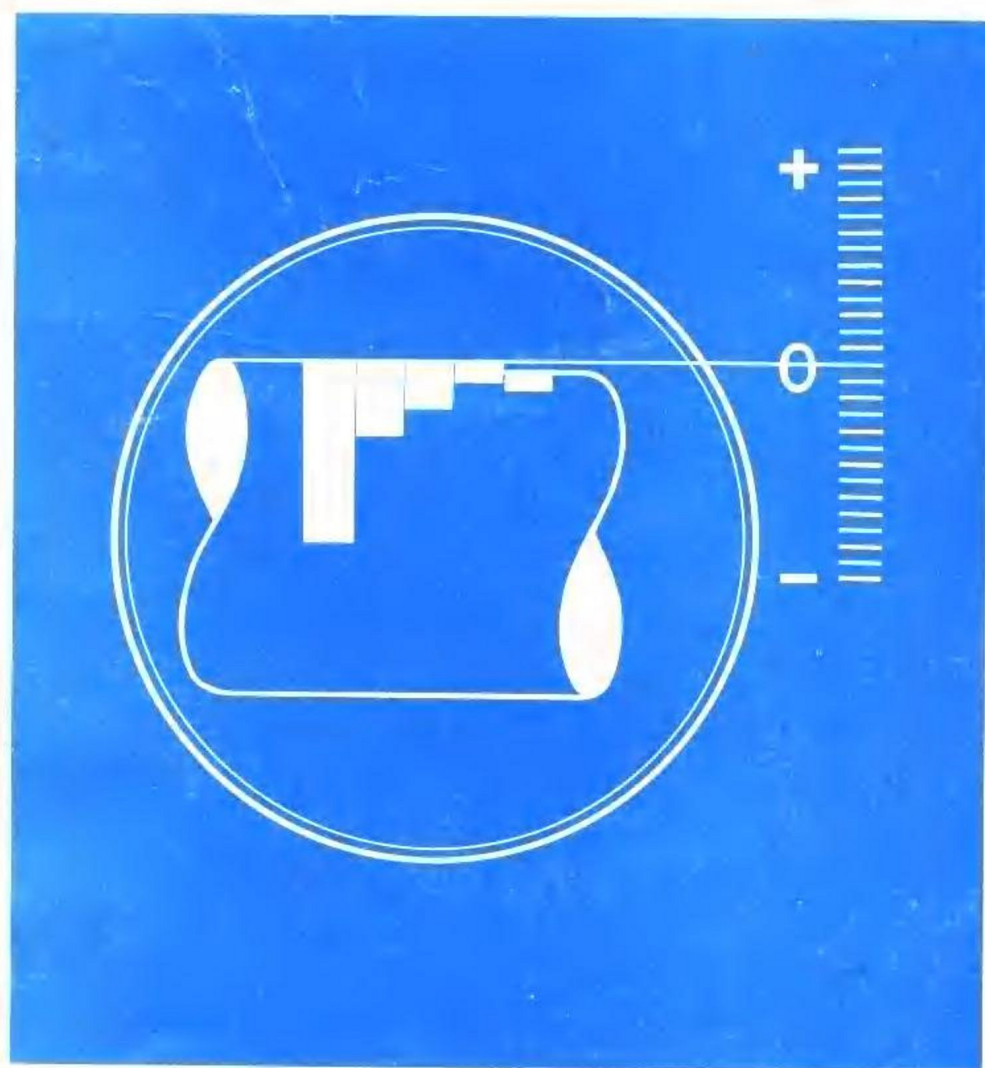


互换性与测量技术

何 贡 主编



天津科学技术出版社

内 容 提 要

本书为大专院校教材，也可供机械制造及仪器仪表业的设计、工艺和检测工程技术人员参考。全书共分绪论、几何量的加工误差与公差、零件几何精度的设计基础、圆柱齿轮传动公差、尺寸链、测量技术基础、几何量测量（实验指导）、花键、圆锥、螺纹等结合的公差与配合等八章。以几何量的精度设计与检测为主线，改变了以国家标准为单元的原教学体系。

为了适合当前教学的实际需要，全书力图削枝强干，少而精，加强基础知识和基本技能的训练，以求对教学改革作有益的尝试。

互 换 性 与 测 量 技 术

主编 何 贡

编者 （按姓氏笔划为序）

孔德音 王斌蔚 古连华

毕连君 李敬杰 何 贡

杨德才 顾励生

主审 花国梁

责任编辑 王定一

*

天津科学技术出版社出版、发行

天津市赤峰道130号

河北工学院印刷厂印刷

*

开本787×1092毫米 1/16 印张15.25 号数372 000

1990年9月第1版

1990年9月第1次印刷

印数：1—5 000

ISBN 7-5308-0882-6/G·220 定价：5.60元

前 言

40年来，本课程的教材版本已近40种，百花齐放，各具特色，但体系大都是40年一贯制的苏联体系。近10年来，随着各项国家标准的更新和制订，课程内容受宣贯标准的影响很深，按标准安排章次，教学内容受制于标准，这是大家所公认的。

这样一来，就容易出现以下缺陷：教材内容多有宣贯标准的摘取和浓缩，致使篇幅庞杂，主次欠清晰；内容多而学时少的矛盾突出；

“学以致用”的原则受到一定影响，学生精度设计的初步能力和测量操作技能的培养难以有效地加强；实验课中注入式的教学方法和忽视测量精度的偏向长期未得改进等等。所以对课程体系及内容进行改革，实为当务之急。很多同志在这方面作了许多工作，这些也是大家所公认的。

这本教材力图对克服以上弊端作些初步尝试。全书共分八章，改变了以国家标准为单元的教学体系。第一章为绪论，第二章集中介绍几何量的加工误差与公差的基本知识，并结合“公差与配合”、“形位公差”及“表面粗糙度”等基础标准的主要内容进行阐述，使学生能建立较完整的概念。这样做可能比较符合认识规律。

第三章介绍零件几何精度设计的基础内容，即尺寸公差与配合、形位公差及表面粗糙度的选用，还包括有关的公差原则及滚动轴承等内容。本章举了一些实例，安排了综合作业，以加强学生精度设计的初步锻炼。这样集中综合安排，符合设计工作的实际情况。这三方面的内容，约占实际设计的零件图纸上精度标注的90%以上，是精度设计的基础，也是学生举一反三的基础。

至于典型零件的公差与配合及检测，我们只将内容较复杂、难度较大的圆柱齿轮列为第四章。其他如螺纹、圆锥、花键等都在第八章中作简要介绍。第八章可不在课堂讲授，学生在掌握前面各章内容之后，自学第八章不会有困难。

第五章是从精度设计的角度，介绍尺寸链最基本的概念。

第六章和第七章是为测量技术服务的。第七章“几何量测量”可作实验指导书的基本内容，它包括了本课程教学指导小组推荐应确保的基本实验。本章未列出具体的实验步骤，主要是希望学生能独立思考地进行阅读和实验操作，当然指导教师要加强启发和引导。实验数据的处理，可利用微机，程序可由学生自编，也可利用现有资料，本书限于篇幅，未予罗列。

本书力求削枝强干，少而精。又限于学时数，篇幅不能过大。故对一些不很成熟和发展中的内容，除必要者外，书中未作更多的介绍。

本书由天津大学、天津轻工业学院及河北工学院等院校的教师合编而成。具体分工如下：第一章（何贡）、第二章（何贡、孔德音、杨德才）、第三章（顾励生、毕连君、杨德才）第四章（古连华）第五章（孔德音）、第六章（王棫蔚），第七章（毕连君、顾励生、王棫蔚）、第八章（李敬杰）。全书由河北工学院何贡同志主编统稿，并请清华大学花国梁同志担任主审。孔德音同志为本书的出版作了许多工作。

由于我们水平有限，谬误之处在所难免，希望大家批评指正。

编者

1990年元月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 机械产品的几何精度要求.....	(1)
第二节 影响机械产品质量的几何量误差.....	(1)
第三节 机械零件与产品的互换性.....	(2)
第四节 标准化与优先数系.....	(3)
第五节 几何量检测及其技术发展概况.....	(5)
第六节 本课程的特点.....	(7)
第二章 几何量的加工误差与公差	(8)
第一节 误差的基本概念.....	(8)
第二节 尺寸误差与公差.....	(9)
第三节 结合件的配合.....	(15)
第四节 《公差与配合》国家标准的主要内容.....	(18)
第五节 形状误差与公差.....	(31)
第六节 位置误差与公差.....	(38)
第七节 表面粗糙度.....	(48)
第三章 零件几何精度的设计基础	(55)
第一节 概述.....	(55)
第二节 尺寸公差与配合的选择.....	(56)
第三节 形位公差的选择.....	(64)
第四节 表面粗糙度的选用.....	(77)
第五节 与滚动轴承相配零件的几何精度.....	(77)
第六节 检验零件用的量规.....	(87)
第七节 典型结构的几何精度设计示例.....	(94)
第四章 圆柱齿轮传动公差及其应用	(103)
第一节 概述.....	(103)
第二节 控制齿轮副传动和安装误差的检测参数.....	(104)
第三节 齿轮加工误差的主要来源及特点.....	(107)
第四节 控制齿轮加工误差的评定参数.....	(108)
第五节 《渐开线圆柱齿轮精度》国家标准及其应用.....	(120)

第五章 尺寸链	(133)
第一节 基本概念	(133)
第二节 极值法解尺寸链	(136)
第三节 概率法(统计法)解尺寸链	(142)
第四节 解尺寸链常采用的工艺措施	(146)
第六章 测量技术基础	(150)
第一节 测量与量值传递	(150)
第二节 量块与多面棱体	(151)
第三节 计量器具与测量方法	(155)
第四节 测量误差与数据处理	(158)
第五节 计量器具的选择	(167)
第六节 测量误差的来源	(171)
第七章 几何量测量(实验指导)	(175)
第一节 轴、孔尺寸测量	(175)
第二节 形状和位置误差测量	(179)
第三节 表面粗糙度测量	(190)
第四节 螺纹测量	(194)
第五节 圆柱齿轮测量	(201)
第八章 花键、圆锥、螺纹等结合的公差与配合	(211)
第一节 花键结合的公差与配合	(211)
第二节 圆锥结合的公差与配合	(214)
第三节 螺纹结合的公差与配合	(221)
习题与思考题	(228)
主要参考书目	(238)

第一章 绪 论

第一节 机械产品的几何精度要求

现代机械产品的质量，包括工作精度、耐用性、可靠性、效率等等，与产品的几何精度（尺寸、形状、相互位置等的精度）密切相关。在合理设计结构和正确选用材料的前提下，零、部件和整机的几何精度，就是产品质量的决定性因素。

当前，随着科学技术的发展和生产水平的提高，对产品几何精度的要求也越来越高。例如车间用的精度等级最低的 $630 \times 400\text{mm}$ 3级划线平板，其平面度误差，即工作面的不平整，不得超过 $70\mu\text{m}$ ，和一般人的头发直径差不多。而0级千分尺测砧测量面的平面度，要求不大于 $0.6\mu\text{m}$ 。又如作为尺寸传递媒介的量块（详见第六章），尺寸精度要求更高， 10mm 的00级量块，其长度的极限偏差不得大于 $\pm 0.06\mu\text{m}$ 。体现现代科技水平的大规模集成电路，要在 1mm^2 的硅片面积上集成数以万计的元件，其上的线条宽度约为 $1\mu\text{m}$ ，形状和位置误差要小于 $0.05\mu\text{m}$ 。

当两个或多个零件相互配合组装在一起时，要进一步考虑装配后的配合精度要求。例如一般磨床的主轴与滑动轴承，装配后的间隙要求为几个微米，过小将旋转不灵活，甚至烧伤卡死，过大则旋转精度不能满足要求。

对传动件，如齿轮副、蜗轮副、丝杠副等，还有运动准确性、平稳性、可靠性及承载能力等要求。高精度的丝杠，其螺距误差也只允许几个微米。

对部件和整机，也同样有几何精度要求，如一般精度的CA6140车床两顶尖的同轴度，即两顶尖轴心线的重合程度，最大偏差不得超过 $10\mu\text{m}$ ；0级千分尺两测砧测量面的平行度误差要求不大于 $1\mu\text{m}$ ，否则不能满足加工精度和测量精度的要求。

第二节 影响机械产品质量的几何量误差

任何零件都是由若干个实际表面所形成的几何实体。因此，其几何量误差，不外单一表面尺寸大小的误差和表面的形状误差，还有表面之间的相互位置误差和相互关联的尺寸误差（如两孔之间的中心距误差等等）。在零件装配成部件或整机后，也有相互位置误差和关联尺寸的误差。上面所说的量块长度偏差属于尺寸误差，划线平板和千分尺测量面的平面度误差属于形状误差，而车床两顶尖的同轴度和千分尺两测量面的平行度误差，则属于位置误差。

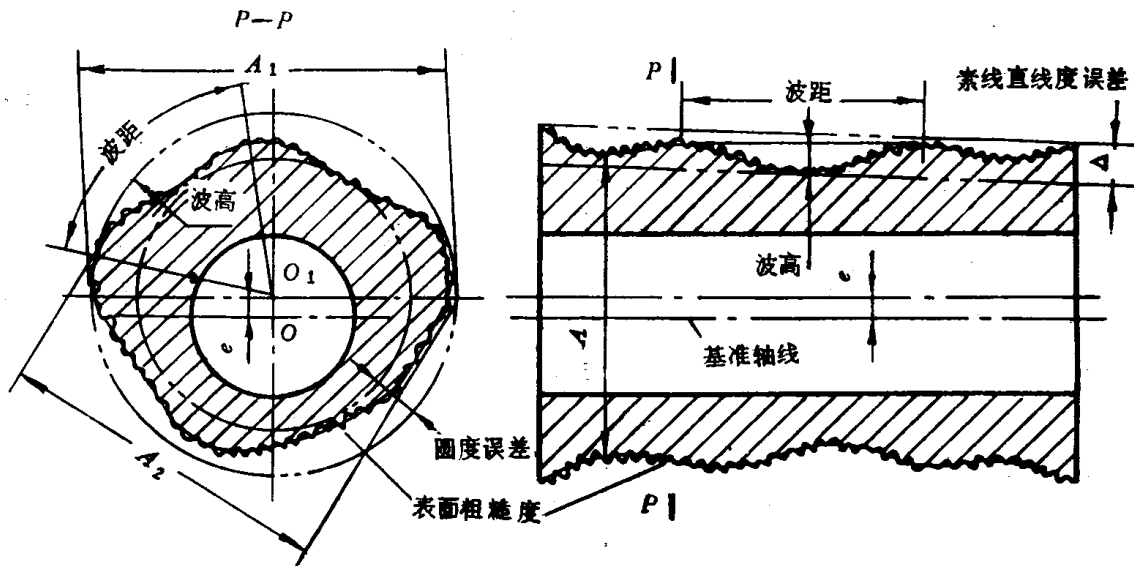
表面形状误差按产生的原因、表现形式和影响产品使用质量的不同，又分为（参看图1-1）：

（1）微观形状误差：一般称表面粗糙度（过去称为表面光洁度）。它是在机械加工中，因切削刀痕、表面撕裂、振动和摩擦等因素，在被加工表面上留下的间距较小的微观起伏不平。它影响零件的配合松紧性质、疲劳强度、耐磨性和抗腐蚀以及美观等性能。

(2) 中间形状误差：一般称表面波度。它有较明显的周期性的波距和波高，只是在高速切削条件下才有时呈现，常见于滚动轴承套圈等零件。

(3) 宏观形状误差：一般就简称形状误差。它产生的主要原因是加工机床和工夹具本身有形状和位置误差，还有加工中的力变形和热变形以及较大的振动等等。零件上的直线不直，平面不平，圆截面不圆，都属于此类误差。

宏观形状误差和相互位置误差有许多相近之处，故通常合称形位误差。它们影响零件的配合性质和密封性，加剧磨损，降低联接强度和接触刚度，直接影响整机的工作精度和寿命。



A, A_1, A_2 —实际尺寸 e —偏心

图 1-1

综合上述，机械产品的几何量误差可归纳如下：

- 尺寸误差（最基本的误差形式）；
 - 表面形状误差
 - 微观—表面粗糙度
 - 中间—表面波度（较少见）
 - 宏观—形状误差…
 - 相互位置误差……………
- } 形位误差

第三节 机械零件与产品的互换性

一、互换性的概念及其作用

现代化的机械产品生产，是建立在互换性原则基础之上的。所谓互换性，是指按规定的技术条件和要求（主要是几何精度要求）来分别制造机械产品的各组成部分和零件，使其在装配和更换时，不需任何挑选、辅助加工和修配，就能顺利地装入整机中的预定位置，并能满足使用性能要求。例如汽车、拖拉机……以至人们日常使用的自行车、手表等等产品，都是按互换性要求生产的。如有零件损坏，修理时可很快地用同样规格的备件换上，并能恢复其原有使用性能。当然，这样的零、部件都具有互换性。

按互换性原则组织生产，可实行大规模的分工协作，尽可能多地采用标准化的刀、夹、量具和高效率的专用设备，组织专业化的流水生产线，从而大有利于提高产品质量和生产效率，并降低成本。装配时不用修配，效率和工艺性也明显提高和改善。

从设计的角度看，可大量采用按互换性原则设计的经过实用考验的标准零、部件，以大幅度减少设计工作量；可采用标准化的计算方法和程序，进行高效率的优化设计。

从使用角度看，不仅修配方便，而且有利于获得物美价廉的产品。在许多情况下，还有更明显的效益。如拖拉机等农用机械迅速更换易损零件，可保证不误农时；发电设备的立即修复，可保障连续供电；战场上武器弹药的互换性，可保证不贻误战机等等。

由上述可知，互换性是机械制造中的重要生产原则和效果显著的技术经济措施。

互换性是伴随近代大规模生产特别是军火生产而出现的，但互换性原则并不是限于大批量生产。近年发展起来的被称为机械工业生产重大改革的柔性生产系统（F·M·S），可迅速在生产线上改变产品的规格和品种，以适应小批量的多品种生产。但它对产品零、部件以及生产线本身的互换性和标准化程度，要求更高。

二、保证互换性生产的基本技术措施

为使零件具有互换性，最理想的是使同一规格的零件的功能参数（包括几何参数及材质等等）完全相同。但这是办不到的，也无必要这样要求。实际生产中，是将零件的有关参数（主要是几何参数）的量值，限制在一定的能满足使用性能要求的范围之内，这个允许参数量值的变动范围，就叫做“公差”。

公差的大小，应按产品和零件的使用性能要求来设计规定。如前面讲到的磨床主轴与滑动轴承装配后的间隙，有的要求为 $4 \sim 5 \mu\text{m}$ ，它决定于主轴和轴承直径的尺寸公差。0级千分尺测量面的平面度误差要求不大于 $0.6 \mu\text{m}$ ，这就是它的形状公差；装配后两测量面的平行度误差不大于 $1 \mu\text{m}$ ，是它的位置公差。

规定公差，是保证互换性生产的一项基本技术措施。在设计机械产品时，合理地规定公差十分重要。公差过大，不能保证产品质量；公差过小，加工困难，且成本增加。所以在精度设计规定公差时，要力求获得技术—经济的最佳综合效益。

至于生产出来的零件和产品是否都满足公差要求，那就要靠正确的测量检验来保证，所以测量检验是保证互换性生产的又一基本技术措施。

实现互换性生产，还要求广泛的标准化。产品的品种规格要标准化、系列化；各种尺寸、参数要标准化；各种零件的公差与配合以及一些检测方式方法也都要标准化。在满足使用要求的前提下，产品的规格、品种、参数以及公差与配合的种类，应尽可能减少，以利于互换性生产。

由以上可知，合理规定公差，正确的测量检验和广泛的标准化，都是保证互换性生产的基本技术措施。

第四节 标准化与优先数系

一、标准化

从概念上讲，标准化是指制订和贯彻技术标准，以促进经济发展的整个过程。而技术标

准（简称标准）是从事生产、建设以及商品流通等等活动的一种共同技术依据。它是从生产实践、科学试验及理论分析为基础而制订的，经一定程序批准后，在一定范围内具有约束力。

标准化的基本原理可归纳为“简化、统一、优选、协调”。标准化的对象包含有许多因素，其特性可用若干定量或定性的参数来表示，这些参数的数量和数值系列，要合理简化。产品的规格、结构、工艺乃至工装、检测、管理等等，都要简化，并在一定范围内统一实行。所谓优选（或称优化），是从标准的多种方案中，选定最佳方案，以便普遍推广和充分利用先进的成功经验。标准化涉及许多环节，因此，在制订和实施标准时，要协调一致。只有做到以上各点，才能顺利地贯彻实行标准，从而获得最好的技术经济效益。

标准按适用的范围有国际标准、国家标准、专业标准（如部、委标准）和企业标准等级别。国际标准化组织（ISO），是制订各种国际标准的主要组织，我国是正式成员国。我国的许多国家标准（GB），都是在结合我国生产实践的基础上，参照或参考ISO标准制订或更新的。标准的国际化，是当前标准化发展的重要特点。

按标准化对象的特性，技术标准又可分为以下四类：

（1）基础标准 基础标准是针对生产中最一般的共性问题，依据普遍的规律性而制订的，它具有广泛的指导意义，通用性也很广泛。例如各种公差与配合标准、制图标准、优先数与优先数系、标准长度和直径等等，都是基础标准。

（2）产品标准 产品标准是对产品规格和质量所作的统一规定，它又分产品系列标准和产品质量标准两类。

（3）方法标准 方法标准是对设计、生产、验收过程中的重要程序、规则和方法等所作的规定。

（4）安全和环境保护标准

在实际应用中，标准还有许多分类方法。如生产中除产品标准外，还有零、部件标准、原材料标准、工艺及工装标准等等。有的标准还称为规程或规范，如计量器具的检定规程。

总之，标准化的范围很广泛，作用很重要，它涉及社会生产和生活的各个领域，而互换性生产更是和标准化分不开的。

二、优先数与优先数系

标准化要求各种参数系列化，将参数值（如公差值等等）合理地分级分档，使其有恰当的间隔，以便应用。优先数系是国际上统一的数值分级制度，我国也采用这种制度。它有许多优点，应用广泛。

常用的数系有等差级数和等比级数。如参数值按等差级数分档，虽其相邻项的绝对差相等，但相对差不等。如1，2，3，…10，11，12…100，101，102…，1与2相对差为100%，而100与101为1%，这样先疏后密，当然不好，而采用等比级数，则无此弊。

优先数系是一种十进制的等比级数，在现行标准中，规定了5个公比数系，用R5，R10，R20，R40和R80表示（R80为补充系列，余为基本系列），其公比如下（注：优先数系还有派生系列和复合系列，在此从略）：

$$R5为\sqrt[5]{10}\approx 1.6;$$

$$R40为\sqrt[40]{10}\approx 1.06;$$

$$R_{10} \text{ 为 } \sqrt[10]{10} \approx 1.25; \quad R_{80} \text{ 为 } \sqrt[80]{10} \approx 1.03;$$

$$R_{20} \text{ 为 } \sqrt[20]{10} \approx 1.12;$$

在1~10之间，R5系列有5个优先数，即1；1.6；2.5；6.3；10。R10系列有10个优先数，即在R5的5个优先数中再插入1.25；2；3.15；5；8五个数（均为比例中项），余类推。项值可从1开始，向大于1和小于1两边延伸。理论优先数多为无理数，需予圆整，见表1-1。

这种优先数系的主要优点如下：

- (1) 各种相邻项的相对差相等，分档合理，疏密恰当，简单易记，有利于简化统一。
- (2) 便于插入和延伸。如在R5系列中插入比例中项，即得R10系列，在R10系列中插入比例中项，即得R20系列，余类推。数系两端都可按公比任意延伸。
- (3) 计算方便。理论优先数（未经近似圆整）的积、商、整数乘方仍为优先数，其对数为等差数列，这对数值的传播有利。工程中一些常数也近似为优先数，如 $\pi \approx 3.15$ ， $\pi/4 \approx 0.8$ ； $\pi^2 \approx 10$ ； $\sqrt{2} \approx 1.4$ ； $\sqrt[3]{2} \approx 1.25$ 等等。例如直径采用优先数，则传播到圆面积 $A = \pi D^2/4$ 仍为优先数。

有了优先数系的标准，大家统一使用，这对互换性和标准化有很重要的意义。对优先数系的进一步了解，可参阅国家标准GB321-80“优先数和优先数系”。

第五节 几何量检测及其技术发展概况

前面讲到，正确的测量检验，是保证互换性生产的基本技术措施之一。对机械产品，几何量检测是占比重大和最重要的部分。从机械工业发展的历程来看，几何量检测技术的发展是和机械加工精度的提高相辅相成的。加工精度的提高，一方面要求并促进测量器具的测量精度也跟随提高，另一方面，加工精度本身也要通过精确的测量来体现和验证。

19世纪中叶出现了游标卡尺，当时机械加工精度可达0.1mm。本世纪初，加工精度达到0.01mm，可用千分尺测量。30年代开始成批生产光学比较仪、测长仪、光波干涉仪和万能工具显微镜等当前仍在生产中广泛使用的光学精密量仪，当时相应的机械加工精度提高到了1 μ m左右及更小，近半个世纪精密机械加工的水平有了很大的提高，近年精密机床主轴的跳动误差要求不超过0.01 μ m，导轨直线度要求0.3 μ m/m，空气轴承的回转精度在径向和轴向都要求0.02 μ m。这些参数的测量要用高精度的方法和仪器，如稳频激光干涉系统、各种高精度的电学量仪及机、电、光结合并配用计算机的测量系统。几何量测量技术的发展，不仅促进了机械工业的发展，而且对其它工业部门，对科学技术，对内外贸易乃至现代社会生活的许多方面，都起着重要的推动作用。

要使检测技术起到上述作用，就必须统一量值，建立统一的基准，这也是保证互换性生产所必需的。长度量值的基本单位为“米”。基准“米”的建立，也经历了多次变迁。1889年第一届国际计量大会决定以通过巴黎附近地球子午线的四千万分之一的长度为1米，并以用铂铱合金制成的金属尺为米原器。由于米原器也不能绝对稳定不变，且比对麻烦，如遇天灾人祸毁于一旦，更不堪设想，于是人们研究以比较稳定的光波波长作基准。1960年第11届国际计量大会重新定义“米”：以氪86原子在2p₁₀~5d₅能级之间跃迁时所辐射的谱线在真

表 1-1 优先数系

R 5	R 10	R 20	R 40	R 5	R 10	R 20	R 40	R 5	R 10	R 20	R 40
1.00	1.00	1.00	1.00			2.24	2.24		5.00	5.00	5.00
		1.12	1.06	2.50	2.50	2.50	2.36			5.60	5.30
		1.25	1.12				2.50				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	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			4.50	4.50	10.0	10.0	10.0	10.0
			2.12				4.75				

空中波长的1650763.76倍为一米。光波是自然基准，它没有上述金属米尺（实物基准）的缺陷。后来由于激光技术的发展，情况又有变化。激光有亮度高，干涉性能好，传播的直线性好等一系列显著特性，稳频激光的稳定性和复现性比氪86基准高达100倍左右，同时光速的测量也达到了很高的精度。因此，1983年第17届国际计量大会又通过以光速来重新定义“米”，即“米”是光在真空中于 $1/299792458$ 秒时间内的行程长度。以光速和时间频率作为长度基准，并用稳频激光来复现，这是计量技术的重大突破。

我国有光辉灿烂的古代文明，检测技术就是这个文明的重要组成部分。早在商代我国即开始有象牙尺。秦始皇统一度量衡制，已有互换性加工的萌芽，这从西安秦兵马俑中出土的箭簇和弩机（远射箭头的扳机）已得到证实。但由于长期封建统治和近代半封建半殖民地的压迫，检测技术和其它科学一样，未能得到应有的发展，至近代，已远落后于西方的发达国家。

解放后，我国计量科学和检测技术与发达国家的差距，经历了一个“缩短——拉大——再缩短”的过程。但经过40年的努力，我们已走完西方国家近100年的发展历程，取得了很大成就。以长度计量测试为例，主要的基准、标准（包括“米”定义的复现）已经建立，经国际对比，已达一般国际水平，个别项目还处于先进行列。全国建立了比较完善的计量机构，有统一的量值传递网。我国不仅可生产一般的检测仪器，还研制成功了如光电光波比长仪、双频激光干涉仪等先进量仪，有的已达国际先进水平。近年各工矿企业的计量测试工作也有很大进展，解决了生产中的许多实际重大难题，取得了很大的经济效益。

但与先进国家相比，我们仍有差距。我国虽有少数项目达到国际先进水平，但从生产第一线全面来看，检测工作仍较薄弱。测量范围多集中在一般通用的中间量程，而对诸如大尺寸和微小尺寸，超高温及超低温，超高压及超低压等等方面，困难还不小；新技术的应用面有待扩大，水平也有待提高；动态检测技术及其应用还处于初始阶段。因此，大力发展计量测试技术，实为当务之急。

第六节 本课程的特点

本课程由互换性与测量技术两个联系密切的部分组成，是一门技术基础课。目前涉及的范围，还只限于几何参数的互换性和检测。前者主要是学习研究公差与配合的标准化及其初步应用，是从精度的观点去分析研究机械零件及结构的几何参数，属精度设计的范畴；后者是学习测量技术的基本知识与技能，属计量学的范畴。很多国家的高等院校，是将这两部分内容分设于两门或多门课程之内。总之，这两方面的知识，都是机械类和仪器仪表类专业的学生所必须掌握的。

与本课程密切有关的前导课程有“机械制图”、“金属工艺学”、“机械原理”等，后续课程有“机械设计”及有关专业的设计课和工艺课。特别是公差与配合的选用这一部分内容，更有待后续课程和课程设计及毕业设计去实践提高。

本课程术语代号及具体规定较多，实践性及实用性强。对刚学完系统性较强的理论基础课的同学，学习时要抓住几何精度这一关键概念，不断归纳、对比和总结，掌握其内在联系和规律。要重视实验课，它是验证基本知识、训练和掌握基本技能的重要环节。

第二章 几何量的加工误差与公差

第一节 误差的基本概念

任何加工和测量都不可避免有误差存在。所谓精度很高，也只是误差较小而已。误差按性质可分为以下三类：

一、系统误差

在一定条件下，数值和正负号都恒定不变或按一定规律变化的误差，叫作系统误差。如用钻头加工孔，若钻头直径比要求的大0.05毫米，则所加工的孔因该因素影响将有+0.05毫米的定值系统误差。若此钻头在加工孔的过程中有磨损，且磨损量有如图2-1所示之规律，则所加工的一批孔，其直径误差也有按此规律变化的变值系统误差。再如用游标卡尺测量尺寸，如游标卡尺有“-0.01”毫米的对零误差，则所测尺寸都将因此而比正确结果小0.01毫米，这是测量的系统误差。

对待系统误差，应仔细查找其大小和规律，并从测量结果中修正或尽可能从根源上消除。

二、随机误差

在一定条件下，误差的数值和正负号都变化不定，即数值在一定范围内可大可小、符号可正可负的误差，叫作随机误差。如加工时因材料性能不均匀，温度的波动变化，以及“机床—刀具—工件”系统不规则的振动等等因素引起的工件尺寸误差。由于这种误差具有随机性，故无法修正或完全消除。对于这种误差，除查找根源并尽可能部分消除或减弱外，还要用数理统计的方法作理论分析及通过实验估计出误差分布的大小范围和规律，以便心中有数，妥善处理。

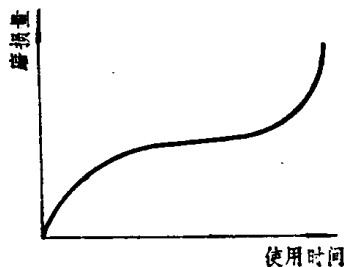


图 2-1

三、粗大误差

这种误差是由于加工或测量人员的失误，或环境条件的突变（如较大的冲击、振动，来自电源的突变干扰等等）或其他不正常因素造成的，其误差值也较大，故称粗大误差。

粗大误差应尽量避免，对混在一系列统计数据中数值虽很大（或很小）但不明显的可疑数据，可按基于统计原理的一些准则来判断，如发现含有粗大误差，该数据应予以剔除。

前已述及，几何量误差按其特征可分为：尺寸误差、形状误差和位置误差。形状误差还有宏观形状误差、表面粗糙度（微观）和波度（中间）之分，这是我们讨论的主要对象，下面将分别予以介绍。

第二节 尺寸误差与公差

一、常用的术语概念

(1) 基本尺寸 设计时经过计算或根据经验给定的尺寸。基本尺寸宜按标准取值。图 2-2 中 $\phi 20$, $\phi 10$, $\phi 15$, 25 及 40mm 等尺寸都是基本尺寸。基本尺寸的代号: 孔用 D 、轴用 d 表示。

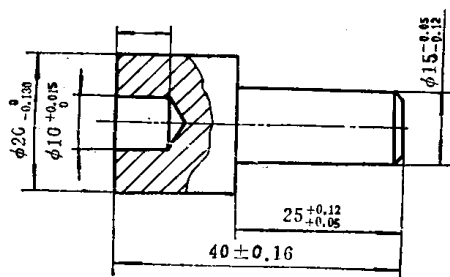


图 2-2

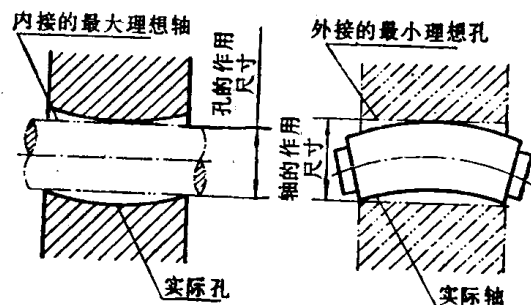


图 2-3

(2) 实际尺寸 通过测量所得到的尺寸, 又称测得尺寸。由于任何测量都有误差存在, 所以实际尺寸并非真实尺寸。而且不同人员、不同时间、不同环境、用不同的测量仪器测得的尺寸往往不相同。

至于真实尺寸或其他参数的真实值, 人们并不知道。随着科学技术的发展, 测量精度将越来越高, 测得尺寸将越来越接近真实尺寸, 但真实尺寸仍难确知。这也证实了“人们对真理的认识永远没有完结”这一哲学论断。对真实量值(包括尺寸)的认识, 就是这个永远不会完结的认识过程的重要组成部分。

(3) 极限尺寸 允许尺寸变化的两个界限值。其中较大的一个称为最大极限尺寸, 较小的一个称为最小极限尺寸。根据设计要求, 极限尺寸可能大于、等于或小于基本尺寸。如图 2-2 中小端轴径的最大最小极限尺寸分别为 $\phi 14.95$ 和 $\phi 14.88$ mm。零件尺寸合格的理论标志是:

最大极限尺寸 \geq 真实尺寸 \geq 最小极限尺寸。

最大极限尺寸的代号: 孔用 D_{\max} 、轴用 d_{\max} 表示; 最小极限尺寸的代号: 孔用 D_{\min} 、轴用 d_{\min} 表示。

(4) 作用尺寸 在配合面的全长上, 与实际孔内接的最大理想轴的尺寸, 称为孔的作用尺寸; 与实际轴外接的最小理想孔的尺寸, 称为轴的作用尺寸, 如图 2-3 所示。由于实际孔、轴都有形状误差, 故孔与轴配合时, 孔显得变小, 轴显得变大。作用尺寸即孔与轴配合时实际起作用的尺寸, 是一个很重要的概念。

(5) 尺寸的极限偏差 极限尺寸减基本尺寸的代数差称为尺寸的极限偏差, 简称极限偏差。极限偏差有两个: 最大极限尺寸减其基本尺寸的代数差称为上偏差, 其代号: 孔用 ES 、轴用 es 表示; 最小极限尺寸减基本尺寸的代数差称为下偏差, 其代号: 孔用 EI 、轴用 ei 表示。

为方便起见, 在图样上标注极限偏差而不标注极限尺寸。如图 2-2 中相应于上列基本尺寸的 0 , $+0.015$, -0.05 , $+0.120$ 及 $+0.160$ mm 都是上偏差; -0.130 , 0 , -0.120 ,

+0.050及-0.160mm都是下偏差。

极限偏差值可为正、负或零。

(6) 尺寸公差 允许尺寸的变动量,称为尺寸公差,简称公差。它等于最大与最小极限尺寸之差,或上、下偏差之差。公差为一没有正负号区别的绝对值,其代号用 T 表示。

公差可用公差带图来表示。图2-4所示即为图2-2中各尺寸的公差带图。图中横线为零线,代表基本尺寸的位置,方框为公差带,上、下偏差以 μm 为单位注值(也可以 mm 为单位注值)。公差带图可简便清楚地表示出尺寸极限偏差相对于基本尺寸的位置,这在表示配合关系时非常有用。

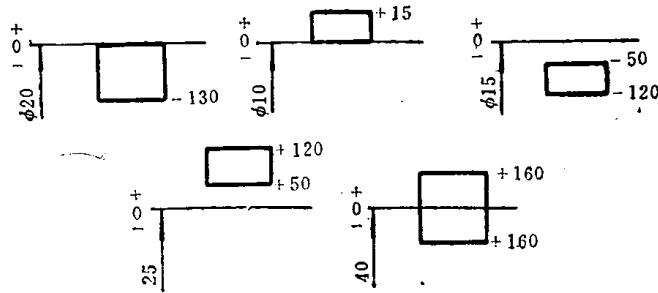


图 2-4

二、尺寸加工误差的统计分布

在正常的尺寸加工中,明显的系统误差应该消除,粗大误差一旦发现则数据应予剔除。这里讨论尺寸误差的统计分布,主要是对随机误差而言。

1. 正态分布规律

我们先看一个实例:加工150个 $\phi 50\text{mm}$ 的轴件,其尺寸都在 $\phi 50.305 \sim \phi 50.415\text{mm}$ 之间。这种分散是因随机误差造成的。现将零件按尺寸等分为11组,并统计列于表2-1。

尺寸的平均值 \bar{x} 为:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{150} x_i}{150} = \frac{\sum_{i=1}^{11} m_i x_i}{150} = 50.360\text{mm}$$

按表中数据画出如图2-5之直方图,即频率分布图。图中横坐标按等距 Δx 分段,各直条方块面积之间的比例,即代表表2-1中各 m_i 值(或 $\frac{m_i}{n}\%$)之间的比例,而全部直方面积之总和 $A_{\text{总}}$ 则为频率之总和,即

$$A_{\text{总}} = \sum_{i=1}^{11} \frac{m_i}{n} \% = 1$$

下面对随机误差进行估算时,要计算分布曲线下方的面积。所以,这里面积代表频率的概念很重要。

概率论的理论分析和实践都证明,当工件数目越多,以至趋于无穷多($n \rightarrow \infty$),而分组间隔越小($\Delta x \rightarrow 0$)时,则图2-5中之实测统计折线,将趋近于图2-6之正态分布曲线。此时,表示频率的长条方块将越来越窄,其用百分比值表示的面积大小将各趋向某一定

表 2-1

大批工件尺寸统计表

分组顺序	尺寸分组范围	分组中间值 x'_i	尺寸出现次数 m_i	尺寸出现频率 $m_i/n(\%)$
1	50.305~50.315	50.31	1	0.7
2	>50.315~50.325	50.32	3	2.0
3	>50.325~50.335	50.33	8	5.3
4	>50.335~50.345	50.34	18	12.0
5	>50.345~50.355	50.35	28	18.7
6	>50.355~50.365	50.36	34	22.7
7	>50.365~50.375	50.37	29	19.3
8	>50.375~50.385	50.38	17	11.3
9	>50.385~50.395	50.39	9	6.0
10	>50.395~50.405	50.40	2	1.3
11	>50.405~50.415	50.41	1	0.7

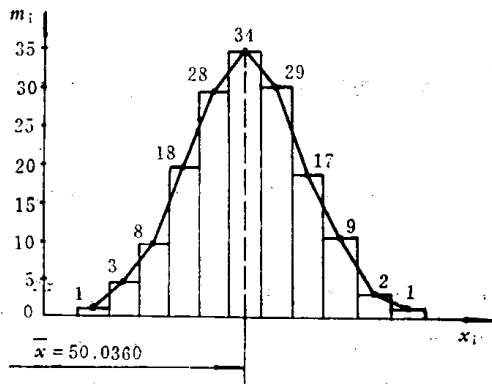


图 2-5

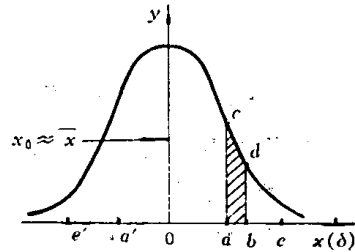


图 2-6

值，此值即为概率。频率分布只反映某一具体的实际统计规律，而概率分布规律则是一般实际统计的抽象概括，它可用于分析研究随机误差一般特性和估算随机误差的大小范围。关于概率，数学上另有严格的定义。一般情况下，随机误差多为正态分布，但还有其他形式的概率分布（如均匀分布、 t -分布、瑞利分布等）。

正态分布曲线的方程如下：

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \quad (2-1)$$

式中 y —— 随机变量（误差）的概率分布密度；

e —— 自然对数之底；

δ —— 真实误差， $\delta_i = x_i - x_0$ （ x_i 为有加工误差的尺寸， x_0 为没有加工误差的真实尺寸，即 x_i 的数学期望 $[Ex]$ ）；

σ —— 标准误差，亦称标准偏差， σ^2 为方差，理论上