约束。过去我国为适应计划经济的需要，实行单一的强制性标准。随着社会主义市场经济的发展，我国现已实行强制性和推荐性两种标准，这是标准化工作中的一项重要改革。目前，我国已按“积极采用国际标准和国际先进标准”的原则，制订了一万多项国家标准。其中有关几何精度的推荐性国家标准，都是等同或等效采用了相应的国际标准（ISO）。如《极限与配合》、《表面粗糙度》、《形状和位置公差》、《普通螺纹 公差与配合》、《光滑极限量规》、《光滑工件尺寸的检验》、《渐开线花键公差》、《渐开线圆柱齿轮 精度》等，都与相应的国际标准基本统一，从而有利于国际合作与交流。本课程主要涉及三十多个国家标准，它们大多是基础标准，且自 20 世纪 90 年代以后颁布的这些国家标准多为推荐性标准。推荐性标准用标准代号“GB/T”表示。

### 3. 标准化

根据国家标准 GB/T3935.1—1996 的规定，“标准化”定义为：在一定的范围内获得最佳秩序，对实际的或潜在的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。上述活动主要包括制定、发布及实施标准的过程。由标准化的定义可以看到：标准化不是一个孤立的概念，而是一个活动过程。这个过程包括循环往复地制订、贯彻、修订标准。在标准化的全部活动中，贯彻标准是核心环节，制订和修订标准是标准化的最基本的任务。应该肯定：标准化在发展的深度上是没有止境的，它将随着生产的发展和社会的进步向更深的层次不断发展、提高和完善。

标准化在人类活动的很多方面都起着不可忽视的作用，是组织现代化大生产的重要手段，是实现专业化协作生产的必要前提，是科学管理的重要组成部分。由于标准化不仅可以简化产品品种、促进科学技术转化为生产力，而且在节约原材料、减少浪费、信息交流、消除贸易壁垒和提高产品质量等方面均能发挥重要作用，所以它是整个社会经济合理化的技术基础，也是发展贸易、提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。世界各国的经济发展过程表明，标准化是反映现代化水平的一个重要标志。

目前标准化已发展到一个新的历史阶段，其显著特点是标准的国际化。国际标准化组织

(ISO) 和国际电工委员会 (IEC) 编制标准的数量迅速增加, 质量显著提高。大部分国际标准都集中了许多国家的经验和现代科学技术的成就。为了便于国际贸易和国际间的技术交流, 有些国家参照国际标准制订本国的国家标准, 有些国家甚至完全采用国际标准, 而不制订本国标准。我国为能迅速赶上和超过世界先进水平, 也提出了采用国际标准的三大原则: 坚持与国际标准统一协调的原则; 坚持结合我国国情的原则以及坚持高标准、严要求和促进技术进步的原则。本课程所应用的所有标准, 都是以国际标准为基础而重新修订和制订的。目前, 我国的各项互换性国家标准正在为我国的四化建设发挥极其重要的作用。可以预言, 我国的标准化水平一定会随着国民经济的不断发展而不断提高。

## 二、优先数系与优先数

在工业生产中, 当选定一个数值作为某种产品的参数指标后, 这个数值就会按照一定的规律向一切相关的制品、材料等的有关参数指标传播扩散。例如, 胶卷的尺寸会影响相机、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。又如, 动力机械的功率和转速确定后, 不仅会传播到有关机器的相应参数上, 而且必然会传播到其本身的轴、轴承、齿轮、联轴器等一整套零部件的尺寸和材料特性参数上, 并将进而传播到加工和检验这些零部件的刀具、夹具、量具及机床等相应参数上。这种情况称为数值的传播。工程技术上的参数数值, 经过反复传播以后, 即使只有很小的差别, 也会造成尺寸规格的繁多杂乱, 以致给生产组织、协作配套、使用维修及贸易等带来很大的困难。因此, 对各种技术参数, 必须从全局出发加以协调。

优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值制度。国家标准 GB/T321—1980 规定的优先数系是由公比为  $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 、 $\sqrt[80]{10}$ , 且项值中含有 10 的整数幂的等比数列导出的一组近似等比的数列。根据公比的不同, 各数列分别用 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示, 并相应称为 R5 系列、R10 系列、R20 系列、R40 系列和 R80 系列。R80 为补充系列, 其余 4 种为基本系列。实际使用时, 应按 R5、R10、R20、R40 的顺序优先选用。当基本系列不能满足要求时, 才用补充系列 R80。各系列的公比  $q$  为

$$R5: q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60 \quad R10: q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25 \quad R20: q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$R40: q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06 \quad R80: q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

优先数系在各项公差标准中得到广泛应用, 优先数系中的每一个数称为优先数。各基本系列中优先数的常用值列于表 1-1。

由表 1-1 可见, 优先数系国家标准具有简单易记、可向数值增大和减少两个方向延伸的特点。而且, 在同一系列中, 任两项优先数的积或商, 任一项的整数幂, 仍为优先数。特别是相邻两项优先数的相对差相同。此外, 由于 R10 系列的公比  $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx \sqrt[3]{2}$ , 所以在 R10 系列中, 每隔 3 项, 优先数就增大一倍, 如 1, 2, 4, 8...。相应地, R20 系列的优先数, 每隔 6 项增大一倍; R40 系列的优先数, 每隔 12 项增大一倍。

在基本系列的基础上, 还可以获得派生系列。派生系列是取其基本系列中每二、三或四项之值所得到的系列。派生系列用基本系列代号之后加一斜线和表示项数的数字 (2, 3, 4) 来表示。例如:

$$R5/2: 1, 2.5, 6.3, 16, 40, 100, \dots$$

R10  $\beta$ : 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63...

由于优先数的上述优点, 现已被国际标准化组织采纳为统一的标准数值制。

表 1-1 优先数基本系列

基本系列 (常用值)				计算值	基本系列 (常用值)				计算值
R5	R10	R20	R40		R5	R10	R20	R40	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000	4.00	4.00	3.55	3.35	3.3497
			1.06	1.0593				3.55	3.5481
		1.12	1.12	1.1220			3.75	3.7584	
			1.18	1.1885			4.00	3.9811	
			1.25	1.2589			4.25	4.2170	
	1.25	1.25	1.25	1.2535		4.50	4.4668		
			1.32	1.3335		4.75	4.7315		
		1.40	1.40	1.4125		5.00	5.0119		
			1.50	1.4962		5.60	5.3088		
			1.60	1.5849		6.00	5.9566		
1.60	1.60	1.60	1.60	1.5849	6.30	6.30	6.30	6.3096	
			1.70	1.6788			6.70	6.6834	
		1.80	1.80	1.7783			7.10	7.0795	
			1.90	1.8836			7.50	7.4989	
			2.00	1.9953			8.00	7.9433	
	2.00	2.00	2.00	1.9953		8.50	8.5414		
			2.12	2.1135		9.00	8.9125		
		2.24	2.24	2.2387		10.00	9.4406		
			2.36	2.3714		10.00	10.0000		
			2.50	2.5119					
2.50	2.50	2.50	2.5119						
		2.65	2.6607						
	2.80	2.80	2.8184						
		3.00	2.9854						
		3.15	3.1623						

### 第三节 本课程的性质及任务

#### 一、本课程的性质及研究对象

本学科是与机械工业紧密相联的基础学科, 它不仅将标准化领域与计量学领域的有关部分结合在一起, 而且涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产组织管理等许多方面, 因此本学科实际上是一门综合性应用技术基础学科。本课程是高等学校机械类各专业的一门重要的技术基础课。它和机械原理、机械设计等课程一样, 是机械设计的基础部分, 是联系机械设计类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过渡到专业课程的桥梁。

本课程的研究对象是机械或仪器零部件的精度设计及其检测原理。为了突出本课程研究的主题和精度设计主线, 使本课程更好地适应机械工业和科学技术发展的需要, 本教材将传统的“互换性与测量技术基础”更名为“精度设计与检测技术基础”。

#### 二、本课程的任务与要求

高校有关专业的学生在学习本课程时, 应对机械加工的一般知识有一定了解, 并修完机械制图和机械原理等课程。学生在学完本课程后应达到下列要求:

- 1) 掌握互换性、标准化的概念及机械零部件精度设计的基本原理和方法。

2) 熟悉有关互换性标准的基本术语和定义, 基本掌握标准的主要内容、特点和应用原则。

3) 能够查用本课程介绍的公差表格, 并能正确地进行图样标注。

4) 初步学会根据实际零件的功能要求进行几何参数的精度设计。

5) 初步学会使用常用的计量器具进行精密测量, 熟悉几种典型几何量的检测方法。

6) 基本掌握光滑极限量规的精度设计。

总之, 本课程的任务在于使学生获得机械工程师必须具备的几何参数精度设计与检测方面的基本知识和技能。但学生学完本课程后, 尚需在后续课程的学习和毕业后的实际工作中进一步加深对本课程内容的理解, 直至熟练掌握。

值得注意的是, 近年来随着生产和科学技术的飞速发展, 对机械零件标准化要求越来越高, 故本课程除须消化日益增多的新标准内容外, 还须增加对如下内容的了解: 国际先进技术与标准、提高产品质量的方法与措施、应用最新技术的成果等等。因此, 本课程的学习内容越来越多, 难度越来越大。它不仅已成为高等学校有关专业学生的必修课, 而且也是厂矿企业、科研单位的工程技术人员必须掌握的一门实用技术。

### 三、本课程的特点与学习方法

本课程由精度设计和检测技术两部分组成。前部分内容主要通过课堂教学和课外作业来完成, 它和标准化关系十分密切; 后部分内容属于计量学的范畴, 主要通过实验课来完成。

本课程的特点是: 术语定义、符号、代号多, 基本概念、标准规定、经验公式多, 涉及的知识面广, 而相应的理论推导和定量计算少。所以, 对于刚学完系统性较强的基础课的学生, 往往会感到内容繁杂、枯燥, 概念难以掌握。尤其是在标准的规定上, 原则性很强, 而在实际工程应用上则灵活性很大。这对初学者来说, 确实难以适应。但任何事物都有它的主要矛盾, 只要在学习中注意抓住问题的主要矛盾, 及时总结、归纳, 找出各术语概念、规定之间的区别和联系, 围绕互换性和精度设计的主线去分析问题和解决问题, 并多做习题、重视实践性教学环节的训练和理论联系实际的重要环节, 就一定能学好本课程。不过, 在实际中要真正用好、用活本课程的知识, 还须具有较丰富的实践经验。

由于本课程的最终目标是解决零部件几何参数的精度设计问题, 故学完本课程后, 建议进行一次综合性精度设计训练或做一次综合性大型作业(如配套练习册上的综合作业), 这对系统地掌握本课程知识是极为有利的。

## 思考题

1-1 为什么要进行几何参数的精度设计? 精度设计的基本原则和基本方法有哪些?

1-2 何谓互换性? 互换性分成哪几类? 保证互换性生产的条件是什么?

1-3 互换性的意义和作用如何? 举例说明在日常生活中具有互换性的零件、部件给我们带来的便利。

1-4 在机械制造中, 按互换性原则组织生产有何优越性? 是否在任何情况下均按互换性原则组织生产?

1-5 何谓标准? 何谓标准化? 加强标准化工作的意义何在?

1-6 何谓优先数和优先数系? 国家标准为什么要规定优先数和优先数系?

## 第二章 尺寸精度设计

### 第一节 概 述

零件的几何精度要求通常有尺寸精度、形状精度、位置精度与表面粗糙度等。诸多要求中，尺寸精度和配合要求是最基本的。就尺寸而言，要求零件某一尺寸准确，是指要求该尺寸在某一合理的范围之内。对有配合要求的零件，该范围既要保证配合尺寸之间形成一定的关系，以满足不同的使用要求，又要保证在制造上经济合理，这样就形成了“极限与配合”的概念。显然，“极限”用于协调机器使用要求与制造要求的矛盾；“配合”则反映相配零件彼此之间的关系。因此，极限与配合决定了机器零部件相互结合的条件与状态，是评定最终产品的重要技术指标之一。

国家标准《极限与配合》应用广泛，影响深远，涉及各个工业部门，特别是对于机械工业具有更重要的作用。国际标准化组织（ISO）和世界各主要工业国家，对极限与配合标准都给予高度的重视，并认为它是特别重要的基础标准之一。我国从1994年开始，遵循国家关于积极采用国际标准的方针，结合我国“公差与配合”等一系列国家标准十多年来在实践中反映的意见与问题，依据ISO286—1：1988，将GB1800—1979修订为GB/T1800.1—1997《极限与配合 基础第1部分：词汇》、GB/T1800.2—1998《极限与配合 基础第2部分：公差、偏差和配合的基本规定》以及GB/T1800.3—1998《极限与配合 基础第3部分：标准公差和基本偏差数值表》。

从1997年开始，按国家标准制修订计划的安排，等效采用国际标准ISO286—2：1988，将GB1801—1979和GB1802—1979两项标准修订为GB/T1800.4—1999《极限与配合 标准公差等级和孔、轴的极限偏差表》、GB/T1801—1999《极限与配合 公差带和配合的选择》。

此外，等效采用国际标准ISO2768—1：1989中未注出公差的线性尺寸的公差部分，制定了GB/T1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》，代替GB1804—1992。

### 第二节 极限与配合的基本术语及其定义

#### 一、有关“孔”、“轴”和“尺寸”的术语及其定义

##### 1. 孔与轴的定义

(1) 孔 (hole) 孔通常指圆柱形内表面，也包括非圆柱形内表面（由两平行平面或切面形成的包容面）。孔是由单一尺寸确定的，例如对一个方孔，当用尺寸公差限制时，必须分为长度和宽度两个单一尺寸，并分别给定长度公差和宽度公差。每项公差仅控制由两点法测量的单一要素的局部实际尺寸。

(2) 轴 (shaft) 轴通常指圆柱形外表面, 也包括非圆柱形外表面 (由两平行平面或切面形成的被包容面)。轴也是由单一尺寸确定的。

孔、轴的判别主要看加工和相互的配合关系。从加工来看, 随着加工过程的延续, 孔的尺寸由小变大, 轴的尺寸由大变小。在极限与配合中, 孔具有包容的性质, 轴具有被包容的性质。此外, 从检测来看, 孔、轴的测量不仅方法有所不同, 计量器具也有孔用与轴用之分。

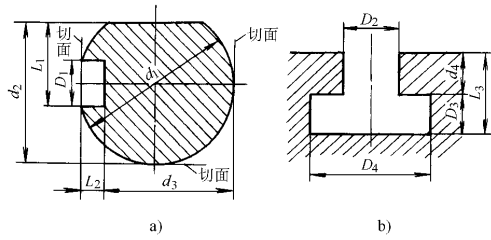


图 2-1 孔与轴的示例

图 2-1 所示尺寸除了常见的圆柱形孔、轴外, 还有非圆柱形的内、外表面。图中  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  和  $D_4$  各尺寸为孔,  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  和  $d_4$  各尺寸为轴, 而  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  各尺寸既不属于内表面, 也不属于外表面, 所以这些尺寸既不是孔也不是轴, 通常称其为长度尺寸。

2. 有关尺寸的术语

(1) 尺寸 (size) 以特定单位表示线性值的数字称为尺寸。在技术制图尺寸标注中, 长度单位常用 mm, 在图样上只写数字, 而单位常略去不写。角度尺寸也是广义尺寸标注的内容之一, 但本标准中这一定义的含义较窄, 从几何要素看, 它不包括用角度单位表示的角度尺寸。尺寸表示长度的大小, 包括直径、长度、宽度、高度、厚度以及中心距、倒圆半径等等。

(2) 基本尺寸 (basic size) 由设计给定的尺寸称为基本尺寸。通过它应用上、下偏差可算出极限尺寸的尺寸。这就是说, 基本尺寸是决定偏差和极限尺寸的起始尺寸。

基本尺寸在图样上必须标注, 而且相配合的孔和轴具有相同的基本尺寸。它是设计者根据经验或经过计算而确定的, 可以是一个整数或一个小数。本教材以  $D$  和  $d$  分别表示孔和轴的基本尺寸。

(3) 实际尺寸 (actual size) 通过测量获得的尺寸称为实际尺寸。由于存在测量误差, 通过测量所获得的尺寸中包含允许的测量误差, 所以实际尺寸并非尺寸的真值。通常用  $D_a$  和  $d_a$  分别表示孔和轴的实际尺寸。

事实上, 造成偏离真值的不仅是测量误差, 还有形状误差的影响。由于存在形状误差, 同一表面不同部位的实际尺寸往往不同。所以, 标准新增了“局部实际尺寸 (actual local size)”的术语, 它是指一个孔或轴在任意横截面中的任一距离, 即任何两相对点之间测得的尺寸。

(4) 极限尺寸 (limits of size) 孔或轴允许尺寸的两个极端称为极限尺寸。实际尺寸应位于极限尺寸内。孔或轴允许的最大尺寸为最大极限尺寸,

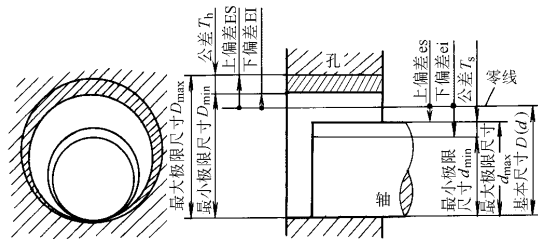


图 2-2 极限与配合示意图

以  $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$  表示；孔或轴允许的最小尺寸为最小极限尺寸，以  $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$  表示，如图 2-2 所示。

利用上述代号不难得出合格的孔与轴的实际尺寸应满足的条件为

$$D_{\min} \leq D_a \leq D_{\max} \quad d_{\min} \leq d_a \leq d_{\max}$$

(5) 最大实体状态 (MMC) 与最大实体尺寸 (MMS) 实际要素在给定长度上处处位于尺寸极限之内，并具有实体最大（即材料最多）时的状态，称为最大实体状态 (maximum material condition)。若孔、轴在该状态下装配会出现最紧的情况。

实际要素在最大实体状态下的极限尺寸，称为最大实体尺寸 (maximum material size)。孔和轴的最大实体尺寸分别以  $D_M$  和  $d_M$  表示，即

$$D_M = D_{\min} \quad d_M = d_{\max}$$

(6) 最小实体状态 (LMC) 与最小实体尺寸 (LMS) 实际要素在给定长度上处处位于尺寸极限之内，并具有实体最小（即材料最少）时的状态，称为最小实体状态 (least material condition)。若孔、轴在该状态下装配会出现最松的情况。

实际要素在最小实体状态下的极限尺寸，称为最小实体尺寸 (least material size)。孔和轴的最小实体尺寸分别以  $D_L$  和  $d_L$  表示，即

$$D_L = D_{\max} \quad d_L = d_{\min}$$

(7) 体外作用尺寸 (external function size) 它是指在被测要素的给定长度上，与实际内表面（孔）体外相接的最大理想面或与实际外表面（轴）体外相接的最小理想面的直径或宽度。内、外表面的体外作用尺寸分别用  $D_{fe}$  和  $d_{fe}$  表示。

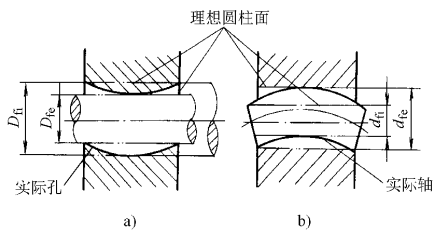


图 2-3 单一要素的体内和体外作用尺寸

(8) 体内作用尺寸 (internal function size) 它是指在被测要素的给定长度上，与实际内表面（孔）体内相接的最小理想面或与实际外表面（轴）体内相接的最大理想面的直径或宽度。内、外表面的体内作用尺寸分别用  $D_{fi}$  和  $d_{fi}$  表示。

单一要素的体内和体外作用尺寸如图 2-3 所示。

二、有关“偏差”、“公差”和“公差带”的术语及其定义

### 1. 偏差 (deviation)

偏差是指某一尺寸（实际尺寸、极限尺寸等）减其基本尺寸所得的代数差。

实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差称实际偏差；最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差叫上偏差，孔、轴的上偏差分别用  $ES$ 、 $es$  表示；最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称下偏差，孔、轴的下偏差分别用  $EI$ 、 $ei$  表示。上偏差和下偏差统称极限偏差。偏差可为正值、负值或零。上、下偏差与极限尺寸和基本尺寸的关系可表示为

$$ES = D_{\max} - D \quad (2-1)$$

$$es = d_{\max} - d \quad (2-2)$$

$$EI = D_{\min} - D \quad (2-3)$$

$$ei = d_{\min} - d \quad (2-4)$$

## 2. 尺寸公差 (size tolerance)

尺寸公差简称公差，是指允许尺寸的变动量，因而是一个没有符号的绝对值。它是最大极限尺寸与最小极限尺寸之差，或上偏差与下偏差之差。

孔、轴的公差通常用  $T_h$ 、 $T_s$  表示。依据定义，有下列关系式

$$T_h = D_{\max} - D_{\min} = |ES - EI| \quad (2-5)$$

$$T_s = d_{\max} - d_{\min} = |es - ei| \quad (2-6)$$

## 3. 公差带 (tolerance zone)

公差带是指在公差带图中由代表上偏差和下偏差的两条直线所限定的一个区域。作公差带图解时，一般先沿水平方向绘制一条零线 (zero line)。所谓零线，是在极限与配合图解中表示基本尺寸的一条直线，以该直线为基准确定极限偏差的位置。在零线的左端标出“0”，“0”的上方标“+”，下方标“-”；“0”是指偏差为零，所以零线即零偏差线。在零线的左下方画出垂直于零线的单箭头线就是尺寸线。在尺寸线上注出基本尺寸的数值。

当极限偏差均为正值，极端情况下是下偏差为零时，公差带在零线的上方。当极限偏差均为负值，极端情况下是上偏差为零时，公差带在零线的下方。当上偏差为正值而下偏差为负值时，公差带跨在零线上，如图 2-4 所示。

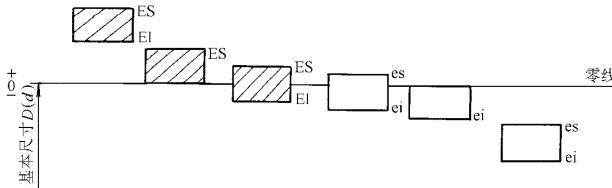


图 2-4 公差带图

从图中可以看出，公差带包括两个要素：一是公差带的大小（即宽度），它由标准公差确定，标准公差是国家标准极限与配合制中所规定的任一公差；二是公差带相对于零线的位置，它由基本偏差确定。

基本偏差可以是上偏差，也可以是下偏差，一般为靠近零线的那个极限偏差。当标准公差和基本偏差确定后，就可以绘制标准公差带图。公差带图是学习本课程一个极为重要的工具，必须熟练地掌握。

## 三、有关“配合”的术语及其定义

### 1. 配合 (fit)

配合是指基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

规定配合的目的是为了保证联结零件在装配时不经辅助加工或调整就能得到所需松紧程度的配合。由于零件加工尺寸的波动，所以装配时两联结件间的间隙或过盈也是波动的。极限间隙或过盈不能通过两联结件的装配情况直接确定，而只能由孔与轴公差带之间的关系来确定。配合必须具备的基本条件是，组成配合的孔、轴的基本尺寸应相同。

配合的实质是孔和轴公差带之间的关系。这个关系一是指孔、轴公差带相互位置的关系，它反映配合的松紧程度，用间隙或过盈来确定；二是指孔、轴公差带大小的关系，它反