

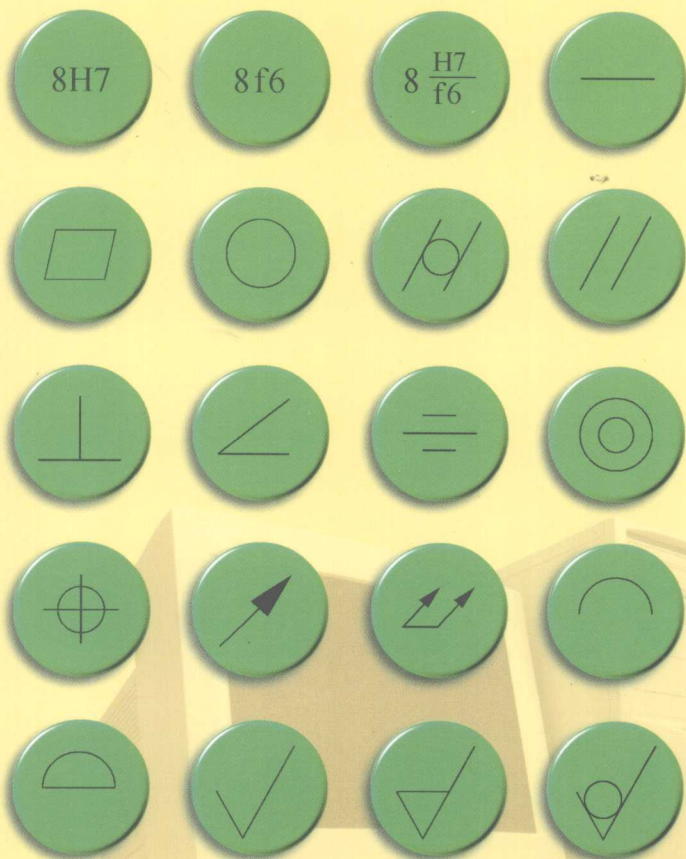
高等学校“十一五”规划教材

机械精度设计 与检测基础

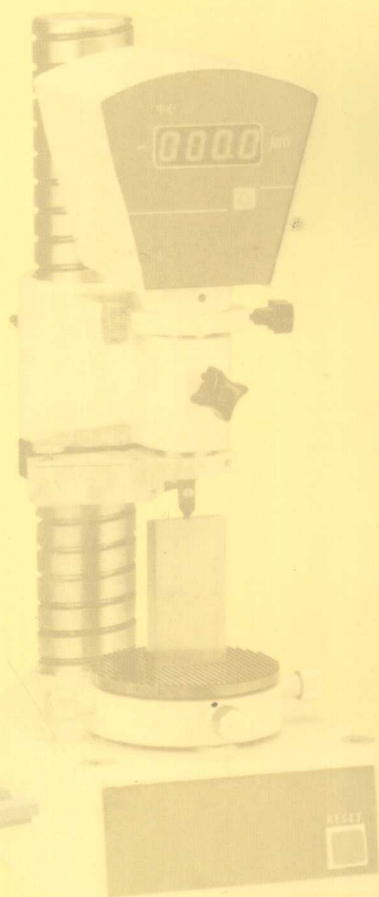
赠光盘

第5版

刘品 李哲 主编



哈尔滨工业大学出版社



高等学校“十一五”规划教材

刘品 李哲 主编

在原《互换性与测量技术基础》一书基础上修订

机械精度设计与检测基础

第5版

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

“机械精度设计与检测基础”课程即“互换性与测量技术基础”课程。

本书为适应哈尔滨工业大学对21世纪新的教学改革需要而编写的。在本次修订中,进一步修改和更新了上一版的内容,力求按教学规律阐述机械精度设计和检测技术的基本知识、各种典型机械零件精度设计的基本原理和方法,以及各种公差标准在设计中的应用。书中各章有思考题和作业题,以配合教学的需要,也便于读者自学。

本书内容为:绪论,测量技术基础,尺寸公差、圆柱结合的精度设计与检测,形状和位置精度设计与检测,表面粗糙度与检测,滚动轴承与孔、轴结合的精度设计,圆锥结合的精度设计与检测,键、花键结合的精度设计与检测,螺纹结合的精度设计与检测,圆柱齿轮精度设计与检测,尺寸链精度设计基础和机械零件精度设计等共十二章。

本书是根据全国高校《互换性与测量技术基础》教学大纲编写的,可供高等工科院校机械类专业、成人教育大学和业余大学等同类专业教学使用,也可供从事机械设计、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基础/刘品主编.—5版.—哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2007.7(2008.2重印)

ISBN 978-7-5603-1803-5

I.机... II.刘... III.①机械-精度-设计②机械元件-
检测 IV.TH122 TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 098983 号

责任编辑 徐 雁

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 375千字

版 次 2003年1月第1版 2007年7月第5版

2008年2月第8次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-1803-5

定 价 26.00元(赠光盘)

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

修订版前言

“机械精度设计与检测基础”课程即“互换性与测量技术基础”课程,是高等工科院校本科、专科机械设计制造及其自动化、工业设计、热能与动力工程、材料成形及控制工程、焊接技术与工程、精密仪器、光电技术与光电仪器和计算机集成制造技术等专业的一门应用性很强的技术基础课。

本教材是根据全国高校“互换性与测量技术基础”课程教学大纲要求,按照当前的教学改革需要,通过编者多年教学实践并与同行专家及一些兄弟院校反复研讨编写而成的。经过近几年的教学实践,随着科学技术和本学科的发展,为了更进一步地适应教学需要,与时俱进,我们对上一版教材的内容作了较多的更新,对本书的编排也做了改进。全书突出体现了以下几点:

(1)紧密结合教学大纲,精减内容,加强基础,反映国内、外最新成就,尽量做到少而精,便于自学。

(2)为适应教学改革的需要,以培养学生的综合设计能力为主线,大篇幅地增加了应用性内容,如尺寸精度、形位精度、表面粗糙度和典型零件的检测及机械零件精度设计等。

(3)全部采用最新国家标准。

(4)为了做到理论联系实际,学以致用,本书增加了一些结合实际的实例和习题。

(5)适用面广,既适用于多学时讲授,也适用于少学时讲授。由于各章内容独立,可根据专业的不同情况选用。

(6)修改了书中有关文字、图表和图样标注中的错误和遗漏。

本书由哈尔滨工业大学刘品、李哲(威海)主编,哈尔滨工业大学张也晗、哈尔滨理工大学徐晓希为副主编。参加本次修订的作者如下:第一章,张也晗、田克华;第二章,周海、刘丽华;第三章,刘丽华、赵熙萍、李哲;第四章,张也晗、姚玉峰、李瑞芬;第五章,郝爱芬、徐晓希;第六章,朱海;第七章,孙曙光、周海;第八章,郝爱芬;第九章,朱欣顺;第十章,刘丽华、林爱琴、刘品;第十一章,徐晓希、孙曙光;第十二章张也晗、林爱琴。

本书由哈尔滨工业大学高延新主审。参加评审的有哈尔滨理工大学杨守成、东北农业大学王金武、哈尔滨工程大学袁夫彩、黑龙江工程学院袁正友、长春理工大学李校夫。

电子课件是按34学时(本课程一般总学时为40,其中课堂教学34学时,实验6学时)编制。其内容为:绪论,尺寸精度设计与检测,形位精度设计与检测,表面粗糙度,滚动轴承结合的精度设计,键、花键结合的精度设计,螺纹结合的精度设计,圆柱齿轮的精度设计与检测和尺寸链的精度设计基础等共九章。本电子课件文字部分由刘品、张也晗编写,电

子部分由刘崑崑、李莉采用 PowerPoint 编制。

哈尔滨工业大学出版社于 2003 年 6 月出版的实验指导书,也已出了 2 版,其内容为:轴、孔测量,形状误差测量,位置误差测量,表面粗糙度测量,圆柱螺纹测量,圆柱齿轮测量,几何量测量的综合实验和测量结果与测量误差的评定等。本实验指导书是由赵熙萍、周海等编写。

本书编写过程中,得到很多兄弟院校有关同志的热情支持和帮助,谨此表示谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不当之处,欢迎读者批评与指正。

编 者

2007 年 6 月

目 录

第一章 绪 论

- 1.1 互换性的概念..... (1) 二、优先数系和优先数..... (4)
- 一、互换性的含义..... (1) 1.3 检测技术的发展..... (7)
- 二、互换性的分类..... (1) 1.4 本课程的特点和任务..... (8)
- 三、互换性在机械制造生产中的 一、本课程的特点和学习方法..... (8)
- 作用..... (2) 二、本课程的任务..... (8)
- 1.2 标准化与优先数系..... (3) 习题一..... (8)
- 一、标准化..... (3)

第二章 测量技术基础

- 2.1 测量的基本概念..... (10) 2.3 测量误差及数据处理..... (19)
- 一、测量、检验与检定..... (10) 一、测量误差及其表示方法..... (19)
- 二、测量基准和尺寸传递系统..... (11) 二、测量误差来源与减小方法..... (20)
- 三、定值的长度和角度基准..... (12) 三、测量误差分类、特性及其
- 2.2 计量器具和测量方法..... (15) 处理原则..... (22)
- 一、计量器具..... (15) 四、测量误差的合成..... (27)
- 二、测量方法分类及其特点..... (18) 习题二..... (29)

第三章 尺寸公差、圆柱结合的精度设计与检测

- 3.1 概 述..... (31) 一、基本偏差及其特点..... (42)
- 一、圆柱结合的使用要求..... (31) 二、孔、轴的基本偏差..... (43)
- 二、极限与配合的基本结构..... (31) 三、极限与配合的表示及其应用
- 三、极限与配合的基本术语和 举例..... (50)
- 定义..... (31) 3.4 圆柱结合的精度设计..... (52)
- 四、配合制(基准制)..... (37) 一、配合制的选用..... (52)
- 3.2 标准公差系列——公差带大小的 二、标准公差等级的选用..... (54)
- 标准化..... (38) 三、配合的选用..... (55)
- 一、标准公差因子 i 及其计算式的 四、线性尺寸的未注公差的
- 确定..... (39) 选用..... (63)
- 二、公差等级及 a 值的确定..... (39) 3.5 尺寸精度的检测..... (65)
- 三、尺寸分段及 D 值的确定..... (40) 一、用通用计量器具测量..... (65)
- 3.3 基本偏差系列——公差带位置的 二、用光滑极限量规检验..... (71)
- 标准化..... (42) 习题三..... (75)

第四章 形状和位置精度设计与检测

4.1 概述	(78)	四、最大实体要求	(103)
一、形位误差的产生及其影响 ..	(78)	五、最小实体要求	(105)
二、形位误差的研究对象——几何要素	(79)	4.4 形状和位置精度设计	(107)
三、形位公差特征项目和符号 ..	(80)	一、形位公差特征项目的选用	(107)
4.2 形状和位置公差的标注及其公差带	(81)	二、公差原则和公差要求的选用	(107)
一、形位公差的标注	(81)	三、基准要素的选用	(108)
二、形位公差带	(87)	四、形位公差值的选用	(108)
4.3 公差原则与公差要求	(98)	4.5 形状和位置精度的检测	(112)
一、有关公差原则的一些术语和定义	(98)	一、形状误差及其评定	(112)
二、独立原则	(101)	二、位置误差及其评定	(117)
三、包容要求	(101)	三、形位误差的检测原则	(118)
		习题四	(119)

第五章 表面粗糙度与检测

5.1 概述	(123)	二、表面粗糙度的选用	(128)
一、表面粗糙度的定义	(123)	5.4 表面粗糙度符号、代号及其注法	(131)
二、表面粗糙度对机械零件使用性能的影响	(123)	一、表面粗糙度的符号	(131)
5.2 表面粗糙度的评定	(124)	二、表面粗糙度的代号及其注法	(132)
一、基本术语	(124)	三、表面粗糙度的标注示例	(134)
二、评定参数	(125)	5.5 表面粗糙度的检测	(135)
5.3 表面粗糙度的参数值及其选用	(127)	习题五	(137)
一、表面粗糙度的参数数值	(127)		

第六章 滚动轴承与孔、轴结合的精度设计

6.1 概述	(139)	一、配合选用的依据	(143)
一、滚动轴承的组成及种类	(139)	二、孔、轴尺寸公差带的选用 ..	(146)
二、滚动轴承的公差等级及其应用	(139)	三、孔、轴形位公差和表面粗糙度的选用	(148)
三、滚动轴承和与其配合的孔、轴公差带	(140)	四、滚动轴承与孔、轴结合的精度设计举例	(149)
6.2 滚动轴承与孔、轴结合的精度设计	(143)	习题六	(150)

第七章 圆锥结合的精度设计与检测

7.1 概述	(151)	四、未注公差角度尺寸的极限偏差	(160)
一、圆锥配合的特点	(151)	7.3 锥度与圆锥角的检测	(161)
二、圆锥配合的基本参数	(151)	一、用通用量仪直接测量	(161)
7.2 圆锥公差与配合	(155)	二、用通用量具间接测量	(161)
一、圆锥公差	(155)	三、用量规检验	(161)
二、圆锥配合	(157)	习题七	(162)
三、圆锥公差的标注方法	(159)		

第八章 键和花键结合的精度设计与检测

8.1 普通平键结合的精度设计与检测	(163)	与检测	(166)
一、普通平键结合的结构和几何参数	(163)	一、矩形花键的几何参数和定心方式	(167)
二、普通平键的精度设计	(163)	二、矩形花键结合的精度设计	(168)
三、键及键槽的检测	(166)	三、矩形花键的检测	(171)
8.2 矩形花键结合的精度设计		习题八	(172)

第九章 螺纹结合的精度设计与检测

9.1 螺纹结合的使用要求和几何参数	(173)	结构	(178)
一、螺纹种类和使用要求	(173)	二、螺纹公差带	(178)
二、普通螺纹的基本牙型和主要几何参数	(173)	三、螺纹的旋合长度与公差精度等级	(181)
9.2 影响螺纹结合精度的因素	(176)	四、保证配合性质的其他技术要求	(181)
一、中径偏差的影响	(176)	五、螺纹公差与配合的选用	(182)
二、螺距偏差的影响	(176)	六、螺纹的标记	(182)
三、牙侧角偏差的影响	(177)	七、例题	(183)
四、螺纹作用中径和中径的合格条件	(177)	9.4 普通螺纹精度的检测	(184)
9.3 普通螺纹公差	(178)	一、单项测量	(184)
一、螺纹公差标准的基本		二、综合检验	(185)
		习题九	(186)

第十章 圆柱齿轮精度设计与检测

10.1 齿轮传动的使用要求	(187)	四、齿侧间隙的合理性	(188)
一、传递运动的准确性	(187)	10.2 评定齿轮精度的偏差项目及其允许值	(188)
二、传动的平稳性	(187)	一、评定齿轮精度的必检	
三、载荷分布的均匀性	(188)		

偏差项目····· (189)	四、齿轮精度设计示例····· (204)
二、评定齿轮精度的可选用	10.4 齿轮精度检测····· (207)
偏差项目····· (192)	一、齿轮径向跳动的测量····· (207)
三、齿轮的精度等级及其图	二、齿距的测量····· (207)
样标注····· (193)	三、齿廓偏差的测量····· (209)
四、齿轮各项偏差允许值的	四、齿向和螺旋线偏差的
计算公式及其数值····· (194)	测量····· (209)
10.3 圆柱齿轮精度设计····· (197)	五、公法线长度的测量····· (210)
一、齿轮精度等级的选用····· (197)	六、齿厚的测量····· (211)
二、最小侧隙和齿厚偏差的	七、单面啮合综合测量····· (211)
确定····· (198)	八、双面啮合综合测量····· (212)
三、齿轮副和齿坯精度的	习题十····· (213)
确定····· (200)	

第十一章 尺寸链的精度设计基础

11.1 尺寸链的基本概念····· (214)	计算)····· (222)
一、尺寸链的定义和特征····· (214)	四、反计算(设计计算)····· (224)
二、尺寸链的组成和分类····· (215)	11.3 用概率法计算尺寸链····· (228)
三、尺寸链图及其画法····· (216)	一、概率法计算尺寸链的基本
四、尺寸链的计算····· (217)	步骤和计算公式····· (228)
11.2 用极值法计算尺寸链····· (218)	二、正计算(校核计算)····· (228)
一、极值法计算尺寸链的基本	三、中间计算(工艺尺寸
步骤和计算公式····· (218)	计算)····· (230)
二、正计算(校核计算)····· (219)	四、反计算(设计计算)····· (231)
三、中间计算(工艺尺寸	习题十一····· (233)

第十二章 机械零件的精度设计

12.1 典型零件的精度设计····· (235)	一、减速器中重要结合面的配合
一、齿轮的精度设计····· (235)	尺寸····· (243)
二、轴的精度设计····· (239)	二、特性尺寸····· (245)
三、箱体的精度设计····· (241)	三、安装尺寸····· (245)
12.2 装配图上标注的尺寸和	习题十二····· (245)
配合代号····· (243)	
主要参考文献····· (247)	

第一章 绪 论

“机械精度设计和检测基础课程”主要包括两方面内容:机械的精度设计和检测的技术基础。机械设计通常可分为:机械的运动设计、机械的结构设计、机械的强度和刚度设计以及机械的精度设计。前三项设计是其他课程研究的内容,本课程只研究机械精度设计。机械精度设计是根据机械的功能要求,正确地对机械零件的尺寸精度、形状和位置精度以及表面微观轮廓精度要求进行设计,并将它们正确地标注在零件图、装配图上。检测基础是讲授几何量检测的基本知识和检测原理以及常用的检测方法。在机械零件加工的全过程中必须进行测量或检验,使之符合机械精度设计要求。

为了能够学好本门课程,首先在绪论中学习和掌握以下有关的基本概念。

1.1 互换性的概念

一、互换性的含义

互换性的概念在日常生活中到处都能用到。例如,机械或仪器上掉了一个螺钉,换上同规格的新螺钉就行了;灯泡坏了,买一个安上即可;汽车、拖拉机,乃至家庭用的自行车、缝纫机、手表中某个机件磨损了,换上一个新的,便能继续使用。互换性重要的生产原则和有效技术措施,在日用工业品、机床、汽车、电子产品、军工产品等各生产部门都广泛采用。

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,装配时,不需经过任何选择、修配或调整,就能装配在整机上,并能满足使用性能要求的特性。

显然,互换性应该同时具备两个条件:第一,不需经过任何选择、修配或调整便能装配(当然也应包括维修更换);第二,装配(或更换)后的整机能满足其使用性能要求。

互换性在许多工业部门产品设计和制造中应遵循的重要原则。它不仅涉及产品制造中零、部件的可装配性,而且还涉及机械设计、生产及其使用的重大技术和经济问题。

二、互换性的分类

在生产中,按互换性的程度可分为完全互换(绝对互换)与不完全互换(有限互换)。

若零件在装配或更换时,不需选择、辅助加工或修配,则其互换性为完全互换性。当装配精度要求较高时,采用完全互换将使零件制造公差很小,加工困难,成本很高,甚至无法加工。这时,可以采用其他技术手段来满足装配要求,例如分组装配法,就是将零件的制造公差适当地放大,使之便于加工,而在零件完工后装配前,用测量器具将零件按实际

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,装配时按相应组进行(即大孔与大轴相配,小孔与小轴相配)。这样,既可保证装配精度和使用要求,又能减少加工难度、降低成本。此时,仅组内零件可以互换,组与组之间不可互换,故这种互换性称为不完全互换性。

对标准部件或机构来说,互换性又可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、外圈滚道直径与滚珠(滚柱)直径的装配。

为使用方便起见,滚动轴承的外互换采用完全互换,而其内互换则因其组成零件的精度要求高,加工困难,故采用分组装配,为不完全互换。一般地说,不完全互换只用于部件或机构的制造厂内部的装配。至于厂外协作件,即使批量不大,往往也要求完全互换。究竟是采用完全互换,还是不完全互换,或者部分地采用修配调整,要由产品精度要求与其复杂程度、产量大小(生产规模)、生产设备、技术水平等因素决定。

应该指出,机械制造中的互换性,决不仅仅取决于它们几何参数的一致性,还取决于它们的物理性能、化学性能、机械性能等参数的一致性。因此,互换性可分为几何参数互换性和功能互换性。本课程只研究几何参数的互换性。

三、互换性在机械制造生产中的作用

互换性在机械制造中有很重要的作用。

从使用方面看,如果一台机器的某零件具有互换性,则当该零件损坏后,可以很快地用一备件来代替,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难以用价值来衡量的。例如,发电厂要迅速排除发电设备的故障,保证继续供电;在战场上要很快排除武器装备的故障,保证继续战斗。在这些场合,实现零部件的互换,显然是极为重要的。

从制造方面看,互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。装配时,由于零件(部件)具有互换性,不需要辅助加工和修配,可以减轻装配工的劳动量,因而缩短了装配周期;而且,还可使装配工作按流水作业方式进行,以至实现自动装配,这就使装配生产效率显著提高。加工时,由于按标准规定公差加工,同一部机器上的各个零件可以分别由各专业厂同时制造。各专业厂由于产品单一,产品数量多,分工细,即可采用高效率的专用设备,乃至采用计算机进行辅助加工,从而使产品的数量和质量明显提高,成本也必然显著降低。

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和部件(螺钉、销钉、滚动轴承等),这就使许多零部件不必重新设计,从而大大减轻了计算与绘图的工作量,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(CAD),这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改善,都有很大作用。综上所述,在机械制造中组织互换性生产,大量地应用具有互换性的零部件,不仅能够显著提高劳动生产率,而且在有效地保证产品质量和提高产品可靠性、降低成本等方面都具有重大的意义。所以,使零部件具有互换性是机械制造中重要的原则和有效的技术措施。

1.2 标准化与优先数系

一、标准化

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,是科学管理的重要组成部分。标准化的作用很多、很广泛,在人类活动很多方面都起着不可忽视的作用。标准化可以简化多余的产品品种,促进科学技术转化为生产力,确保互换性,确保安全和健康,保护消费者的利益,消除贸易壁垒。此外,标准化可以在节约原材料、减少浪费、信息交流、提高产品可靠性等方面发挥作用。在现代工业社会化的生产中,标准化是实现互换性的基础。

世界各国的经济发展过程表明,标准化是实现现代化的一个重要手段,也是反映现代化水平的一个重要标志。现代化的程度越高,对标准化的要求也越高。

什么是标准化?根据我国的国家标准 GB 3935.1—1996 的规定,标准化定义为:“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”。由标准化的定义我们可以认识到,标准化不是一个孤立的概念,而是一个活动过程,这个过程包括制订、贯彻、修订标准,循环往复,不断提高;制订、修订、贯彻标准是标准化活动的主要任务;在标准化的全部活动中,贯彻标准是个核心环节。同时还应注意到,标准化在深度上是没有止境的,无论是一个标准,还是整个标准系统,都在向更深的层次发展,不断提高,不断完善;另外,标准化的领域,尽管可以说在一切有类智慧活动的地方都能展开,但目前大多数国家和地区都把标准化活动的领域重点放在工业生产上。

什么是标准?根据 GB3935.1—1996 对标准所下的定义为:“为在一定的范围内获得最佳秩序,对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。该文件经协商一致制定并经一个公认机构的批准。”标准应以科学、技术和经验综合成果为基础,以促进最佳社会效益为目的。由此可见,标准的制订是与当前科学技术水平和生产实践相关,它通过一段时间的执行,要根据实际使用情况,对现行标准加以修订和更新。所以我们在执行各项标准时,应以最新颁布的标准为准则。

按一般习惯可把标准分为技术标准、管理标准和工作标准;按作用范围可将其分为国际标准、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、作用把它们分为基础标准和一般标准;按标准的法律属性将其分为强制性标准和推荐性标准。按我国《标准化法》的规定:“国家标准、行业标准分为强制性标准和推荐性标准。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。”强制性标准发布后,凡从事科研、生产、经营的单位和个人,都必须严格执行。不符合强制性标准要求的,严禁生产、销售和进口。推荐性标准不具有法律的约束力,但当推荐性标准一经被采用,或在合同中被引用,则被采用或被引用的那部分内容,就应该严格执行,受合同法或有关经济法的约束。过去,我国适应计划经济的需要,实行单一的强制性标准。随着社会主义商品经济的发展,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。它既可将该管的标准管住、管好、管严,

又可使不该管的标准放开、搞活,这就促进了商品经济的不断发展。

近年来,我国对标准化的指导思想是:各行各业中积极采用国际标准和国外先进标准,在我国加入 WTO 后,为加强和扩大我国与国际先进工业国家的技术交流及国际贸易,更应加快采用国际标准的步伐。

国际标准化机构有三个:国际标准化组织(ISO),它制订的标准用符号 ISO 表示;国际电工委员会(IEC),它制订的标准用符号 IEC 表示;国际电信联盟(ITU),它制订的标准用符号 ITU 表示。我国国家标准分国标(GB)和国军标(GJB),分别用符号 GB 和 GJB 表示。国标分为两类:必须执行的标准(记为 GB)和推荐执行的标准(记为 GB/T)。本课程主要涉及到的三十多个技术标准,多属于国家标准(GB)和国家推荐性技术基础标准(GB/T)。

为全面保证零部件的互换性,不仅要合理地确定零件制造公差,还必须对影响生产质量的各个环节、阶段及有关方面实现标准化。诸如技术参数及数值系列(如尺寸公差)的标准化(优先数系);形状与位置公差及表面质量参数的标准化;原材料及热处理方法的标准化;工艺装备及工艺规程的标准化;计量单位及检测规定等的标准化。可见,在机械制造业中,任何零部件要使其具有互换性,都必须实现标准化,没有标准化,就没有互换性。

二、优先数系和优先数

为了保证互换性,必须合理地确定零件公差,公差数值标准化的理论基础,即为优先数系和优先数。

1. 优先数系

在生产中,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规律向一切相关的制品、材料等有关参数指标传播扩散。例如动力机械的功率和转速值确定后,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、键、齿轮、联轴节等一整套零部件的尺寸和材料特性参数上,并进而传播到加工和检验这些零部件用的刀具、量具、夹具及机床等的相应参数上。这种技术参数的传播性,在生产实际中是极为普遍的现象,并且跨越行业和部门的界限。工程技术上的参数数值,即使只有很小的差别,经过反复传播后,也会造成尺寸规格的繁多杂乱,以致给组织生产、协作配套及使用维修等带来很大困难。因此,对于各种技术参数,必须从全局出发,加以协调。

优先数系和优先数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标准。

什么是优先数系?根据工程技术上的要求,优先数系是一种十进制几何级数。国家标准 GB 321—80 规定,优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 和 $\sqrt[80]{10}$,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的数列。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。

由上述可知,优先数系的五个系列的公比都是无理数,在工程技术上不能直接应用,而实际应用的是理论公比经过化整后的近似值,各系列的公比如下。

$$R5 : \text{公比 } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.589 4 \approx 1.60$$

$$R10: \text{公比 } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.258 9 \approx 1.25$$

$$R20: \text{公比 } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.122 0 \approx 1.12$$

$$R40: \text{公比 } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.059 3 \approx 1.06$$

$$R80: \text{公比 } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.029 1 \approx 1.03$$

(1) 基本系列

R5、R10、R20 和 R40 四个系列,是优先数系中的常用系列,称为基本系列,该系列各项数值如表 1.1 所示。其代号为:

系列无限定范围时,用 R5、R10、R20、R40 表示;

系列有限定范围时,应注明界限值。例如,R10(1.25···)表示以 1.25 为下限的 R10 系列;R20(···45)表示以 45 为上限的 R20 系列;R40(75···300)表示以 75 为下限和 300 为上限的 R40 系列。

表 1.1 优先数系的基本系列(常用值) (摘自 GB 321—80)

R5	1.00		1.60		2.50		4.00		6.30		10.00
R10	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00	10.00
R20	1.00	1.12	1.25	1.40	1.60	1.80	2.00	2.24	2.50	2.80	3.15
	3.55	4.00	4.50	5.00	5.60	6.30	7.10	8.00	9.00	10.00	
R40	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80
	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35
	3.55	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.30	5.60	6.00	6.30
	6.70	7.10	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00			

(2) 补充系列

R80 系列称为补充系列,其代号表示方法同基本系列。

(3) 变形系列

变形系列主要有三种:派生系列、移位系列和复合系列。

① 派生系列。派生系列是从基本系列或补充系列 R_r 中(其中 $r = 5, 10, 20, 40, 80$),每隔 p 项取值导出的系列,即从每相邻的连续 p 项中取一项形成的等比系列。派生系列的代号表示方法为:

系列无限定范围时,应指明系列中含有的一个项值,但是如果系列中含有项值 1,可简写为 R_r/p 。例如,R10/3(···80···)表示含有项值 80 并向两端无限延伸的派生系列,R10/3 表示系列为···,1,2,4,8,16,···。

系列有限定范围时,应注明界限值,例如,R20/4(112···)表示以 112 为下限的派生系列;R40/5(···60)表示以 60 为上限的派生系列;R5/2(1···10 000)表示以 1 为下限和 10 000 为上限的派生系列。

派生系列的公比为

$$q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[p]{10})^p = 10^{p/r}$$

例如派生系列 R10/3 的公比 $q_{10/3} = 10^{3/10} \approx 2$, 可形成三个不同项值的系列: ① 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, ...; ② 1.25, 2.50, 5.00, 10.00, ...; ③ 1.60, 3.15, 6.30, 12.50, ...

由此可见, 比值 r/p 相等的派生系列具有相同的公比, 但其项值彼此不同。

② 移位系列。移位系列也是一种派生系列, 它的公比与某一基本系列相同, 但项值与该基本系列不同。例如, 项值从 25.8 开始的 R80/8 系列, 是项值从 25.0 开始的 R10 系列的移位系列。

③ 复合系列。复合系列是指由几个公比不同的系列组合而成的变形系列, 或以某一系列为主, 从中删去个别数值, 而加邻近系列的数值形成的系列。例如, 10, 16, 25, 35.5, 47.5, 63, 80, 100 即为一复合系列。其中 10, 16, 25 为 R5 系列; 25, 35.5 为 R20/3 系列; 35.5, 47.5, 63 为 R40/5 系列; 63, 80, 100 为 R10 系列。如 0.6 ~ 3 600 kW 感应电动机系列也为一复合系列。

2. 优先数

优先数系的五个系列 (R5, R10, R20, R40 和 R80) 中任一个项值均称为优先数, 根据其取值的精确程度, 数值可分为:

(1) 优先数的理论值

理论值即理论等比数列的项值。如 R5 理论等比数列的项值有 $1, \sqrt[5]{10}, (\sqrt[5]{10})^2, (\sqrt[5]{10})^3, (\sqrt[5]{10})^4, 10$ 等。理论值一般是无理数, 不便于实际应用。

(2) 优先数的计算值

计算值是对理论值取五位有效数字的近似值, 同理论值相比, 其相对误差小于 $1/(2 \times 10^4)$, 供精确计算用。例如 1.60 的计算值为 1.584 9。

(3) 优先数的常用值

即通常所称的优先数, 取三位有效数字进行圆整后规定的数值, 是经常使用的, 见表 1.1 所示。

(4) 优先数的化整值

化整值是对基本系列中的常用数值作进一步圆整后所得的值, 一般取两位有效数字, 供特殊情况用。例如 1.12 的化整值为 1.1, 6.3 的化整值为 6.0 等等。

3. 优先数系的应用

(1) 在一切标准化领域中应尽可能采用优先数系

优先数系不仅应用于标准的制订, 且在技术改造设计、工艺、实验、老产品整顿简化等诸多方面都应加以推广, 尤其在新产品设计中, 要遵循优先数系。即使现有的旧标准、旧图样和旧产品, 也应结合标准的修订或技术整顿, 逐步地向优先数系过渡。此外, 还应注意, 优先数系不仅用于产品设计, 也用于零部件设计, 在积木式组合设计和相似设计中, 更应使用优先数系; 另外有些优先数系, 例如 R5 系列, 还可用于简单的优选法。

(2) 区别对待各个参数采用优先数系的要求

基本参数、重要参数及在数值传播上最原始或涉及面最广的参数, 应尽可能采用优先数。对其他各种参数, 除非由于运算上的原因或其他特殊原因, 不能为优先数 (例如两个

优先数的和或差不再为优先数)以外,原则上都宜于采用优先数。

对于有函数关系的参数,如 $y=f(x)$, 自变量 x 参数系列应尽可能采用优先数系的基本系列。若函数关系为组合特性的多项式, 因变量 y 一般不再为优先数, 当条件允许时, 可圆整为与它最接近的优先数。当待定参数互为自变量时, 尤其当函数式为组合特性的多项式时, 应注意仔细分析选取哪些参数为自变量更符合技术经济利益。一般而言, 当各种尺寸参数有矛盾, 不能都为优先数时, 应优先使互换性尺寸或连接尺寸为优先数; 当尺寸参数与性能参数有矛盾, 不能都为优先数时, 宜优先使尺寸参数为优先数。这样便于配套维修, 使材料、半成品和工具等简化统一。

(3)按“先疏后密”的顺序选用优先数系

对自变量参数尽可能选用单一的基本系列, 选择的优先顺序是: R5、R10、R20、R40。只有在基本系列不能满足要求时, 才采用公比不同, 由几段组成的复合系列; 如果基本系列中没有合适的公比, 也可用派生系列, 并尽可能选用包含有项值 1 的派生系列。对于复合系列和派生系列, 也应按先疏后密的顺序选用。

1.3 检测技术的发展

为了实现互换性生产, 检测(检验和测量)技术是保证机械零、部件精度的重要手段, 也是贯彻执行几何量公差标准的技术保证。检测技术的水平在一定程度上反映了机械加工精度水平。从机械发展历史来看, 几何量检测技术发展是和机械加工精度的提高相互依存, 相互促进的。根据国际计量大会的统计, 机械零件加工精度大约每十年提高一个数量级, 这都是由于检测技术不断发展的缘故。例如, 1940 年由于有了机械式比较仪, 使机械加工精度水平从过去的 $3\ \mu\text{m}$ 提高到 $1.5\ \mu\text{m}$; 到了 1950 年, 有了光学比较仪, 使加工精度提高到 $0.2\ \mu\text{m}$; 到了 1960 年, 有了圆度仪, 使加工精度提高到 $0.1\ \mu\text{m}$; 到了 1969 年, 由于出现了激光干涉仪, 使加工精度提高到 $0.01\ \mu\text{m}$ 水平。

解放前, 我国是半封建半殖民地经济, 生产落后, 科学技术未能得到发展, 检测技术和计量器具都处于落后状态。解放后, 随着社会主义建设事业不断发展, 建起了各种机械制造工业。1955 年成立了国家计量局, 1959 年国务院发布了《关于计量制度的命令》, 统一了全国计量制度, 以后还颁布了多个几何量公差标准。1977 年国务院发布了《中华人民共和国计量管理条例》, 1984 年国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》, 1985 年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国计量法》, 使我国国家计量单位的统一有了更好的保证, 使全国量值更加准确可靠, 从而促进了我国社会主义现代化建设和科学技术的发展。

随着现代化工业生产的发展, 在建立和加强计量制度的同时, 我国的检测仪器也有了较大的发展, 现在已拥有一批骨干检测仪器制造厂, 生产了许多品种的精密仪器, 如万能工具显微镜、万能渐开线检查仪、半自动齿距检查仪等。此外, 还研制出一些达到世界先进水平的量仪, 如坐标测量机、激光光电比较仪、光栅式齿轮整体误差测量仪等。目前机械加工精度已达到纳米级, 而相应的检测技术也已向纳米级不断地发展。

1.4 本课程的特点和任务

一、本课程的特点和学习方法

本课程是高等工科院校机械类和近机类各专业的一门重要的技术基础课,是联系设计课程和工艺课程的纽带,是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。机械精度设计是本课程的基本内容,它和标准化关系十分密切;检测基础属于计量学的范畴。前者内容主要通过课堂教学和课外作业来完成,后者内容主要通过实验课来完成。

因为本课程术语定义多,符号、代号多,标准规定多,经验解法多,所以,刚学完系统性较强的理论基础课的学生,往往感到概念难记,内容繁多。而且,从标准规定上看,原则性强;从工程应用上看,灵活性大,这对初学者来说,较难掌握。但是,正像任何东西都离不开主体,任何事物都有它的主要矛盾一样,本课程尽管概念很多,涉及面广,但各部分都是围绕着保证互换性为主的精度设计问题,介绍各种典型零件几何精度的概念,分析各种零件几何精度的设计方法,论述各种零件的检测规定等。所以,在学习中应注意及时总结归纳,找出它们之间的关系和联系。学生要认真按时完成作业,认真做实验和写实验报告,实验课是本课程验证基本知识、训练基本技能、理论联系实际的重要环节。

二、本课程的任务

学生在学习本课程时,应具有一定的理论知识和生产实践知识,即能读图、制图,了解机械加工的一般知识和常用机构的原理。学生在学完本课程后应达到下列要求:

- ① 掌握标准化、互换性的基本概念及与精度设计有关的基本术语和定义。
- ② 基本掌握本课程中机械精度设计标准的主要内容、特点和应用原则。
- ③ 初步学会根据机器或仪器零件的使用要求,正确设计几何量公差并正确地标注在图样上。
- ④ 熟悉各种典型的几何量检测方法和初步学会使用常用的计量器具。

总之,本课程的任务是使学生获得机械工程师必须掌握的机械精度设计和检测方面的基本知识和基本技能。此外,在后续课程,例如机械零件设计、工艺设计、毕业设计中,学生都应正确、完整地把本课程中学到的知识应用到工程实际中去。

习 题 一

一、思考题

1. 什么叫互换性?它在机械制造中有何作用?是否互换性只适用于大批量生产?
2. 生产中常用的互换性有几种?采用不完全互换的条件和意义是什么?
3. 何谓标准化?它和互换性有何关系?标准应如何分类?
4. 试举例说明互换性在日常生活应用实例(举5例)。