



公差与技术测量

(第二版)

● 周勤芳 主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书是为适应现代生产和科学技术发展的需要、深化教学改革内容而编写的一本教材。本书编写人员在广泛吸取兄弟院校教改经验的基础上,对教材内容进行了改革,并按照 60 余所高职院校共同讨论确定的教学大纲组织编写。本书采用国家最新标准。

本书力求遵循简明扼要、打好基础、学以致用、精选内容、利于教学、便于自学的原则。本书共有 10 章,内容包括公差与技术测量的概念、原理与应用,每章末有小结、习题和思考题。书末附有最新常用基础标准目录供参考。

本书可作为高职高专机械、机电类、精密仪器、仪表类各专业的试用教材,也可供高等工程大学机电类专业师生、有关工程技术与管理人使用、参考,并可作为培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

公差与技术测量 / 周勤芳编. —2 版—上海: 上海交通大学出版社, 2004

21 世纪高等教育通用教材

ISBN 7-313-02618-8

I. 公... II. 周... III. ①公差—高等学校: 技术学校—教材②配合—高等学校: 技术学校—教材③技术测量—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 85549 号

公差与技术测量

周勤芳 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

上海颀辉印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 15.5 字数: 375 千字

2001 年 3 月第 1 版 2004 年 8 月第 2 版 2004 年 8 月第 4 次印刷

印数: 10701-13750

ISBN7-313-02618-8/TG · 046 定价: 21.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

《公差与技术测量》是机械类、机电类和仪器仪表类各专业的一门重要的技术基础课。它既是联系设计类和工艺类课程的纽带,又是从技术基础课程教学过渡到技术实践课程教学的桥梁。为了适应机械工业发展的新形势,迎接高职高专面向 21 世纪的教学改革,为四化建设培养越来越多的实用型人才,我们在华东地区六省一市 60 余所高职院校共同讨论制定的教学大纲的基础上,结合多年的教学实践经验,组织编写了这本书。

本书具有以下几个特点:

1. 遵照“以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念,强化应用为教学重点”的原则,精选教学内容。本书概念阐述清楚,内容安排紧凑,每章末有小结,各章均酌量配置了习题与思考题和解题所需的公差表格,以配合教学的需要。

2. 采用全新国家标准。本书所用的标准全部为最新的国家标准,标准内容齐全完整。

3. 在应用方面作了加强。本书在讲清基础理论的同时,加强了实际应用及工程实例的介绍,注重理论联系实际和应用能力的培养与工程素质教育。

4. 适应面广。本书既适用于机械、机电类各专业,也适用于精密仪器仪表各专业;既可用于重型机械设备的大尺寸,也可用于精密仪器的小尺寸;既可作为高职高专各有关专业教材,也可供从事机械设计、制造工艺、标准化、计量等工作的工矿企业有关工程技术人员和管理人员参考。

本书由泰州职业技术学院单嵩麟副教授主编,同济大学过馨葆教授主审。本书在编写过程中还得到了一些同行专家的指点,他们对本书的初稿提出了许多宝贵的意见,在此一并表示由衷的感谢。参加本书编写的有:单嵩麟(第 1,2,9 章)、同济大学周勤芳(副主编)(第 3,6,7 章)、江阴职业大学徐志慧(副主编)(第 4,5,8 章)。

由于我们的水平所限,书中谬误和不当之处在所难免,恳望大家批评指正。

编 者

2001 年 2 月

再版前言

本教材《公差与技术测量》是在 2001 年 3 月版的基础上重新修订的。本版吸收了近年来新的国家标准,并增加了尺寸链基础一章,在各章中补充了一些实际应用例子使教材内容更系统、充实和全面。

本课程是机械类各专业的一门重要的技术基础课。它是联系设计类和工艺类课程的纽带,也是从基础课与技术基础课程教学过渡到专业课程教学的桥梁。

本课程的基本内容是研究几何参数的精度设计,即如何通过国家标准合理地解决机器使用要求与制造工艺之间的矛盾,以及如何用测量技术手段保证国家技术标准的贯彻实施,从而确保产品质量。

精度设计计算是从事机械类产品设计制造的工程技术人员应具备的能力。但由于互换性基础标准内容广泛,标准既具有一定的约束性,使用中又存在较大的灵活性,涉及的问题多,所以除在本课程的教学过程中,培养学生初步掌握国家的标准构成原理,应用好标准的能力打下一定的理论基础外,还需要后继有关课程的教学和课程设计、毕业设计的实践来巩固和加深理解,特别是在毕业后工作实践中的应用和提高。

本书具有以下几个特点:

(1) 本书力求削枝强干、贯彻少而精和学以致用原则,精选教学内容。本书概念阐述清楚,内容安排紧凑,每章末有小结,各章均酌量配置了习题与思考题,以配合教学的需要。

(2) 采用全新国家标准。本书所用的标准全部为最新的国家标准。

(3) 在应用方面做了加强。本书在讲清基础理论的同时,加强了实际应用及工程实例的介绍,注重理论联系实际和应用能力的培养与工程素质教育。

(4) 适应面广。本书既适用于机械、机电类各专业,也适用于精密仪器仪表各专业;既可用于重型机械设备的大尺寸,也可用于精密仪器的小尺寸;既可作为高职高专各有关专业教材,可作技术应用型本科相关专业教材,也可供从事机械设计、制造工艺、计量等工作的工矿企业工程技术人员和管理人员参考。

本书由同济大学周勤芳主编,泰州职业技术学院单高麟副教授主审。本书在编写过程中得到一些同行专家的指点,他们对本书的初稿提出了许多宝贵意见,在此一并表示由衷的感谢。参加本书第二版编写的有:同济大学周勤芳(第 3、6、7、10 章),泰州职业技术学院单高麟(第 1、2、9 章),江阴职业大学徐志慧(副主编)(第 4、5、8 章)。

由于我们水平有限,书中谬误和不当之处在所难免,恳望大家批评指正。

编 者

2004 年 4 月

目 录

1 互换性与标准化的基本概念	1
1.1 互换性的基本概念	1
1.2 加工误差和公差	2
1.3 标准化与几何量测量	3
1.4 优先数和优先数系	5
小结	7
习题与思考题	7
2 光滑圆柱体结合的极限与配合	8
2.1 概述	8
2.2 极限与配合的基本术语及定义	8
2.3 常用尺寸段的极限与配合	15
2.4 常用尺寸段极限与配合的选择	29
2.5 大尺寸段的极限与配合	41
2.6 尺寸至 18mm 的极限与配合	43
2.7 线性尺寸的一般公差	44
小结	46
习题与思考题	46
3 形状和位置公差及其检测	49
3.1 概述	49
3.2 形状公差和形状误差	56
3.3 位置公差和位置误差	61
3.4 形位公差的未注公差	71
3.5 公差原则	72
3.6 形位公差的选用	93
小结	95
习题与思考题	95
4 表面粗糙度及检测	98
4.1 概述	98
4.2 表面粗糙度的国家标准	99
4.3 表面粗糙度的标注	104
4.4 表面粗糙度参数值的选择	108
4.5 表面粗糙度的测量	108
小结	111
习题与思考题	111

5 测量技术基础	113
5.1 技术测量的基本知识	113
5.2 计量器具与测量方法的分类	117
5.3 计量器具与测量方法的常用术语	118
5.4 测量误差和数据处理	118
5.5 计量器具的选择原则与维护保养	126
5.6 光滑极限量规	130
小结	137
习题与思考题	138
6 滚动轴承的公差与配合	140
6.1 概述	140
6.2 滚动轴承内径与外径的公差带及其特点	140
6.3 滚动轴承与轴和壳体孔的配合及其选择	142
小结	148
习题与思考题	149
7 键和花键的公差与检测	150
7.1 键联结	150
7.2 花键联结	152
7.3 键和花键的检测	155
小结	157
习题与思考题	157
8 螺纹公差与检测	159
8.1 概述	159
8.2 螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响	161
8.3 普通螺纹的公差与配合	165
8.4 螺纹的检测	174
小结	176
习题与思考题	177
9 圆柱齿轮传动公差及检测	178
9.1 概述	178
9.2 单个齿轮精度的评定指标及检测	182
9.3 齿轮副精度的评定指标及检测	197
9.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	201
9.5 ISO 圆柱齿轮精度制的简介与分析	216
小结	218
习题与思考题	219
10 尺寸链基础	221
10.1 概述	221
10.2 完全互换法解尺寸链	224

10.3 大数互换法解尺寸链..... 229

小结..... 231

习题与思考题..... 231

附录..... 233

参考文献..... 236

1 互换性与标准化的基本概念

1.1 互换性的基本概念

1.1.1 互换性的意义

在人们的日常生活中,有大量的现象涉及到互换性。例如,灯泡坏了,可以换个新的。自行车、手表、缝纫机、汽车、拖拉机中某个零件坏了,都可以迅速换上一个新的,并且在更换与装配后,能很好地满足使用要求。其所以这样方便,是因为这些零件都具有互换性。

什么叫互换性呢?在机械工业生产中,零部件的互换性是指机器或仪器中同一规格的一批合格零件或部件,在装配前,任取其中一件,不需作任何挑选;装配时,不需进行修配和调整;装配后,能满足机器或仪器的使用性能要求。换句话说,零部件的互换性就是同一规格的零部件按规定要求制造,能够彼此相互替换且能保证使用要求的一种特性。

1.1.2 互换性的分类

机械制造中的互换性,可分为几何参数互换性与功能互换性。几何参数互换性是指机器的零部件只在几何参数,如尺寸、形状、位置和表面粗糙度方面充分近似所达到的互换性,所以又称狭义互换性,即通常所讲的互换性;有时也局限于指保证零件尺寸配合要求的互换性。功能互换性是指机器的零件在各种性能方面都达到了互换性的要求。如几何参数的精度、强度、刚度、硬度、使用寿命、抗腐蚀性、电导性等都能满足机器的功能要求,所以又称广义互换性,往往着重于保证除尺寸配合要求以外的其他功能要求。由于本课程的内容所限,只研究几何参数方面的互换性。

互换性按其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,不仅不需选择,而且不需辅助加工与修配,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,再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(例如,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,又能解决加工困难,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;外圈外径与轴承孔的配合。

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

究竟采用完全互换还是不完全互换,或者部分地采用修配调整,要由产品的精度要求与复杂程度、产量大小(生产规模)、生产设备、技术水平等一系列因素决定。

1.1.3 互换性在机械制造中的作用

互换性在产品的设计、制造、使用和维修等方面有着极其重要的作用。

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,大大简化制图和计算等工作,缩短设计周期,并有利于用计算机进行辅助设计。这对发展系列产品,促进产品结构、性能的不断改进,都有重大作用。

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设备,以至用计算机辅助制造,有利于实现加工过程和装配过程的机械化、自动化,从而提高劳动生产率,提高产品质量,降低生产成本。

在使用维修方面,零部件具有互换性,可以方便地及时更换那些已经磨损或损坏了的零部件,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正常运转,从而提高机器的使用寿命和使用价值。

综上所述,在机械制造中,遵循互换性原则,不仅能大大提高劳动生产率,而且能有效保证产品质量和降低成本。所以,互换性原则已成为现代机械制造业中一个普遍遵守的重要的技术经济原则。互换性生产对我国社会主义现代化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下都适用的。有时零件只有采用单配才能制成或才符合经济原则,这时,就不宜盲目地要求互换性。

1.2 加工误差和公差

具有互换性的零件,其几何参数是否必须制成绝对准确呢?事实上这不但不可可能,而且也不必要。

零件在加工过程中,由于种种因素的影响,不可能做得绝对准确,其制得零件的几何参数总是不可避免地会产生误差,这样的误差称为几何量误差。几何量误差可分为:

(1) 尺寸误差。工件加工后的实际尺寸与理想尺寸之差。

(2) 几何形状误差(见图1.1)。工件加工后除有尺寸误差外,还会有几何形状误差。一般可分为以下三种:

① 宏观几何形状误差,即通常所指的形状误差。它是指工件整个表面范围内的形状误差,一般由机床、夹具、刀具、工件所组成的工艺系统的误差所造成。例如,孔、轴横截面的形状应是正圆形,如加工后实际形状为椭圆形,这就是形状误差。

② 微观几何形状误差,通常称为表面粗糙度。它是加工后,刀具在工件表面上留下的大量的很微小的高低不平的波形,其波峰和波长都很小。

③ 表面波度。它是介于宏观和微观几何形状误差之间的一种表面形状误差。一般由加工过程中的振动所引起,表面形成明显的周期性波形,它的波峰和波长比表面粗糙度要大得

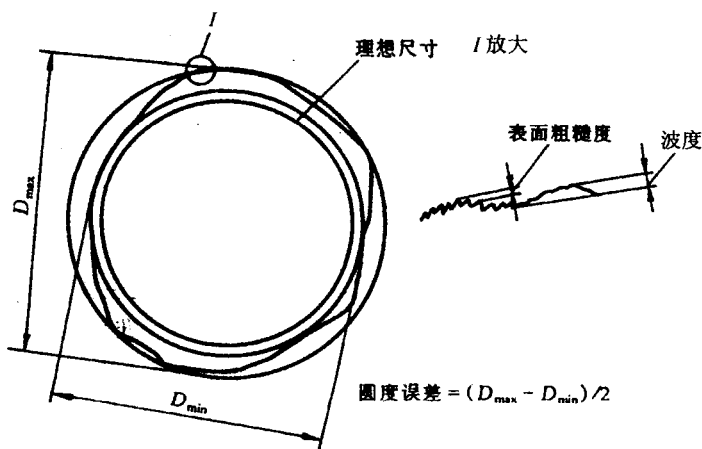


图 1.1 尺寸和形状误差

多。这种误差不是所有加工表面一定都有的。目前这种误差尚无标准。

(3) 相互位置精度。工件加工后,各表面或中心线之间的实际相互位置与理想位置的差值。如两个表面之间的平行度、垂直度,阶梯轴的同轴度等。

虽然零件上的几何量误差可能会影响零件的使用功能和互换性,但实践证明,只要将这些误差控制在一定的范围内,即将零件几何量实际值的变动限制在一定范围内,保证同一规格的零件彼此充分近似,则零件的使用性能和互换性都能得到保证。所以零件应按规定的极限,即“公差”来制造。公差是允许工件尺寸、几何形状和相互位置变动的范围,用以限制误差。

工件的误差在公差范围内,为合格件;超出了公差范围,为不合格件。公差是允许实际参数值的最大变动量,也可以说是允许的最大误差。误差是在加工过程中产生的,而公差则是由设计人员给定的。设计者的任务就在于正确地规定公差,并把它在图样上明确表示出来。显然,在满足功能要求的前提下,公差应尽量规定得大些,以方便制造和获得最佳的技术经济效益。

1.3 标准化与几何量测量

1.3.1 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。标准和标准化正是联系这种关系的主要途径和手段。在机械制造中,标准化是广泛实现互换性生产的前提。

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。它以生产实践、科学试验及可靠经验为基础,由有关方面协调制订,经一定程序批准后,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。

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订、发布和实施标准,达到统一,以获得最佳秩序和社会效益。标准化包括制订标准和贯彻标准的

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、分析,进而起草、制订和贯彻标准,而后修订标准。因此,标准化是一个不断循环而又不断提高其水平的过程。

标准化是以标准的形式来体现的。从内容上讲,标准化的范围极其广泛,几乎涉及人类生活的各个方面。因此,标准种类繁多。

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、卫生标准、安全与环境保护标准等。以标准化共性要求和前提条件为对象的标准称为基础标准。如计量单位、术语、符号、优先数系、机械制图、极限与配合、零件结构要素等。本课程主要涉及的是基础标准。

按照标准的级别,我国将标准分为国家标准、专业标准(部标准)和企业标准三级。国家标准是指由国家标准化管理机构批准、发布,在全国范围内统一的标准。专业标准是指由专业标准化主管机构或专业标准化组织批准、发布,在某专业范围内统一的标准。部标准是指由各主管部、委(局)批准、发布,在该部门范围内统一的标准。部标准已逐步向专业标准过渡。企业标准是指由企(事)业或其上级有关机构批准发布的标准。专业标准(部标准)和企业标准不得与国家标准相抵触,企业标准不得与专业标准(部标准)相抵触。此外,从国际范围看,还有国际标准与区域性标准。

从学科属性讲,标准化是一个系统工程,其任务就是设计、组织和建立标准体系,以促进人类物质文明及生活水平的提高。标准化也是一门重要的综合性学科,它与许多学科交叉渗透,是技术与管理兼而有之的学科,是介于自然科学与社会科学之间的边缘学科。

从作用上讲,标准化的影响是多方面的。世界各国的经济发展过程表明,标准化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。标准化同时是联系科研、设计、生产和使用等方面的纽带,是使整个社会经济合理化的技术基础。标准化也是发展贸易,提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。现代化的程度越高,对标准化的要求也越高。搞好标准化,对于加速发展国民经济,提高产品和工程建设质量,提高劳动生产率,搞好环境保护和安全卫生以及改善人民生活等都有着重要作用。

我国政府十分重视标准化工作,从1958年发布第一批120个国家标准起,至今已制定1万多个国家标准。自1978年我国恢复为国际标准化组织(ISO)成员国以来,陆续地修订了我国的标准,并以国际标准为基础制订新的公差标准,向ISO靠拢。可以预料,在我国现代化建设过程中,我国标准化的水平和公差标准的水平将大大提高,并对国民经济的发展作出更大的贡献。

1.3.2 几何量测量

实践证明,有了先进的公差标准,对机械产品各零部件的几何量分别规定了合理的公差,还要有相应的技术测量措施,零件的使用功能和互换性才能得到保证。

几何量测量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,测量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。1955年我国成立了国家计量局,以加强全国计量工作的领导。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基本长度计量单位。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。1984年发布了《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 年颁布了我国计量法。这样,在国家、省市、企业各级计量机构管理下,我国的长度计量单位已基本得到统一,尺寸的准确传递也已得到实现。

与此同时,我国的计量器具也有了较大的发展。我国长度计量仪器的精度已由 0.01mm 级提高到 0.001mm 级,甚至达到 0.0001mm 级。测量的空间已由二维空间发展到三维空间。测量的尺寸小至微米级,大至米级。测量的自动化程度已从人工读数测量发展到自动定位测量、计算机数据处理、自动显示和打印结果。

我国目前已能生产许多品种的量仪,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、电动轮廓仪、圆度仪等。此外,还研制成一些达到世界先进水平的量仪,如激光光波干涉比长仪、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 激光器等,以满足我国工业生产日益增长的需要。

1.4 优先数和优先数系

工程上各种技术参数的协调、简化和统一,是标准化的重要内容。

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,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,并将进而传播到加工和检验这些零部件的刀具、量具、夹具及机床等的相应参数上。这种技术参数的传播,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,经过反复传播以后,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、维修等带来很大的困难。因此,对于各种技术参数,必须从全局出发,加以协调。

优先数和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。

工程技术上通常采用的优先数系,是一种十进几何级数。即级数的各项数值中,包括 1, 10, 100, ..., 10^N 和 0.1, 0.01, ..., $1/10^N$ 这些数,其中的指数 N 是整数。

对每个十进段再进行细分。设计、使用时必须选择优先数系列中的某一项值。

几何级数的数系是按一定的公比 q 来排列每一项数值的,其中每一项数值就称为优先数。优先数系的基本系列有以下四种公比的数列:

$$R_5: q_5 = \sqrt[5]{10} = 1.5849 \approx 1.6$$

$$R_{10}: q_{10} = \sqrt[10]{10} = 1.2589 \approx 1.26$$

$$R_{20}: q_{20} = \sqrt[20]{10} = 1.1220 \approx 1.12$$

$$R_{40}: q_{40} = \sqrt[40]{10} = 1.0593 \approx 1.06$$

另有补充系列

$$R_{80}: q_{80} = \sqrt[80]{10} = 1.02936 \approx 1.03$$

优先数系列在各项公差标准中得到了广泛的应用,公差标准中的许多值,都是按照优先数系列选定的。例如,《极限与配合》国家标准中公差值就是按 R_5 优先数系列确定的,即后一个数是前一个数的 1.6 倍。

范围 1 到 10 的优先数系如表 1.1 所示,所有大于 10 的优先数均可按表列数乘以 10, 100, …求得;所有小于 1 的优先数,均可按表列数乘以 0.1, 0.01, …求得。

表 1.1 优先数基本系列

基 本 系 数 (常用值)				计 算 值
R ₅	R ₁₀	R ₂₀	R ₄₀	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000
			1.06	1.0593
			1.12	1.1220
			1.18	1.1885
			1.25	1.2589
			1.32	1.3335
			1.40	1.4125
			1.50	1.4962
			1.60	1.5849
			1.70	1.6788
1.60	1.60	1.60	1.80	1.7783
			1.90	1.8836
			2.00	1.9953
			2.12	2.1135
			2.24	2.2387
			2.36	2.3714
			2.50	2.5119
			2.65	2.6607
			2.80	2.8184
			3.00	2.9854
2.50	2.50	2.50	3.15	3.1623
			3.35	3.3497
			3.55	3.5481
			3.75	3.7584
			4.00	3.9811
			4.25	4.2170
			4.50	4.4668
			4.75	4.7315
			5.00	5.0119
			5.30	5.3088
4.00	4.00	4.00	5.60	5.6234
			6.00	5.9566
			6.30	6.3096
			6.70	6.6834
			7.10	7.0795
			7.50	7.4989
			8.00	7.9433
			8.50	8.4140
			9.00	8.9125
			9.50	9.4406
6.30	6.30	6.30	10.00	10.0000
10.00	10.00	10.00		

有时在工程上还采用 $R_{10/3}$ 的系列,其公比为 $q=(\sqrt[10]{10})^3=1.2589^3\approx 2$,此即倍数系列,即在 R_{10} 系列中,每隔三个数选一个,此时所有的数都是成倍地增加的。

优先数的主要优点是:

- ① 相邻两项的相对差均匀,疏密适中,而且运算方便,简单易记;
- ② 在同一系列中优先数(理论值)的积、商、整数(正或负)的乘方等仍为优先数;
- ③ 优先数可以向两端延伸。

因此,优先数系得到了广泛的应用,并成为国际上统一的数值制。

小结

机器零部件的互换性必须同时满足三个条件,即①装配前不需挑选;②装配时不需修配和调整;③装配后能满足使用要求。

本门学科所研究的互换性,主要是围绕几何量参数而进行的,随着科学技术的日新月异,互换性已不只仅限于大量生产。在柔性生产线上,多品种、小批量,甚至单件生产都需要互换性。

根据不同对象、不同部门、不同的技术要求,可采用完全互换、不完全互换、内互换和外互换等。

互换性在设计、制造、使用、维修等方面都起着很大的作用。

几何量误差可分为尺寸误差、几何形状误差(包括宏观几何形状误差、微观几何形状误差和表面波度)、相互位置误差。误差的产生是不可避免的,但必须控制在公差所规定的范围内。

互换性是现代化生产的重要原则,但互换性只有通过标准化来实现。制订和贯彻公差标准,采用相应的技术测量措施,是实现互换性的必要条件。近年来,我国在标准化和计量工作上有了很大的发展,各种公差制都积极地向 ISO 靠拢,长度计量单位也基本统一,测量技术和计量器具有了较大的发展。

标准化是一门科学,涉及面很广。在互换性学科方面最直接应用的是标准化了的优先数系,在今后各章中均会用到。掌握好优先数系的实质和概念,对今后的技术工作是有益的。

习题与思考题

1. 什么叫互换性?在机械制造中按互换性原则组织生产有哪些优越性?
2. 完全互换和不完全互换有何区别?各适用于何种场合?
3. 什么是加工误差和公差?加工误差分为哪几种?
4. 什么是标准和标准化?标准化与互换性有何关系?我国技术标准分哪几级?各级之间是怎样的关系?
5. 为何要采用优先数系? $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{40}$ 系列各代表什么?

2 光滑圆柱体结合的极限与配合

2.1 概述

光滑圆柱体结合通常指孔与轴的结合,是机器中应用最广泛的一种结合形式。适用于光滑圆柱体的《极限与配合》标准也是最早建立的、应用最广泛的基础标准。它以圆柱体内、外表面的结合为重点,但也适用于广泛意义上的孔与轴,即其他结合中由单一尺寸组成的部分。如键结合中的键与键槽的结合等。

在机器制造业中,“极限”用于协调机器零件的使用要求和制造经济性之间的矛盾;而“配合”则反映零件组合时相互之间的关系。经标准化的极限与配合制度,有利于机器的设计、制造、使用和维修,有利于保证产品精度、使用性能和寿命等各项使用要求,也有利于刀具、量具、夹具和机床等工艺装备的标准化。国际标准化组织(ISO)和世界各国主要工业国家对“极限与配合”的标准化都给予了高度的重视。

1979年我国颁布的“公差与配合”的国家标准包括五个标准:GB1800—1979《公差与配合 总论 标准公差与基本偏差》;GB1801—1979《公差与配合 尺寸至500mm 孔、轴公差带与配合》;GB1802—1979《公差与配合 尺寸大于500至3150mm 常用孔、轴公差带》;GB1803—1979《公差与配合 尺寸至18mm 孔、轴公差带》;GB1804—1979《公差与配合 未注公差尺寸的极限偏差》。为了适应现代机械工业的发展,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”国家标准十多年的贯标实情,现GB1800—1979已更新为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》;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》。GB1804—1979已更新为GB/T1804—1992《一般公差 线性尺寸的未注公差》。

本章仅就以上国家标准的主要内容作一简要介绍,主要阐述极限与配合国家标准的组成规律、特点及基本内容,并分析极限与配合选用的原则和方法。

2.2 极限与配合的基本术语及定义

为了正确掌握极限与配合标准及其应用,统一设计、工艺、检验等人员对极限与配合标准的理解,必须明确规定有关极限与配合的基本概念、术语及定义。术语及定义的统一是所有极限制的重要内容之一。

2.2.1 孔和轴

在极限与配合标准中,孔与轴这两个术语有其特定的含义,它关系到标准的应用范围(见图2.1)。

2.2.1.1 孔

通常指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(两平行平面或切面形成的包容面)。

2.2.1.2 轴

通常指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(两平行平面或切面形成的被包容面)。

从装配关系看,孔是包容面,轴是被包容面。从加工过程看,随着余量的切削,孔的尺寸由小变大,轴的尺寸由大变小。此外,孔、轴在测量上也有所不同。例如,测孔用内卡尺;测轴用外卡尺。

极限与配合标准中的孔、轴都是由单一的主要尺寸构成。例如,圆柱体的直径,键与键槽的宽度等。

根据上述定义,在图2.1中左半部均为轴,右半部均为孔。

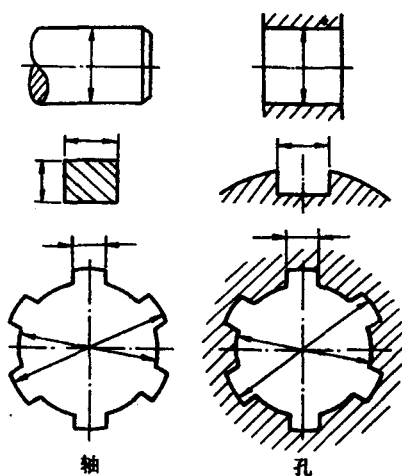


图 2.1 轴与孔

2.2.2 尺寸

(1) 尺寸的定义:以特定单位表示线性尺寸值的数值,称为尺寸。如直径、半径、长度、宽度、高度、深度等都是尺寸。在机械制造中,一般常用毫米(mm)作为特定单位。在图样上标注尺寸时,均可只写数字,不写单位。

(2) 基本尺寸:是由设计给定的尺寸,孔用 D 表示,轴用 d 表示。它是设计者经过计算或根据经验而确定的,一般应符合标准尺寸系列,以减少定值刀具、量具的种类。

由于有制造误差,而且在不同场合对孔与轴的配合有不同的松紧要求,因此工件加工完成后所得的实际尺寸一般不等于其基本尺寸。从某种意义上说,基本尺寸是用以计算其他尺寸的一个依据。

(3) 实际尺寸:是通过测量所得的尺寸。由于存在测量误差,实际尺寸并非被测尺寸的真值。例如,轴的尺寸为 $\phi 25.987\text{mm}$,测量误差在 $\pm 0.001\text{mm}$ 以内,则实际尺寸的真值将在 $\phi 25.988 \sim \phi 25.986\text{mm}$ 之间。真值是客观存在的,但又是不知道的,因此只能以测得的尺寸作为实际尺寸。

此外,由于工件存在着形状误差,所以同一个表面不同部位的实际尺寸也不完全相同。

(4) 极限尺寸:允许尺寸变化的两个界限值称为极限尺寸。它以基本尺寸为基数来确定。两个界限值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。孔和轴的最大、最小极限尺寸分别用 $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$ 和 $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$ 表示。极限尺寸是用来限制实际尺寸的。

2.2.3 偏差和公差

(1) 尺寸偏差(简称偏差):某一尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称为偏差。

偏差包括实际偏差与极限偏差,而极限偏差又分为上偏差和下偏差。

实际尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差。最大极限尺寸减去其基本尺寸所

得的代数差称为上偏差。孔的上偏差用 ES 表示；轴的上偏差用 es 表示。最小极限尺寸减去其基本尺寸所得的代数差称为下偏差。孔的下偏差用 EI 表示；轴的下偏差用 ei 表示。极限偏差可用下列公式表示：

$$\text{孔的上偏差 } ES = D_{\max} - D \quad \text{下偏差 } EI = D_{\min} - D$$

$$\text{轴的上偏差 } es = d_{\max} - d \quad \text{下偏差 } ei = d_{\min} - d$$

(2) 尺寸公差(简称公差):允许尺寸的变动量称为公差。公差是用以限制误差的,工件的误差在公差范围内即为合格;反之,则不合格。

公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值,也等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。孔公差用 T_D 表示;轴公差用 T_d 表示。公差、极限尺寸和极限偏差的关系如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{孔公差 } T_D &= |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \\ \text{轴公差 } T_d &= |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

图2.2是公差与配合的一个示意图,它表明了两个相互结合的孔和轴的基本尺寸、极限尺寸、极限偏差与公差的相互关系。

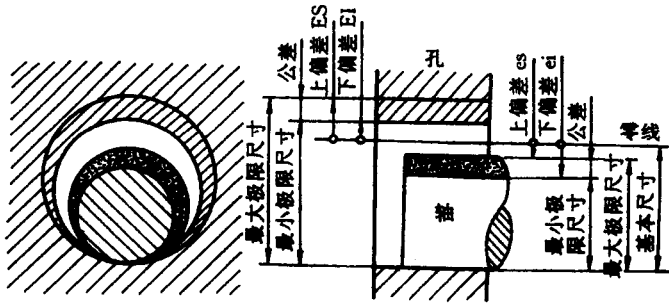


图 2.2 公差与配合示意图

公差与偏差的比较:

- ① 偏差可以为正值、负值或零,而公差则一定是正值。
- ② 极限偏差用于限制实际偏差,而公差用于限制误差。
- ③ 对单个零件只能测出尺寸的“实际偏差”,而对数量足够的一批零件,才能确定尺寸误差。
- ④ 偏差取决于加工机床的调整(如车削时进刀的位置),不反映加工难易,而公差表示制造精度,反映加工难易程度。
- ⑤ 极限偏差主要反映公差带位置,影响配合松紧程度,而公差代表公差带大小,影响配合精度。

2.2.4 零线与公差带图

由于公差及偏差的数值与尺寸数值相比,差别甚大,不使用同一比例表示,故采用公差与配合图解(简称公差带图解),如图2.3所示。

零线:在公差带图中,确定偏差的一条基准直线,即零偏差线。通常,零线表示基本尺寸。

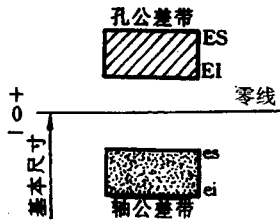


图 2.3 公差带图