

# 几何量公差与检测

(第二版)

甘永立 主编

上海科学技术出版社

## 内 容 提 要

《几何量公差与检测》课程即《互换性与测量技术基础》课程。本书系按照机械工业部部属高等院校《几何量公差与检测》课程协作组 1982 年 9 月制订的教学大纲并加以充实而编写的教材。

本书遵循“打好基础、精选内容、逐步更新,利于教学”的教材编写原则,采用我国新的公差标准,力求按教学规律阐述本门学科的基本知识,便于自学。

本书共分绪论、几何量测量基础、孔轴公差配合与检测、形状和位置公差与检测、表面粗糙度及其检测、光滑极限量规与综合量规、滚动轴承的公差与配合、圆锥公差与检测、键和花键的公差与检测、圆柱螺纹公差与检测、圆柱齿轮公差与检测、尺寸链等十二章,供 50 学时讲课用,概念阐述清楚,内容安排紧凑,难点分析细腻,重点加强应用,以减速器主要零件各项公差的确定贯穿全书始终。各章均酌量配置了习题和解题所需的公差表格,以配合教学的需要。

本书供高等院校机械类各专业及职工大学同类专业师生在教学中使用,也可供从事机械设计、机械制造、标准化、计量测试等工作的工程技术人员参考。

### 几何量公差与检测

(第二版)

甘永立 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

本书由上海发行所发行 常熟兴隆印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 185,000

1985年6月第1版

1989年4月第2版 1989年4月第5次印刷

印数 57,701—74,300

ISBN 7-5323-1258-5/TG·43(课)

定价: 3.45 元

# 前 言

《几何量公差与检测》课程即《互换性与测量技术基础》课程，是机械类各专业的一门重要的技术基础课。

本书是机械工业部部属高等院校《几何量公差与检测》课程协作组受部教育局（高字1982年第17号文件）的指示，根据1982年9月举行的协作组第二届年会上制订的教学大纲编写的。

本书按50学时精选内容，以满足讲课的需要。采用我国新的公差标准，如公差与配合、形状和位置公差、光滑极限量规、普通螺纹新标准，标准化基本术语、光滑工件尺寸的检验、表面粗糙度、滚动轴承、渐开线圆柱齿轮精度等最新标准。在内容安排和叙述方法上作了更新和改进，如把公差与配合的选择条理化，对形位公差带形状的形成作了概括性的分析，较深入地论述了公差原则，运用几何偏心、运动偏心与啮合线增量的关系来分析齿轮运动精度评定指标的内在联系，较系统地阐明了齿轮副极限侧隙和齿厚极限偏差的计算方法，联系公差原则解尺寸链等。在应用方面作了加强，各章均有应用示例，并以减速器主要零件各项公差的确定贯穿全书始终，为机械零件课程设计打下一定的基础。

考虑到各校已有自编的本课程实验指导书，本书就不重复典型计量器具的原理、结构和使用等内容。

为巩固课堂教学效果，配合教学的需要，本书酌量编写了各章习题和解题所需要的各个公差表格，汇总于本书的附录中。

本书由吉林工业大学甘永立副教授主编，参加编写本书的同志如下：第一章甘永立，第二、八两章太原重型机械学院蔡敦和，第三章哈尔滨科学技术大学郝兰湘、蔡敦和，第四、六两章上海机械学院施云鹤，第五、九两章上海机械学院刘敦，第七章洛阳工学院阎荫棠、蔡敦和，第十、十二两章陕西机械学院赵璋，第十一章陕西机械学院柏永新。

参加本书审稿的有赵卓贤、席宏卓、刘奕德副教授，刘正国、刘婉琴、吕永香、李秀玉、曲国阳、许有芳、陈泽民、陈鸿儒、苏和、忻良昌、余培元、励福娣、诸锡麟、蒋吉荣等同志。

本书在编写过程中得到机械工业部教育局的指导和支持，得到部标准化研究所、洛阳轴承研究所、部属各院校的帮助和支持，在此一并致谢。

由于我们的水平所限，书中难免存在缺点和错误，欢迎广大读者批评指正。

机械工业部部属高等院校《几何量公差与检测》课程协作组

一九八五年四月

## 第二版前言

《几何量公差与检测》课程即《互换性与测量技术基础》课程，是机械类各专业的一门重要的技术基础课。

根据机械工业部教育局(高字1982年第17号文件)的指示，1985年出版了《几何量公差与检测》基本教材。之后，根据机械工业部教育局(教学便字1987年第0005号文件)和国家机械工业委员会教育局(教高便字1987年第050号文件)的指示，分别于1987年出版《几何量公差与检测习题试题集》和1989年出版《几何量公差与检测实验指导书》两本辅助教材。

经过四年来教学的实践和本学科的发展，我协作组决定再版《几何量公差与检测》基本教材，编写本书，以满足教学的需要。本书对第一版教材的内容作了适当的调整和更新，对其编排也作了改进，便于自学。

本书采用我国新的公差标准。在第一版的基础上，采用了《位置量规》、《矩形花键》、《渐开线圆柱齿轮精度》和《尺寸链计算方法》等新国标。在编写上有某些特色，如把公差与配合的选择条理化，对形位公差带形状的形成作了概括性的分析，较深入地论述了公差原则及其选择，较细致地阐述了综合量规的设计与计算，深入浅出地分析了几何偏心和运动偏心等因素对齿轮精度的影响，较系统地阐明了齿轮副极限侧隙和齿厚极限偏差的计算方法，联系公差原则解尺寸链等。此外，各章均有应用示例，并以减速器的齿轮轴、输出轴、齿轮、箱体、轴承盖等主要零件各项公差的确定贯穿全书始终。这就为机械零件课程设计打下一定的基础。

考虑到业已出版本课程的实验指导书，本书就不重复典型计量器具的原理、结构和使用等内容。

为巩固课堂教学效果，配合教学的需要，本书酌量编写了各章习题(一部分习题附有答案)和解题所需要的各个公差表格，汇总于本书的附录中。

本书由吉林工业大学甘永立主编。参加编写本书的同志如下：第一章甘永立，第二、八两章中国计量学院蔡敦和，第三章哈尔滨科学技术大学郝兰湘，第四、五两章上海机械学院施云鹤，第六、九两章甘永立、上海机械学院刘敦，第七章洛阳工学院阎荫棠，第十、十二两章西安石油学院赵璋，第十一章陕西机械学院柏永新。

参加本书审稿的有刘奕德、徐步垣、于春泾、方康华、丛庭有、金泳业、吕帆、陈泽民、丁裕栋、马炫、方亚彬、吕永香、吕林森、刘中生、刘世华、刘芳辉、刘喜凤、苏和、励福娣、武充沛、金嘉琦、骆光贤、魏大镛等同志。

本书在编写过程中得到国家机械工业委员会教育局的指导和支持，得到委标准化研究所和委属各院校的帮助和支持，谨在此一并致谢。

由于我们的水平所限，书中难免存在缺点和错误，欢迎广大读者批评指正。

机械电子工业部部属高等院校  
《几何量公差与检测》课程协作组

一九八九年二月

# 目 录

## 第一章 绪 论

§ 1 互换性与公差	1
一、互换性与公差的概念和作用	1
二、互换性的种类	2
§ 2 标准化与优先数系	3
一、标准化	3
二、优先数系	4
§ 3 几何量检测	5
§ 4 本课程的任务	6

## 第二章 几何量测量基础

§ 1 概述	7
§ 2 长度单位和量值传递	7
一、长度单位和长度基准	7
二、量值传递系统	8
三、量块	9
§ 3 计量器具和测量方法	10
一、计量器具的分类	10
二、计量器具的基本计量参数	11
三、测量方法的分类	12
§ 4 测量误差与测量准确度	13
一、测量误差的概念	13
二、测量误差的来源	14
三、测量误差的种类和特性	15
四、测量准确度	18
§ 5 测量列中各类测量误差的处理	19
一、测量列中随机误差的处理	19
二、测量列中系统误差的处理	21
三、测量列中粗大误差的处理	22
§ 6 等精度测量列的数据处理	23
一、直接测量列的数据处理	23
二、间接测量列的数据处理	24

## 第三章 孔、轴公差配合与检测

§ 1 基本术语及定义	27
一、有关孔和轴的定义	27
二、有关线性尺寸的定义	27
三、有关偏差、公差及公差带的定义	28
四、有关配合的定义	29
§ 2 常用尺寸的孔、轴公差与配合	33
一、标准公差系列	33
二、基本偏差系列	35
三、公差与配合在图样上的标注	39
四、常用和优先的公差带与配合	39
§ 3 常用尺寸孔、轴公差与配合的选择	43
一、基准制的选择	43
二、公差等级的选择	44
三、配合种类的选择	46
四、未注公差尺寸的极限偏差的确定	52
§ 4 大尺寸的孔、轴公差与配合	52
§ 5 孔、轴尺寸的检测	54
一、孔、轴尺寸的验收极限	54
二、计量器具的选择	55

## 第四章 形状和位置公差与检测

§ 1 概述	57
一、形位公差的研究对象	57
二、形位公差的项目和含义	58
§ 2 形位公差的标注方法	58
一、被测要素的标注方法	58
二、基准要素的标注方法	60
三、形位公差的简化标注方法	61
§ 3 形位公差带	62
一、形位公差带的特性	62
二、形状公差带的特点	63
三、定向公差带的特点	65
四、定位公差带的特点	70

五、跳动公差带的特点	71
§ 4 基准	73
一、基准的含义和作用	73
二、基准的种类	74
三、基准的选择	75
§ 5 公差原则	76
一、有关公差原则的基本概念	76
二、独立原则	79
三、包容原则	80
四、最大实体原则	82
§ 6 形位公差的选择	85
一、形位公差项目的选择	85
二、公差原则的选择	86
三、形位公差值(或公差等级)的选择	87
§ 7 形位误差及其检测	90
一、形位误差的评定	90
二、形位误差的检测原理	92
<b>第五章 表面粗糙度及其检测</b>	
§ 1 表面粗糙度的概念	95
§ 2 表面粗糙度的评定	95
一、取样长度和评定长度	95
二、评定表面粗糙度的基准线	96
三、评定表面粗糙度的参数	96
§ 3 表面粗糙度参数值及其应用	99
§ 4 表面粗糙度代(符)号及其注法	100
§ 5 表面粗糙度的检测	102
<b>第六章 光滑极限量规与综合量规</b>	
§ 1 光滑极限量规	103
一、光滑极限量规的作用和分类	103
二、光滑极限量规的设计原理	104
三、光滑极限量规的公差	105
四、光滑极限量规极限尺寸的计算	106
§ 2 综合量规	108
一、综合量规的作用	108
二、综合量规的设计原理	108
三、综合量规公差和工作部分定形尺寸的确定	111
四、综合量规设计计算示例	115

## 第七章 滚动轴承的公差与配合

§ 1 概述	119
§ 2 滚动轴承公差	120
一、滚动轴承的公差等级及其应用	120
二、滚动轴承内径、外径的公差带	120
§ 3 滚动轴承配合及其选择	121
一、轴颈和外壳孔的公差带	121
二、滚动轴承配合的选择	121
三、轴颈和外壳孔的形位公差与表面粗糙度	123
四、滚动轴承配合选用举例	123

## 第八章 圆锥公差与检测

§ 1 概述	127
一、圆锥配合的特点	127
二、内、外圆锥几何参数	127
三、圆锥配合的种类	128
四、圆锥配合的使用要求	128
§ 2 圆锥几何参数偏差对圆锥互换性的影响	129
一、直径偏差对互换性的影响	129
二、圆锥角偏差对互换性的影响	129
§ 3 圆锥公差及其确定	130
一、圆锥公差	130
二、圆锥公差的确定	131
§ 4 角度与锥度的检测	133
一、角度的检测	133
二、锥度的检测	133

## 第九章 键和花键的公差与检测

§ 1 平键联结的公差与配合	135
§ 2 矩形花键联结的公差与配合	136
一、矩形花键的主要尺寸和定心方法	136
二、矩形花键的尺寸系列、公差和标注	138
§ 3 单键槽和矩形花键的检测	140
一、单键槽的检测	140
二、花键的检测	142

## 第十章 圆柱螺纹公差与检测

§ 1 概述	143
--------	-----



一、普通螺纹和传位移螺纹的使用要求	143
二、普通螺纹的基本牙型	143
三、传位移螺纹的基本牙型	143
§ 2 螺纹几何参数偏差对螺纹互换性的影响	144
一、中径偏差对互换性的影响	144
二、螺距偏差对互换性的影响	144
三、牙型半角偏差对互换性的影响	144
四、保证互换性的条件	146
§ 3 普通螺纹的公差与配合	147
一、螺纹公差带	147
二、螺纹精度等级与旋合长度	149
三、螺纹公差带与配合的选用	149
四、螺纹标记	149
§ 4 机床丝杠和螺母的精度与公差	150
一、丝杠和螺母的精度等级	150
二、丝杠公差	151
三、螺母公差	153
§ 5 螺纹的检测	153
一、综合检验	153
二、单项测量	153

### 第十一章 圆柱齿轮公差与检测

§ 1 概述	155
一、对齿轮传动的使用要求	155
二、齿轮的主要加工误差	155
§ 2 直齿轮的精度指标和侧隙指标及其检测	159
一、传递运动的准确性的评定指标及其检测	159
二、传动平稳性的评定指标及其检测	163
三、载荷分布均匀性的评定指标及其检测	165
四、侧隙的评定指标及其检测	166
§ 3 斜齿轮特有的精度指标	167
§ 4 齿轮副的精度指标和侧隙指标	169

一、齿轮副的切向综合误差 $\Delta F_i'$ 和一齿切向综合误差 $\Delta f_i$	169
二、齿轮副的接触斑点	169
三、齿轮副的侧隙	170
四、齿轮副的中心距偏差 $\Delta i_a$ 、轴线的平行度误差 $\Delta f_x$ 和 $\Delta f_y$	170
§ 5 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	171
一、精度等级及其选择	171
二、公差组的检验组及其选择	173
三、齿坯公差	174
四、齿轮副侧隙的规定	175
五、箱体公差	178
六、图样标注	178
七、应用举例	178

### 第十二章 尺寸链

§ 1 尺寸链的基本概念	185
§ 2 尺寸链的确立与分析	187
一、尺寸链的确立	187
二、尺寸链的分析	188
三、尺寸链计算要解决的问题	190
§ 3 极值法解尺寸链	190
一、基本公式	190
二、设计计算	192
三、验算计算	194
§ 4 统计法解尺寸链	196
一、基本公式	197
二、设计计算	197
三、验算计算	198

### 附 录

一、习题	201
二、公差表格	211
三、术语汉英对照	242
主要参考文献	247

# 第一章 绪 论

## §1 互换性与公差

### 一、互换性与公差的概念和作用

互换性的概念在日常生活中到处都能遇到。例如，灯泡坏了，可以换个新的。自行车、缝纫机、钟表的零部件坏了，也可以换个新的。其所以这样方便，是因为这些合格的产品和零部件具有在尺寸、功能上能够彼此互相替换的性能。

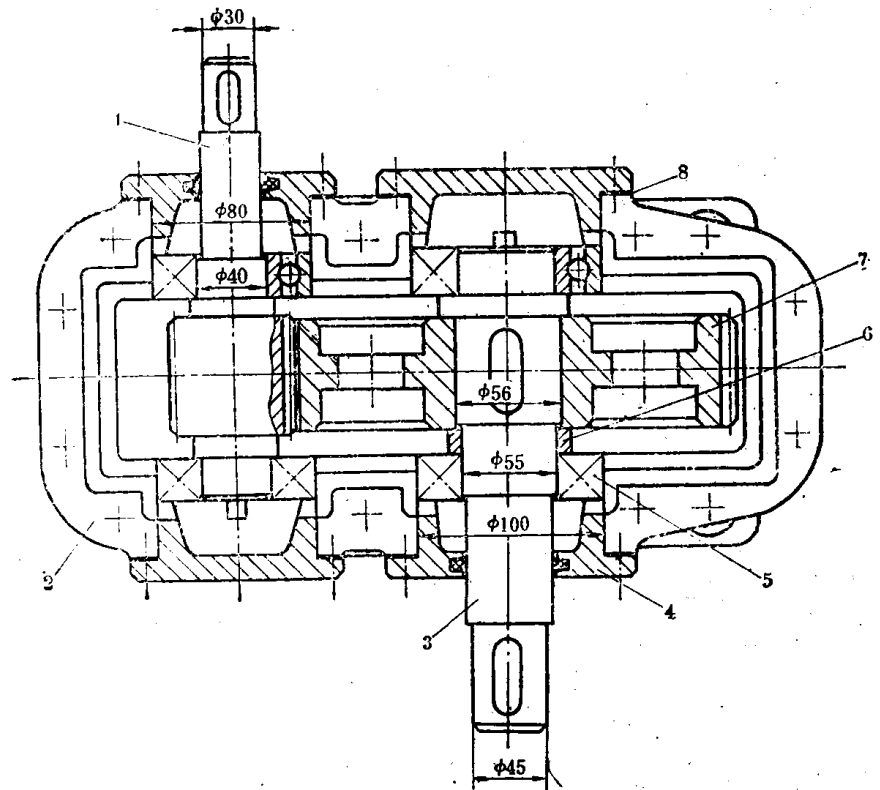


图 1-1 圆柱齿轮减速器

机械工业生产中，经常要求产品的零部件具有互换性。什么叫机械产品零部件的互换性呢？参看图 1-1 所示的圆柱齿轮减速器，它由齿轮轴 1、箱体 2、输出轴 3、轴承盖 4、滚动轴承 5、轴套 6、齿轮 7、垫片 8 和螺钉、键等许多零部件组成，而这些零部件是分别由不同的工厂和车间制成的。装配减速器时，在制成的同一规格零部件中任取一件，若不需经过任何挑选或修配，便能与其他零部件安装在一起而成一台减速器，并且能够达到规定的功能要求，则说这样的零部件具有互换性。零部件的互换性就是同一规格零部件按规定的技术要求制造能够彼此相互替换使用而效果相同的性能。

加工零件的过程中，由于种种因素的影响，零件各部分的尺寸、形状、方向和位置以及表



面粗糙度等几何量难以达到理想状态,总是有或大或小的误差。但从零件的功能看,不要求零件几何量制造得绝对准确,只要求零件几何量在某一规定范围内变动,保证同一规格零件彼此充分近似。这个允许变动的范围叫做公差。

设计时要规定公差,而加工时会产生误差,因此要使零件具有互换性,就应把完工零件的误差控制在规定的公差范围内。设计者的任务就在于正确地确定公差,并把它在图样上明确表示出来。这就是说,互换性要用公差来保证。显然,在满足功能要求的前提下,公差应尽量规定得大些,以获得最佳的技术经济效益。

零部件的互换性应包括几何量、机械性能和理化性能等方面的互换性。本课程仅讨论几何量的互换性及与之联系的几何量公差和检测。

互换性在机器制造业中有什么作用?

在设计方面,零部件具有互换性,就可以最大限度地采用标准件、通用件和标准部件,大大简化绘图和计算等工作,缩短设计周期,有利于计算机辅助设计和产品品种的多样化。

在制造方面,互换性有利于组织专业化生产,有利于采用先进工艺和高效率的专用设备,以至采用计算机辅助制造,有利于实现加工过程和装配过程机械化、自动化,从而提高劳动生产率,提高产品质量,降低生产成本。

在使用和维修方面,零部件具有互换性,可以及时更换那些已经磨损或损坏了的零部件(如减速器中的滚动轴承),因此可以减少机器的维修时间和费用,保证机器能连续而持久地运转,从而提高机器的使用价值。

总之,互换性在提高产品质量和可靠性、提高经济效益等方面均具有重大的意义。互换性原则已成为现代机器制造业中一个普遍遵守的原则。互换性生产对我国四个现代化的建设具有十分重要的意义。但是,应当指出,互换性原则不是在任何情况都适用。有时,只有采取单个配制才符合经济原则,这时零件就不能互换,尽管如此,也存在公差与检测的要求。

## 二、互换性的种类

在不同的场合,零部件互换的形式和程度有所不同。因此,互换性可分为完全互换性和不完全互换性两类。

完全互换性简称互换性,完全互换性以零部件装配或更换时不需要挑选或修配为条件。例如,对一批孔和轴装配后的间隙要求控制在某一范围内,据此规定了孔和轴的尺寸允许变动范围。孔和轴加工后只要符合设计的规定,则它们就具有完全互换性。

不完全互换性也称为有限互换性,在零部件装配时允许有附加的选择或调整。不完全互换性可以用分组装配法、调整法或其他方法来实现。

分组装配法是这样一种措施:当机器上某些部位的装配精度要求很高时,例如孔与轴间的间隙装配精度要求很高,即间隙变动量要求很小时,若要求孔和轴具有完全互换性,则孔和轴的尺寸公差就要求很小,这将导致加工困难。这时,可以把孔和轴的尺寸公差适当放大,以便于加工。将制成的孔和轴按实际尺寸的大小各分成若干组,使每组内零件的尺寸差别比较小。然后,把对应组的孔和轴进行装配,即大尺寸组的孔与大尺寸组的轴装配,小尺寸组的孔与小尺寸组的轴装配,从而达到装配精度要求。采用分组装配时,对应组内的零件可以互换,而非对应组之间则不能互换,因此零件的互换范围是有限的。

调整法也是一种保证装配精度的措施。调整法的特点是在机器装配或使用过程中,对某一特定零件按所需要的尺寸进行调整,以达到装配精度要求。例如,图 1-1 所示减速器中

轴承盖上垫片的厚度在装配时作调整,使轴承的一端与轴承盖的底端之间预留适当的轴向间隙,以补偿温度变化时轴的微量伸长,避免轴在工作时弯曲。

一般说来,对于厂际协作,应采用完全互换性。至于厂内生产的零部件的装配,可以采用不完全互换性。

## §2 标准化与优先数系

### 一、标准化

现代工业生产的特点是规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高。为了适应生产中各部门的协调和各生产环节的衔接,必须有一种手段,使分散的、局部的生产部门和生产环节保持必要的技术统一,成为一个有机的整体,以实现互换性生产。标准与标准化正是联系这种关系的主要途径和手段,是互换性生产的基础。

所谓标准是指对需要协调统一的重复性事物(如产品、零部件)和概念(如术语、规则、方法、代号、量值)所做的统一规定。它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布。

所谓标准化是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制定、发布和实施标准,达到统一,以获得最佳秩序和社会效益。标准化包括制定标准和贯彻标准的全部活动过程。这个过程是从探索标准化对象开始,经调查、实验和分析,进而起草、制定和贯彻标准,而后修订标准。因此,标准化是个不断循环而又不断提高其水平的过程。

我国按标准的使用范围来制定标准。对需要在全国范围内统一的技术要求,应当制定国家标准。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要求,可以制定行业标准;但在公布相应的国家标准之后,该项行业标准即行废止。对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生要求,可以制定地方标准,但在公布相应的国家标准或者行业标准之后,该项地方标准即行废止。企业生产的产品没有国家标准和行业标准的,应当制定企业标准,作为组织生产的依据;已有国家标准或者行业标准的,企业还可以制定严于国家标准或者行业标准的企业标准,在企业内部使用。

按照标准化对象的特性,标准分为基础标准、产品标准、方法标准、安全标准、卫生标准、环境保护标准等。基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础并普遍使用,具有广泛指导意义的标准,如公差与配合标准、形状和位置公差标准、渐开线圆柱齿轮精度标准等。

有了标准,并且标准得到正确地贯彻实施,就可以保证产品质量,缩短生产周期,便于开发新产品和协作配套,提高国民经济计划性和企业管理水平。而标准化是组织现代化大生产的重要手段,是联系设计、生产和使用等方面的纽带,是科学管理的重要组成部分。

标准化不是当今才有的,早在人类开始创造工具时代就已出现。它是社会生产劳动的产物。在近代工业兴起和发展的过程中,标准化日益显得重要起来。在十九世纪,标准化的应用就十分广泛,尤其在国防、造船、铁路运输等行业中的应用更为突出。二十世纪初,一些资本主义国家相继成立全国性的标准化组织机构,推进了本国的标准化事业。以后由于生产的发展,国际交流越来越频繁,因而出现了地区性和国际性的标准化组织。1926年成立了国际标准化协会(简称ISA)。第二次世界大战后,1947年重建国际标准化协会,改名为国际标准化组织(简称ISO)。现在,这个世界上最大的标准化组织已成为联合国甲级咨询

机构。

我国标准化工作在解放后得到重视。从1958年发布第一批120个国家标准起,至今已制定一万多个国家标准。我国在1978年恢复为ISO成员国,1982年、1985年连续两届当选为ISO理事国,已开始承担ISO技术委员会秘书处工作和国际标准草案起草工作。我国在公差标准方面,从1959年开始,陆续制定了公差与配合、形状和位置公差、公差原则、表面粗糙度、光滑工件尺寸的检验、光滑极限量规、位置量规、平键、矩形花键、普通螺纹、渐开线圆柱齿轮精度、尺寸链计算方法等许多公差标准。随着经济建设发展的需要,有关部门本着立足于我国国情,对国际标准进行认真研究,积极采用,区别对待,组织大批力量对原有公差标准进行修订,以国际标准为基础制定新的公差标准。1988年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国标准化法》,以适应发展社会主义商品经济促进技术进步、改进产品质量、提高社会经济效益、维护国家和人民的利益,使标准化工作适应社会主义现代化建设和发展对外经济关系的需要。可以预计,在我国四个现代化建设过程中,我国标准化的水平和公差标准的水平将大大提高,对国民经济的发展必将作出更大的贡献。

## 二、优先数系

在设计机械产品和制定标准时,常常和很多数字打交道。当选定一个数值作为某种产品的参数指标时,这个数值就会按照一定的规律,向一切有关的制品和材料中有关指标传播。例如,需要设计减速器箱体上的螺孔,当螺孔的直径(螺纹尺寸)一旦确定,则与之相配合的螺钉尺寸、加工用的丝锥尺寸、检验用的螺纹塞规尺寸,甚至攻螺纹前的钻孔尺寸和钻头尺寸,也随之而定,且由于上述螺孔直径数值的确定,又使与之相关的垫圈尺寸、轴承盖上通孔的尺寸也随之而定。由于数值如此不断关联,不断传播,常常形成牵一发而动全身的现象,这就牵涉到许多部门和领域。在现代工业生产中,专业化程度高,国民经济各部门要协调和密切配合,因此技术参数的数值是不能随意选择的,而应该在一个理想的、统一的数系中选择。

用统一的数系来协调各部门的生产,把各种技术参数分级,已成为现代工业生产的需要。经过探索和大量实践表明,采用包含项值1的等比数列作为统一的数系的优点很多。其中有两个突出的优点:数列中两相邻数的相对差为常数(相对差是指后项减前项的差值与前项之比的百分数);数列中各数经过乘、除、乘方等各种运算后还是数列中的数。而最能满足工业要求的等比数列是十进等比数列。所谓十进,就是数列的项值中包括:1, 10, 100, ...,  $10^n$ 和  $1, 0.1, 0.01, \dots, 10^{-n}$ 这些数(这里 $n$ 为正整数)。数列中的项值可按十进法向两端无限延伸。因此,十进等比数列是一种较理想的数系,可以用作优先数系。

为了满足我国工业生产的需要,国家标准GB321-80《优先数和优先数系》规定十进等比数列为优先数系,并规定了五个系列。它们分别用系列符号R5、R10、R20、R40和R80表示,称为R<sub>r</sub>系列,公比 $q_r = \sqrt[r]{10}$ 。其中前四个系列是常用的基本系列,而R80则作为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。各系列的公比为:

$$R\ 5\ 的\ 公\ 比:\ q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60;$$

$$R10\ 的\ 公\ 比:\ q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25;$$

$$R20\ 的\ 公\ 比:\ q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12;$$

$$R40\ 的\ 公\ 比:\ q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06;$$

$$R80\ 的\ 公\ 比:\ q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03.$$

R5 中的项值包含在 R10 中, R10 中的项值包含在 R20 中, R20 中的项值包含在 R40 中, R40 中的项值包含在 R80 中。

优先数系的五个系列中任一个项值均称优先数,其理论值为  $(\sqrt[10]{10})^{Nr}$ , 式中  $N_r$  是任意整数。按公比计算得到的优先数的理论值,除 10 的整数幂外,都是无理数,工程技术上不能直接应用。而实际应用的都是经过化整后的近似值,根据取值的精确程度,数值可分为:

1. 计算值: 取五位有效数字,供精确计算用。
2. 常用值: 即通常所称的优先数,取三位有效数字,是经常使用的。
3. 化整值: 是将基本系列中的常用值作进一步化整后所得的值,一般取两位有效数字。

优先数系的基本系列(优先数的常用值)见附表 1-1。

为了使优先数系有更大的适应性,可以从 R<sub>r</sub> 系列中,每逢 p 项选取一个优先数,组成新的系列——派生系列,以符号 R<sub>r</sub>/p 表示,公比  $q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[10]{10})^p = 10^{p/r}$ 。

例如,经常使用的派生系列 R10/3,就是从基本系列 R10 中,自 1 以后,每逢三项取一个优先数组成的,即

$$1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.0, 32, \dots$$

再如,首项为 1 的派生系列 R5/2,就是从基本系列 R5 中,每逢两项取一个优先数组成的,即

$$1.00, 2.50, 6.30, 16.0, 40.0, 100, \dots$$

优先数系的应用很广,它适用于各种尺寸、参数的系列化和质量指标的分级,对保证各种工业产品品种、规格的合理简化分档和协调配套具有重大的意义。选用基本系列时,应遵守先疏后密的规则,即应当按照 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。当基本系列不能满足分级要求时,可选用派生系列。选用时应优先采用公比较大和延伸项含有项值 1 的派生系列。

### §3 几何量检测

制定了先进的公差标准,对机械产品各零部件的几何量分别规定了合理的公差,若不采取适当的检测措施,也不一定能实现零部件的互换性。因此,应按照标准和技术要求进行检测,不合格者不予接收,方能保证零部件的互换性。显然,检测是组织互换性生产必不可少的重要措施。但是,在检测过程中不可避免地会产生或大或小的测量误差,这将导致两种误判:一是把不合格品误认为合格品而给予接收;二是把合格品误认为废品而给予报废。这要从保证产品质量和经济性两方面加以合理解决。

必须指出,检测的目的不仅仅在于判断工件是否合格,还有其积极的一面,这就是根据检测的结果,分析产生废品的原因,以便设法减少废品,进而消除废品。

随着生产和科学技术的发展,对检测的准确度和效率提出越来越高的要求。产品质量的提高,有赖于检测准确度的提高。产品数量的增多,在一定程度上还有赖于检测效率的提高。

几何量检测在我国具有悠久的历史。早在秦朝,我国已统一了度量衡制度。到了西汉,已制成铜质的卡尺。但由于我国历史上长期的封建统治,科学技术未能得到发展,检测技术

和计量器具处于落后的状态,直到解放后才扭转了这种局面。1959年国务院发布了《关于统一计量制度的命令》,正式确定采用国际米制作为我国的长度计量单位。1977年国务院发布了《中华人民共和国计量管理条例》,健全了各级计量机构和长度量值传递系统,保证了全国计量单位的统一,促进了产品质量的提高。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》,在全国范围内统一实行以国际单位制为基础的法定计量单位。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制度更加统一,全国量值更加准确可靠,从而更好地促进我国社会主义现代化建设和科学技术的发展。与此同时,我国的计量器具也有了较大的发展,现在已拥有一批骨干量仪厂,生产了许多品种的量仪,如万能工具显微镜、万能渐开线检查仪、半自动齿轮齿距检查仪等。此外,还研制成一些达到世界先进水平的量仪,如激光光电比长仪、激光丝杠动态检查仪、光栅式齿轮整体误差测量仪、碘稳频612nm激光器、无导轨大长度测量仪等。

## § 4 本课程的任务

本课程是机械类各专业的一门技术基础课,是教学计划中联系设计课程与工艺课程的纽带,是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。本课程由几何量公差与几何量检测两部分组成。前一部分的内容主要通过课堂教学和课外作业来完成。后一部分的内容主要通过实验课来完成。

任何一台机器的设计,除了运动分析、结构设计、强度计算和刚度计算以外,还有精度设计。机器的精度直接影响到机器的工作性能、振动、噪声、寿命和可靠性等。研究机器的精度时,要处理好机器使用要求与制造工艺的矛盾,解决的方法是规定合理的公差,并用检测手段保证其贯彻实施。学习本课程可以使学生熟悉机器零件的几何精度设计,合理确定几何量公差,以保证满足使用要求。

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,即能够读图,懂得图样标注法,了解机械加工的一般知识和熟悉常用机构的原理。学生在学完本课程后应达到下列要求:

- 一、掌握标准化和互换性的基本概念及有关的基本术语和定义;
- 二、基本掌握本课程中几何量公差标准的主要内容、特点和应用原则;
- 三、初步学会根据机器和零件的功能要求,选用几何量公差与配合;
- 四、能够查用本课程介绍的公差表格,正确标注图样;
- 五、熟悉各种典型几何量的检测方法和初步学会使用常用的计量器具。

总之,本课程的任务在于使学生获得机械工程师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。

## 第二章 几何量测量基础

### §1 概 述

在机械制造中,零件加工后,其几何量需要测量或检验,以确定它们是否符合技术要求。

测量是指为确定被测几何量的量值而进行的实验过程,其实质就是将被测几何量  $L$  与作为计量单位的标准量  $E$  进行比较,从而确定两者比值  $q$  的过程。 $q = L/E$ , 也即

$$L = qE \quad (2-1)$$

上式表明,测量后获得的量,用数值附以计量单位表示。计量单位愈小,比值就愈大。但计量单位不是随意选定的,而应取决于被测几何量所要求的测量准确度;测量准确度要求愈高,计量单位就应选得愈小。

任何一个测量过程都包括被测对象、计量单位、测量方法和测量准确度等四个要素。本课程研究的被测对象是几何量,包括长度、角度、表面粗糙度、形状和位置误差以及螺纹、齿轮的各种几何参数等。测量方法是指测量时所采用的方法、计量器具和测量条件的综合。测量准确度是指测量结果中系统误差与随机误差的综合,表示测量结果与真值的一致程度。由于各种因素的作用和影响,任何测量过程都不可避免地会出现测量误差,测量结果与真值间总是存在着差异。测量误差小,测量准确度就高;相反,测量误差大,测量准确度就低。

测量过程可分为等精度测量过程和不等精度测量过程。等精度测量是指在所用的测量方法、计量器具、测量条件和测量人员都不变的条件下,对某一量进行多次重复测量。如果在多次重复的测量过程中上述条件不都恒定,则称为不等精度测量。显然,用这两种不同的测量过程测量同一被测几何量,则产生的测量误差和数据处理方法都将有所不同。

### §2 长度单位和量值传递

#### 一、长度单位和长度基准

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》,决定在采用国际单位制的基础上,进一步统一我国的计量单位,并发布了《中华人民共和国法定计量单位》,其中规定“米”(m)为长度的基本单位,同时使用米的十进倍数和分数的单位,如毫米(mm), $1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$ ;微米( $\mu\text{m}$ ), $1\mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm} = 10^{-6}\text{m}$ ;纳米(nm), $1\text{nm} = 10^{-3}\mu\text{m} = 10^{-9}\text{mm} = 10^{-9}\text{m}$ 等。精密测量中,测量准确度常用微米作单位来表示,超精密测量中则用纳米作单位。

以米作为长度的基本单位的国家,最早是18世纪中叶的法国,当时设想将长度的基本单位建立在自然基准上。1875年国际米制公约规定:通过巴黎的地球子午线的四千万分之一的长度为1米。但由于客观条件的限制,当时未能建立自然基准,而是用耐磨性好、线胀

系数小的铂铱合金制成一种人为的实物基准——基准米尺(也称国际米原器)。

1889年第一届国际计量大会规定米的定义为：1米是在标准大气压和0°C时，国际米原器两端两刻线间的距离。为了保证国际上的互换性，世界各主要工业国按米原器复制了副尺，作为本国的长度基准，并定期与米原器校对。

由于基准米尺金属组织不稳定，易受环境影响，而且保存、运输以及校对都不方便，因此各国便研究采用频率稳定性和复现性都较好的光波波长作为长度基准。1960年第十一届国际计量大会规定米的定义为：“1米等于氪-86 (<sup>86</sup>Kr) 原子在 2p<sub>10</sub> 和 5d<sub>5</sub> 能级间跃迁所辐射的真空波长的 1650763.73 倍的长度”，实现了长度单位建立在自然基准上的设想。

本世纪五十年代后期激光问世以来，由于激光具有方向性好、单色性好和光强大的优点，尤其是激光光谱窄，干涉能力强，频率稳定性和复现性都比氪-86 好，能适应现代精密测量要求。这就为更改米的定义和复现方法提供了理论技术基础。1983年第十七届国际计量大会决议规定米的定义为：“1米是光在真空中在 1/299792458 秒的时间间隔内所行进的路程的长度”。米定义的复现主要采用稳频激光。我国已正式使用碘吸收稳定的 0.633μm 氦氖激光辐射作为我国的波长标准。

### 二、量值传递系统

用光波波长作为长度基准，不便于生产中直接应用。为了保证量值统一，必须把长度基准的量值准确地传递到生产中应用的计量器具和工件上去。为此，需要在全国范围内从组

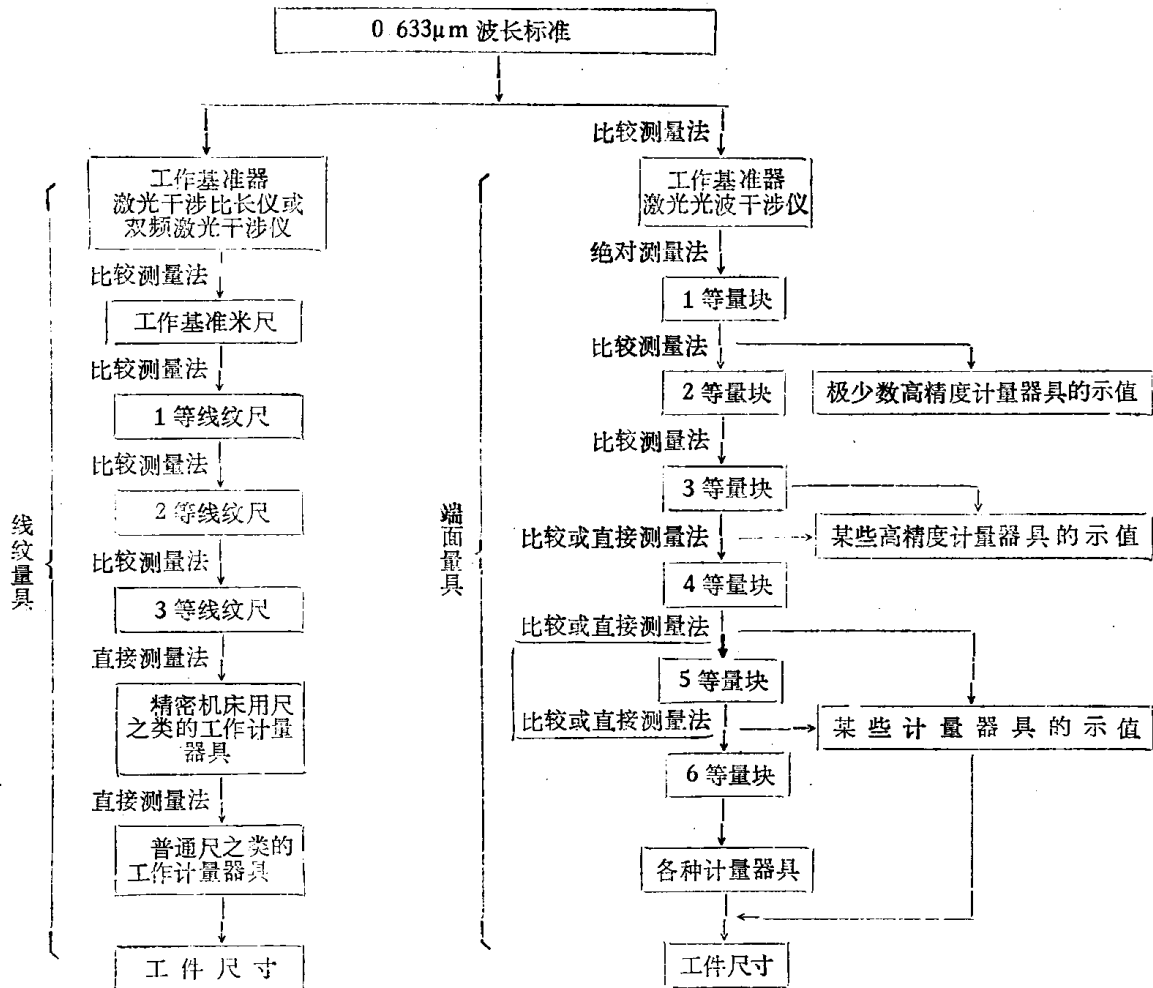


图 2-1 长度量值传递系统



织上和技术上建立一套严密而完整的系统，即长度量值传递系统。

在组织上，从国务院到地方，建立起各级计量管理机构，负责其管辖范围内的计量工作和量值传递工作。

在技术上，从我国的国家波长标准—— $0.633\mu\text{m}$  的激光辐射谱线开始，长度量值分两个平行的系统向下传递(图2-1)。一个是端面量具(量块)系统，另一个是刻线量具(线纹尺)系统。因此，量块和线纹尺都是量值传递的媒介，其中尤以量块的应用更广。

### 三、量块

量块是没有刻度的截面为矩形的平面平行端面量具，用特殊合金钢制成，其线胀系数小，不易变形，且耐磨性好。

量块上有两个平行的测量面和四个非测量面，测量面极为光滑、平整。两个测量面间具有精确尺寸。如图2-2所示，量块一个测量面上任意一点与此量块另一测量面相研合的辅助体表面之间的垂直距离称为量块长度  $L_i$ ，量块一个测量面上中心点与此量块另一测量面相研合的辅助体表面之间的垂直距离称为量块中心长度  $L$ 。量块上标出的尺寸称为量块标称长度。

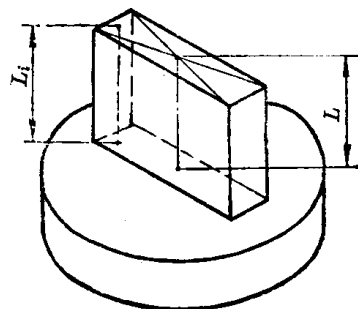


图 2-2 量块长度  $L_i$  和中心长度  $L$

为满足生产的不同要求，对量块的精度制定了有关标准：

国家标准 GB6093-85《量块》对量块的制造精度规定了 00、0、1、2、(3) 级共五级，其中 00 级最高，精度依次降低，(3) 级最低，此外还规定了一个校准级即 K 级，在使用时，它具有与 00 级相当的精度；国家计量局标准 JJG100-81《量块检定规程》对量块的检定精度分为 1、2、3、4、5、6 等共六等，其中 1 等最高，精度依次降低，6 等最低。

量块分“级”的主要依据是：量块长度的极限偏差和长度变动量允许值(见附表 2-1)。量块分“等”的主要依据是：中心长度测量的极限误差和平面平行性允许偏差(见附表 2-2)。

量块按“级”使用时，应以量块的标称长度作为工作尺寸，该尺寸内包含了量块的制造误差。但使用校准级 K 级量块时，应对标称长度给予修正。假如标称长度为 30mm 的 K 级量块，实际偏差为  $-0.0003\text{mm}$ ，则该量块的工作尺寸为 29.9997mm。按“等”使用时，应以量块经检定后所给出的实测中心长度作为工作尺寸，该尺寸排除了量块制造误差的影响，但包含检定时较小的测量误差。因此在精密测量时，量块按“等”使用要比按“级”使用更准确。

不同“等”、“级”的量块有不同数值的精度指标，因此不是任意“级”别的量块都可以检定

表 2-1 91 块一套的量块组成

尺寸范围 (mm)	间隔 (mm)	小计 (块)
1.01~1.49	0.01	49
1.5~1.9	0.1	5
2.0~9.5	0.5	16
10~100	10	10
1.001~1.009	0.001	9
1	—	1
0.5	—	1

为高“等”别的量块,而是一定“等”的量块只能从一定“级”的量块中检定出来。

量块的测量面因极为光滑平整,而具有可研合的特性。利用这种特性,可以在一定的尺寸范围内,将不同尺寸的量块组合成所需要的各种尺寸。根据 GB3093-85《量块》规定,成套生产的量块有 91 块、83 块、46 块和 38 块等几种规格。表 2-1 列出了 91 块一套量块的标称尺寸。

组合量块时,为减少量块组合的累积误差,应力求使用最少的块数,一般不超过 4 块。因此可从消去尺寸的最小尾数开始,逐一选取。例如从 91 块中选取 36.378mm 的量块组(图 2-3)的过程如下:

量块组合尺寸	36.378mm
第一块	1.008mm
剩下尺寸	35.37mm
第二块	1.37mm
剩下尺寸	34mm
第三块	4mm
剩下尺寸	30mm
第四块	30mm

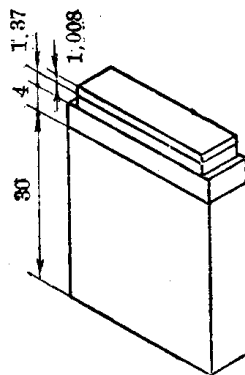


图 2-3 量块尺寸

量块的用途很广,它除了作为长度基准的传递媒介以外,也可以用来检定、校对和调整计量器具,有时还用于测量工件、精密划线以及精密调整机床。

### § 3 计量器具和测量方法

#### 一、计量器具的分类

计量器具可以从不同角度进行分类。

##### 1. 按用途分类

(1) **标准计量器具** 指测量时体现标准量的计量器具,通常用来校对和调整其他计量器具,或作为标准量与被测几何量进行比较。标准计量器具中,凡只体现某一固定量值的称为定值标准计量器具,如基准米尺、量块、直角尺等;凡能体现某一范围内多种量值的称为变值标准计量器具,如线纹尺、多面棱体等。

(2) **通用计量器具** 指通用性较大,可用来测量某一范围内的各种尺寸(或其他几何量)并能获得具体读数值值的计量器具,如游标卡尺、指示表、测长仪、工具显微镜、三坐标测量机等。

(3) **专用计量器具** 指专门用来测量某个或某种特定几何量的计量器具。如圆度仪、丝杠检查仪、齿距(周节)检查仪、量规以及检验夹具等。

量规是一种没有刻度的专用计量器具,如光滑极限量规用来检验光滑圆柱工件(孔或轴),综合量规用来检验工件的实际尺寸和形位误差的综合结果等。

检验夹具是一种可将工件定位,能够检测较多或较复杂几何量的夹具型式的计量器具,如检验滚动轴承零件(内圈、外圈、滚动体等)的各种专用检验夹具。使用检验夹具,可使检测方便,有助于实现检测自动化或半自动化,从而提高检测效率。