



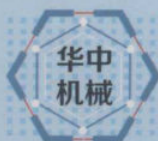
21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

互换性与技术测量

(第五版)

主编 杨曙年 张新宝 常素萍
主审 李柱

HUHUANXING YU JISHU CELIANG



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

互换性与技术测量

(第五版)

熊有伦

主编 杨曙年 张新宝 常素萍

主审 李柱

主任

委员

于骏 王安麟 王健 王明 毛志远

石武新 卢文祥 朱承高 傅汉民

李斌 杜冬波 杨建强 吴国林 吴一斌

吴宗泽 何玉林 何岭松 蒋康宁 阮心昭

陈明 陈定方 张春林 张福海 张策

张健民 冷增祥 范华汉 周相

华中科技大学出版社

中国·武汉



内 容 简 介

本书以各类制造装备制件(包括零、部件和整机)的几何参数为研究对象,介绍涉及设计、制造及使用全过程的几何参数精度理论及相应技术规范、精度的测试评价方法以及精度的设计方法及其应用,这些知识和技能是高等工科院校制造类及仪器仪表类专业的重要技术基础。

本书第1章和第2章为基本原理部分,其中:第1章介绍互换性原理及其所属学科标准化原理的基本知识;第2章介绍测量技术的基本概念、测量的基本原则,测量数据获取及分析处理的基本方法。第3章、第4章和第5章分别介绍构成制件基本几何要素的尺寸、形状和位置,以及表面粗糙度的精度规范及其设计与应用。第6章和第7章介绍滚动轴承、键与花键、螺纹、锥度与角度,以及齿轮等典型零、部件的几何精度规范及其设计与应用。第8章介绍制件各要素间,以及制件与制件之间相关尺寸的精度联系及尺寸链的基本分析计算方法。

本书引用了基于第二代GPS的最新国家标准和技术资料,在第四版基础上修改完善而成。本书可供高等院校机械类、近机类以及仪器仪表类专业本科教学用,也可供相关专科学子、有关科研院所及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与技术测量/杨曙年,张新宝,常素萍主编.—5版.—武汉:华中科技大学出版社,2019.1
ISBN 978-7-5680-4907-8

I. ①互… II. ①杨… ②张… ③常… III. ①零部件-互换性-高等学校-教材 ②零部件-技术测量-高等学校-教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第296557号

互换性与技术测量(第五版)
HUHUANXING YU JISHU CELIANG

杨曙年 张新宝 常素萍 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:吴 晗

封面设计:原色设计

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)
武汉市东湖新技术开发区华工科技园

电话:(027)81321913

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.25

字 数:526千字

版 次:2019年1月第5版第1次印刷

定 价:49.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编 审 委 员 会

顾问： 姚福生 黄文虎 张启先
(工程院院士) (工程院院士) (工程院院士)

谢友柏 宋玉泉 艾 兴
(工程院院士) (科学院院士) (工程院院士)

熊有伦
(科学院院士)

主任： 杨叔子 周 济 李培根
(科学院院士) (工程院院士) (工程院院士)

委员： (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一 王安麟 王连弟 王明智 毛志远

左武炘 卢文祥 朱承高 师汉民 刘太林

李 斌 杜彦良 杨家军 吴昌林 吴 波

吴宗泽 何玉林 何岭松 陈康宁 陈心昭

陈 明 陈定方 张春林 张福润 张 策

张健民 冷增祥 范华汉 周祖德 洪迈生

姜 楷 殷国富 宾鸿赞 黄纯颖 童秉枢

傅水根 傅祥志 廖效果 黎秋萍 戴 同

秘书： 刘 锦 徐正达 万亚军

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

“中心藏之，何日忘之”，在新中国成立 60 周年之际，时隔“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”出版 9 年之后，再次为此系列教材写序时，《诗经》中的这两句诗又一次涌上心头，衷心感谢作者们的辛勤写作，感谢多年来读者对这套系列教材的支持与信任，感谢为这套系列教材出版与完善作过努力的所有朋友们。

追思世纪交替之际，华中科技大学出版社在众多院士和专家的支持与指导下，根据 1998 年教育部颁布的新的普通高等学校专业目录，紧密结合“机械类专业人才培养方案体系改革的研究与实践”和“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革研究与实践”两个重大教学改革成果，约请全国 20 多所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师，经多年辛勤劳动编写了“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。这套系列教材共出版了 20 多本，涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程，是一套改革力度比较大的教材，集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校在改革机械工程类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材出版发行 9 年来，已被全国数百所院校采用，受到了教师和学生的广泛欢迎。目前，已有 13 本列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材，多本获国家级、省部级奖励。其中的一些教材（如《机械工程控制基础》《机电传动控制》《机械制造技术基础》等）已成为同类教材的佼佼者。更难得的是，“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”也已成为一个著名的丛书品牌。9 年前为这套教材作序的时候，我希望这套教材能加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作，对机械工程类专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用，现在看来，这一目标很好地达到了，让人倍感欣慰。

李白讲得十分正确：“人非尧舜，谁能尽善？”我始终认为，金无足赤，人无完人，文无完文，书无完书。尽管这套系列教材取得了可喜的成绩，但毫无疑问，这套书中，某本书中，这样或那样的错误、不妥、疏漏与不足，必然会存在。何况形势

总在不断地发展,更需要进一步来完善,与时俱进,奋发前进。较之9年前,机械工程学科有了很大的变化和发展,为了满足当前机械工程类专业人才培养的需要,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,对这套系列教材进行了全面修订,并在原基础上进一步拓展,在全国范围内约请了一大批知名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地更新和丰富“21世纪机械设计制造及其自动化专业系列教材”。此次修订可谓非常必要,十分及时,修订工作也极为认真。

“得时后代超前代,识路前贤励后贤。”这套系列教材能取得今天的成绩,是几代机械工程教育工作者和出版工作者共同努力的结果。我深信,对于这次计划进行修订的教材,编写者一定能在继承已出版教材优点的基础上,结合高等教育的深入推进与本门课程的教学发展形势,广泛听取使用者的意见与建议,将教材凝练为精品;对于这次新拓展的教材,编写者也一定能吸收和发展原教材的优点,结合自身的特色,写成高质量的教材,以适应“提高教育质量”这一要求。是的,我一贯认为我们的事业是集体的,我们深信由前贤、后贤一起一定能将我们的事业推向新的高度!

尽管这套系列教材正开始全面的修订,但真理不会穷尽,认识不是终结,进步没有止境。“嚶其鸣矣,求其友声”,我们衷心希望同行专家和读者继续不吝赐教,及时批评指正。

是为之序。

中国科学院院士

tsing

2009.9.9

前 言

“互换性与技术测量”以标准化和计量学两个学科的基本理论作为基础,是一门综合性很强的应用技术基础学科。其内容是机械类、近机类以及仪器仪表类等涉及制造和测试计量学科各专业的重要技术基础。

“互换性与技术测量”以各类制件(包括零、部件和整机)的几何参数为对象,研究制件的精度理论、精度控制规范及其技术实现,主要反映:制件几何参数精度规范的制定和实施,即几何参数精度的标准及标准化;几何参数精度的设计方法,即科学、合理地确定各类制件几何参数值的极限;制件几何参数的检测及精度评价方法,即通过相应的测量方法,来保证制件互换性的实现。“互换性与技术测量”内容的本质涉及制件几何参数精度评价与保证体系的基本原理及其应用,是保证制件具备经济、合理的制造和使用质量的技术基础。

自 20 世纪 90 年代来,国际标准化组织 ISO 根据科技发展水平及实际应用的需求,把需控制几何参数精度的制件统称为“几何产品”,并成立新的技术委员会 ISO/TC213,全面修订 ISO 公差标准,制定并逐步完善“几何产品技术规范与认证”(geometrical product specifications and verification,简称 GPS)体系。该体系的系列标准以现代数字化设计和制造技术、测试计量技术和评价方法为背景,针对产品实际几何参数值具有较强的随机性特征,综合考虑几何产品的功能、规范、制造、测量认证的全过程来规范和检测评价产品的几何精度。GPS 标准对以几何学为基础来规范和控制几何参数精度的传统公差来说是一次大的变革,其对控制产品制造和检测中具有随机性的几何参数的误差更具针对性,对计算机辅助公差设计(computer aided tolerancing, CAT)、计算机辅助测试(computer aided test, CAT)、计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)等现代设计制造和检测技术更具适应性。目前,对规范几何产品的精度控制仍处于传统标准体系向现代 GPS 体系的过渡期,且 GPS 体系也在不断完善过程中。本书在以后者为主并兼顾前者的指导思想下,根据几何产品的制作精度和使用精度的客观规律,介绍制件精度控制的基本原理、规范及其技术实现。

由于本书的主要应用对象为高等学校本科生,因而没有单列章节介绍 GPS 体系的构成,而主要介绍各相关标准所涉及的基本概念和基本术语定义,标准的基本构成规律,相应几何参数误差的控制和检测评价方法,以及相应几何参数精度的设计方法和图样标注方法等。本书也可供相关专业专科学生、有关科研院所及工程技术人员参考。

本书(本次修订版)由杨曙年、张新宝、常素萍任主编。各章编写分工为:第 1 章、第 2 章、第 3 章,杨曙年编写;第 4 章、第 5 章、第 6 章,杨曙年、张新宝编写;第 7 章,杨曙年、汪洁、张新宝编写;第 8 章,杨曙年、张新宝编写。本书配套电子资源由常素萍制作完成。本书由李柱审

阅。

本书(本次修订版)的编写得到华中科技大学教改基金的资助,编者在此表示衷心感谢;同时也向本书前四版的所有编者致谢!

由于本次修订与上一版修订的时间跨度较大,相关国家标准在基本概念、名词术语定义、评定参数及检测方法等方面有较多变动,导致本版调整修改之处较多,加上编者的水平有限,书中难免有疏忽错误之处,欢迎读者批评指正!

编者

2018年10月于华中科技大学

目 录

第 1 章 互换性与标准化概论	(1)
1.1 互换性概述	(1)
1.1.1 互换性的含义	(1)
1.1.2 互换性的分类	(1)
1.1.3 互换性的意义	(3)
1.1.4 互换性生产的发展	(3)
1.1.5 制造误差与精度设计	(4)
1.2 标准化及优先数系	(7)
1.2.1 标准和标准化的意义	(7)
1.2.2 标准化的基本原理	(10)
1.2.3 技术参数数值系列的标准化	(13)
第 2 章 技术测量概论	(18)
2.1 技术测量的基本知识	(18)
2.1.1 计量单位与量值传递系统	(18)
2.1.2 测量方法和测量器具的分类	(23)
2.1.3 测量器具和测量方法的基本评价指标	(25)
2.2 被测长度量在测量中的基本变换方式	(27)
2.3 测量误差及其评定	(37)
2.3.1 测量误差及其产生的原因	(37)
2.3.2 测量误差的分类	(39)
2.3.3 测量数据的处理与测量误差的评定	(40)
2.4 技术测量的基本原则	(48)
第 3 章 圆柱体结合的互换性	(54)
3.1 概述	(54)
3.2 有关极限与配合的术语和定义	(55)
3.2.1 关于孔与轴	(55)
3.2.2 关于尺寸的术语及定义	(56)
3.2.3 关于偏差及公差的术语及定义	(57)
3.2.4 关于配合的术语及定义	(59)
3.2.5 关于极限制与配合制的术语及定义	(63)
3.3 公差值(公差带大小)的标准化	(63)
3.3.1 标准公差	(63)
3.3.2 标准公差系列	(65)
3.4 基本偏差(公差带位置)的标准化	(68)
3.4.1 基本偏差的意义和代号	(68)

3.4.2	基本偏差的计算	(69)
3.5	公差带和配合选用的标准化	(79)
3.5.1	标准推荐选用的公差带	(79)
3.5.2	标准推荐选用的配合	(80)
3.6	公差带和配合选择的综合分析	(82)
3.6.1	基准制的选择	(82)
3.6.2	公差等级的选择	(84)
3.6.3	配合种类的选择	(87)
3.7	孔、轴尺寸的检验	(94)
3.7.1	用光滑极限量规检验尺寸	(94)
3.7.2	用通用计量器具检验尺寸	(102)
第4章	几何公差	(108)
4.1	概述	(108)
4.2	基本概念	(109)
4.3	几何公差及几何误差的测量评定	(114)
4.3.1	形状公差及形状误差的测量评定	(114)
4.3.2	方向公差及方向误差的测量评定	(133)
4.3.3	位置公差及位置误差的测量评定	(141)
4.3.4	跳动公差及跳动误差的测量评定	(145)
4.4	公差原则	(148)
4.4.1	独立原则	(149)
4.4.2	相关要求	(149)
4.5	几何精度设计	(163)
4.5.1	公差原则的应用	(163)
4.5.2	几何公差项目的选择	(164)
4.5.3	几何公差值的确定	(165)
4.5.4	几何公差的图样标注	(171)
第5章	表面粗糙度及其评定	(179)
5.1	表面结构概述	(179)
5.1.1	表面形貌的几何特征	(179)
5.1.2	表面粗糙度对使用性能的影响	(179)
5.2	表面轮廓的划分及表面粗糙度的评定	(180)
5.2.1	表面轮廓的划分	(180)
5.2.2	表面轮廓的评定基准	(181)
5.2.3	表面轮廓几何形貌的基本术语	(183)
5.2.4	表面粗糙度的评定参数	(183)
5.3	表面粗糙度的选用及标注	(186)
5.3.1	表面粗糙度的选用	(186)
5.3.2	表面粗糙度的注法规定	(188)
5.3.3	表面粗糙度图样标注示例	(193)

5.4	表面粗糙度的测量	(194)
5.4.1	目测或感触法	(194)
5.4.2	非接触测量法	(194)
5.4.3	接触测量法	(197)
第6章	典型零部件的互换性	(200)
6.1	滚动轴承与支承孔、轴配合的互换性	(200)
6.1.1	概述	(200)
6.1.2	滚动轴承的精度	(200)
6.1.3	滚动轴承与支承孔、轴结合的极限与配合	(204)
6.1.4	滚动轴承与支承孔、轴配合的选用	(205)
6.1.5	支承孔、轴配合表面的几何公差与表面粗糙度要求	(209)
6.2	键与花键结合的互换性	(210)
6.2.1	平键结合的互换性	(210)
6.2.2	花键结合的互换性	(212)
6.3	螺纹结合的互换性	(218)
6.3.1	普通螺纹的分类	(218)
6.3.2	普通螺纹结合的主要参数	(218)
6.3.3	普通螺纹的公差与配合	(219)
6.3.4	普通螺纹的标记	(224)
6.3.5	螺纹的作用中径及中径的合格性判断	(224)
6.3.6	普通螺纹的检测	(227)
6.4	圆锥结合的互换性	(230)
6.4.1	圆锥结合的主要几何参数	(231)
6.4.2	圆锥公差	(232)
6.4.3	圆锥配合	(236)
6.4.4	圆锥公差的标注	(238)
6.4.5	角度和锥度的测量	(241)
第7章	渐开线圆柱齿轮传动的互换性	(247)
7.1	齿轮传动的使用要求及制造误差	(247)
7.1.1	齿轮传动的使用要求	(247)
7.1.2	齿轮制造误差分析	(249)
7.2	齿轮制造误差的控制及检测	(253)
7.2.1	控制单个齿轮加工误差的单项参数及其检测	(253)
7.2.2	控制单个齿轮加工误差的综合参数及其检测	(264)
7.3	齿轮副装配误差的控制参数	(269)
7.4	齿侧间隙及齿轮副的配合	(270)
7.5	齿轮及齿轮副制造的精度设计	(271)
7.5.1	单个齿轮的制造精度规定及选用	(271)
7.5.2	齿轮坯和齿轮副的精度要求及选用	(275)
7.5.3	齿侧间隙及齿厚极限偏差的确定	(276)

参数值充分近似所达到的互换性。此为狭义互换性,即通常所讲的互换性,有时也局限于反映保证零件尺寸配合或装配要求的互换性,也是本教材主要涉及的互换性。

(2) 功能互换性 功能互换性是指通过规定功能参数的极限所达到的互换性。功能参数既包括几何参数,也包括其他一些参数,如材料力学性能参数、化学、光学、电学、流体力学等参数。此为广义互换性,往往着重于保证除几何参数互换性要求或装配要求以外的其他功能要求。

2. 按方法及程度分

按实现方法及互换程度的不同,互换性可分为完全互换性(极值互换)和不完全互换性等两类。

(1) 完全互换性 完全互换性是指零、部件在装配或更换时不仅不需要辅助加工与修配,而且不需选择,即可保证百分之百地满足使用要求的性质。

(2) 不完全互换性 不完全互换性是指零、部件在装配或更换时需要选择或做些加工才能完成装配的性质。

不完全互换性通常包括概率互换(大数互换)、分组互换、调整互换和修配互换等几个种类。

① 概率互换 概率互换是指零、部件的设计制造仅能以接近于1的概率来满足互换性的要求的性质。某些生产场合,从制造技术和制造经济性综合考虑,可按概率互换性要求组织生产,允许一批零件中的极少数不能互换。

② 分组互换 分组互换通常用于某些大批量生产且装配精度要求很高的零件。此时若采用完全互换组织生产,则零件互换参数数值的允许变动量将很小,从而加工困难、成本高,甚至无法加工。在这种情况下,可按分组互换性要求组织生产:将零件互换参数数值的允许变动量适当加大,以减小加工难度;而在加工完后再用测量器具将零件按实际参数值的大小分为若干个组,使同组零件的实际参数值的差别减小,然后按组进行装配。此时,仅同组内的零件可以互换,组与组之间不可互换。分组互换,既可保证装配精度及使用要求,又使零件易于加工、降低制造成本。例如,滚动轴承内、外套圈及滚动体在装配之前,通常要分十几组甚至几十组;内燃机的活塞、活塞销和连杆在装配前,往往要分为三、四组。

③ 调整互换和修配互换 调整互换和修配互换这两类互换性是提高整机互换性水平的一种补充手段,较多应用于单件小批量生产中,特别是在重型机械和精密仪器制造中。在机构或机器进行装配时,往往必须改变装配链中某一零件实际参数值的大小,以其为调整环来减小或消除(补偿)其他零件装配中的累积误差,从而满足总的装配精度等使用要求。调整互换就是通过更换调整环零件或改变它的位置的互换性质,而修配互换是通过调整环零件部分材料的修配来改变调整环实际参数值的大小,从而达到对装配精度补偿的目的的互换性质。需要指出的是,此时组成机构或机器装配链中的所有零件仍然按互换性原则制成,装配过程也遵循互换性原则,但必须对调整环进行调整或修配才能达到总装配精度要求。显然,在进行这样的调整或修配后,若要更换机构或机器的组成零件,则必须对调整环重新进行相应的调整或修配。

3. 按部位或范围分

对独立的标准部件或机构来讲,其互换性可分为外互换与内互换等两类。

(1) 外互换 外互换是指部件或机构与其外部相配零件间的互换性。例如,滚动轴承内套圈与支承轴、外套圈与轴承座孔之间的配合为外互换。从使用的角度考虑,滚动轴承作为标

准部件,其外互换采用完全互换。

(2) 内互换 内互换是指部件或机构内部组成零件之间的互换性。例如,滚动轴承内、外套圈的滚道分别与滚动体(如滚珠、滚柱等)之间的配合为内互换。因这些组成零件的精度要求高,加工难度大,生产批量大,故它们的内互换采用分组互换。

在实际生产组织中,究竟采用何种形式的互换性,要由产品的精度要求与复杂程度、产量大小(生产规模)、生产设备以及技术水平等一系列因素来决定。

1.1.3 互换性的意义

机械工程中互换性的意义体现在产品或制件的设计、制造和使用等方面。

从使用上看,若产品或制件具有互换性,则它们磨损或损坏后,可以方便、及时地用新的备件取代。例如,各种内燃机的活塞、活塞销、活塞环等易损件,各种滚动轴承等易耗件都是按互换性原则生产的。由于零备件具有互换性,因而维修方便,维修时间和费用少,可以保证机器工作的连续性和持久性,从而可显著提高机器的使用价值。

从制造上看,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、部件具有互换性,不需辅助加工和修配,故能减轻装配工作的劳动,缩短装配周期,并且可按流水作业方式进行装配工作,乃至进行自动装配,从而可大大提高装配生产率。加工时,由于按互换性原则组织生产,同一部机器上的各个零件可以同时分别按规定的参数极限制造。对于一些应用量大面广的标准件,还可由专门的车间或专业厂单独生产。这样,由于产品单一、数量多、分工细,可广泛采用高效专用加工设备。因而,产量和质量必然会得到明显提高,生产成本随之也会显著降低。

从设计上看,由于按互换性原则来设计,尽量采用具有互换性的零、部件或独立机构以及总成,故可简化计算、绘图等工作,缩短设计周期,也便于各种现代 CAD 方法的应用。这对发展产品的多样化、系列化,促进产品结构、性能的不断改进,都有重大作用。

从上述互换性的作用可知,在机器制造中遵循互换性原则,不仅能显著地提高劳动生产率,而且能有效地保证产品质量和降低成本,因而互换性是机器制造可持续发展的重要生产原则和技术基础。从根本上讲,按互换性原则组织生产,实质上就是按分工协作的原则组织生产,而“分工与协作造成的生产力不费资本分文”,因此可以获得巨大的经济效益。

1.1.4 互换性生产的发展

互换性的产生和发展经历了漫长的历史过程,它与社会的需求及生产技术的发展密切相关。在早期的制造业中,制件中涉及的有相互结合零件,都是按“配作”的方式制造的。在这种情况下,生产效率低下,且有关零件完全没有互换性可言。后来在兵器工业发展需求的刺激下,沙俄帝国图里斯基(Тульский)兵工厂于 1760 年至 1770 年出现了关于利用标准量规进行互换性生产的记载;美国关于按互换性原则大量生产步枪的记载是在 1798 年。虽然我国近代工业的发展处于世界的落后地位,但古代应用互换性原则进行生产的历史则很早。这点可以从秦皇陵兵马俑坑出土的上万件兵器上得到证实。如图 1-1 所示,以出土的弩机(远射程弓箭的扳机)为例,它的几个组成零件都是青铜制品,其中的圆柱销与另两个零件的三个孔分别形成间隙配合,且一批弩机的这些零件都具有互换性。从出土的大量青铜镞(箭头)的实测结果看,不仅每一个镞的三个刃口的分度尺寸以及三个刃口的长度尺寸的差别很小,而且一批镞之间的尺寸差别也很小;同时这批镞的表面光洁,镞尖曲线与现代自动步枪弹头的曲线一致。可

见它们已具备相当好的功能互换性。我国机器制造业采用现代互换性原则也是先出现于兵器工业,如1931年的沈阳兵工厂和1937年的金陵兵工厂,均在互换性生产上具有了相当的规模。



图 1-1 秦始皇陵兵马俑坑出土兵器

当今,无论是从广度或深度来讲,互换性生产的发展都已进入了一个新的阶段。不仅由装配互换性发展到功能互换性,由几何参数的互换性发展到其他质量参数的互换性,由成批、大量生产的互换性发展到单件、小批量生产的互换性,而且超出了机械工业的范畴,扩大到了其他行业。其中典型的例子是近年来飞速发展的电子制造工业。由于按互换性原则生产电子工业产品、元器件、功能模块及整机,不但制造成本大幅度降低,而且极大地方便了产品的更新换代,从而丰富了产品的品种,扩大了产量与销售量。另外,在其他一些新兴产业中,也都可以看到互换性原则的应用与发展。可以说,作为一门基础技术科学,互换性原则为当今信息社会的到来及今后的发展已经并将继续做出巨大的贡献。

1.1.5 制造误差与精度设计

1. 互换性与制造误差

按照前述机械工程中互换性的含义,要实现几何参数互换性,首先要按规定的互换性参数的极限范围来加工制造它们。之所以要规定参数的极限范围,是因为在互换性生产的过程(包括设计、加工、检测、装配、使用等)中自始至终都存在误差,这是公理。

为保证互换性,应将实际参数值限制在允许的极限范围内。这里,允许实际参数值在极限范围内的最大变动量称为公差。公差是用于限制误差的,对制件的几何参数而言,通常加工过程中可能出现以下几种制造误差。

(1) 尺寸误差 加工后得到制件的实际尺寸与规定的期望尺寸不一致,二者的差别为尺寸误差。

(2) 几何形貌误差 加工后得到制件几何要素(构成制件几何特征的点、线、面)的实际形貌与规定的理想形貌往往不一致,二者的差别便是几何形貌误差。根据这些几何要素的尺度特征,通常几何形貌误差可分为以下三种。

① 宏观几何形貌误差 宏观几何形貌误差指制件上实际要素整体上与该要素的理想要素之间的差别,通常称为形状误差。如图 1-2(轴截面图)所示的实际加工获得的实际圆形轮廓,与其理想圆之间存在圆度误差。

② 微观几何形貌误差 如图 1-2 所示, 制品实际表面放大后, 可见存在许多具有间距很小、高度也很小的峰谷, 这种微观的几何形貌特征称为表面粗糙度。

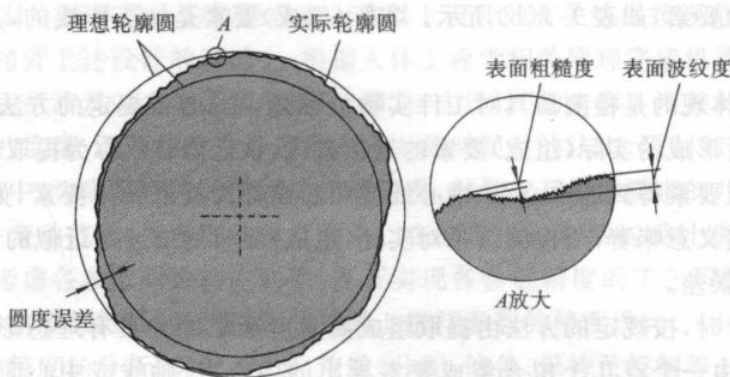


图 1-2 几何形貌误差

③ 表面波纹度 如图 1-2 所示, 介于宏观和微观几何形貌误差之间的实际表面几何特征称为表面波纹度, 亦称波度。

(3) 几何要素之间的位置误差 制品通常由多个几何要素按一定的相对位置关系构成, 而经加工后得到制品各几何要素的实际相对位置往往与其理想相对位置不一致, 二者的差别便是位置误差。如图 1-3 所示的阶梯轴, 左端直径为 ϕD 轴的轴线应与右端直径为 ϕd 轴的轴线同轴, 而加工后两实际轴线往往不同轴, 出现相对位置上的误差。

2. 要素

为规范对制品几何参数的描述和对制造误差的控制, 国家标准 GB/T 18780—2002《产品几何量技术规范(GPS) 几何要素 第 1 部分 基本术语和定义》将构成制品特定部位几何特征的点、线、面称为要素, 把面或面上的线称为组成要素(俗称轮廓要素), 由一个或几个组成要素得到的中心点、中心线或中心面称为导出要素(俗称中心要素)。图 1-4 所示的为由点、线、面构成一个具有几何特征的零件外形。要素可以是平面、圆柱面、球面、二平行平面、圆锥面、轴线、球心等。

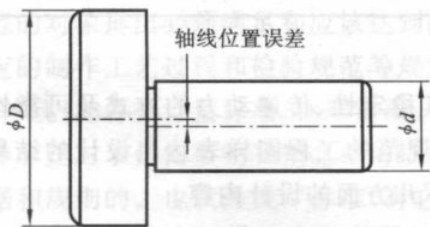


图 1-3 轴线的位置误差

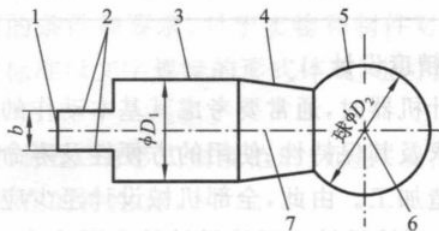


图 1-4 要素

- 1—平面; 2—二平行平面; 3—圆柱面;
4—圆锥面; 5—球面; 6—球心; 7—轴线

针对工件在不同制造阶段要素所处的不同状态, GB/T 18780 对要素做了进一步的分类。

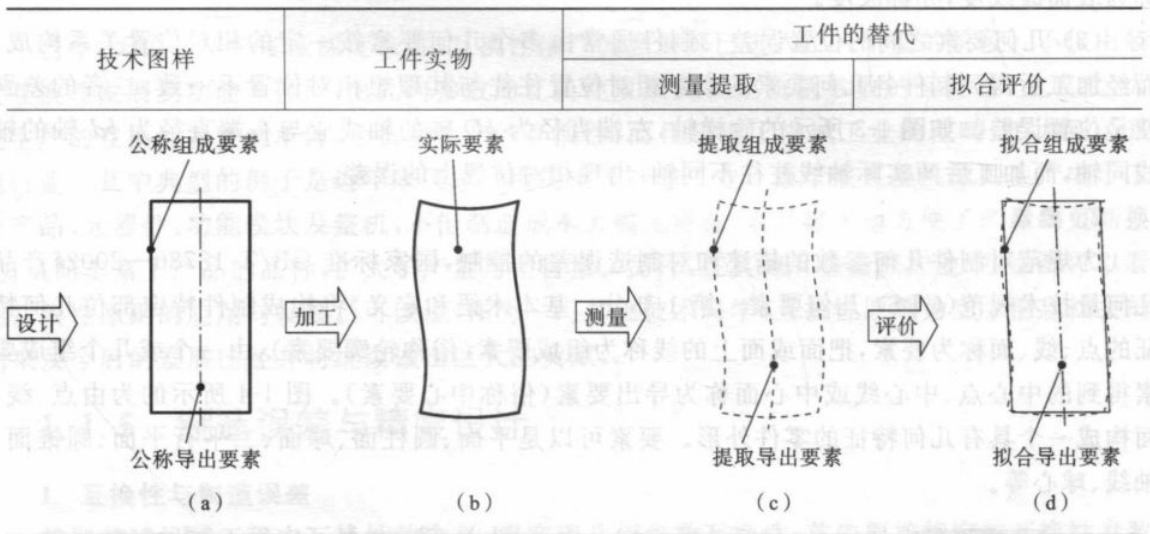
设计时, 设计者通过技术图样或其他方法来描述所需工件的设计意图, 此时要素体现的是理论正确状态。技术图样上给出的理论正确组成要素称为公称组成要素, 而由公称组成要素导出的中心点、中心线或中心面称为公称导出要素, 如表 1-1(a) 所示。公称要素是纯几何学意义上的点、线、面等要素, 与理论上的没有误差。

加工后,工件的要素体现的是实物。此时工件上实际存在并将整个工件与周围介质分隔的一组要素称为工件实际表面。由接近实际(组成)要素所限定的工件实际表面的组成要素部分称为实际(组成)要素,如表 1-1(b)所示。实际(组成)要素是加工形成的,其与公称要素比,存在加工误差。

检测时,要素体现的是检测器具对工件实物的描述。此时按规定的方法提取实际(组成)要素上的有限点所形成的实际(组成)要素的近似替代,该近似替代称为提取组成要素,而由一个或几个提取组成要素得到的中心点、中心线或中心面称为提取导出要素,如表 1-1(c)所示。提取组成要素的定义意味着,用检测结果对实际(组成)要素的描述是近似的,其与实际(组成)要素比,存在测量误差。

制造误差评价时,按规定的方法由提取组成要素所形成的并具有理想形状的组成要素称为拟合组成要素,由一个或几个拟合组成要素导出的中心点、轴线或中心面称为拟合导出要素,如表 1-1(d)所示。将提取要素与其拟合要素进行比较,可获得该要素的制造误差,其既包含加工误差,也包含测量误差。

表 1-1 零件设计制造不同阶段各要素定义之间的关系



3. 精度设计

设计机器时,通常要考虑其基本动作的实现及其稳定性、传递动力的方式及可靠性、工作精度要求及其保持性、使用的方便性及寿命,以及用规范的工程图样表达出设计的结果,以便付诸制造加工。由此,全部机械设计至少应包含如下几方面的设计内容。

(1) 系统设计 系统设计的主要内容包括确定机器的基本工作原理和总体布局,设计适当的机构实现功能需求的位移、速度和加速度等,同时进行机构工作的稳定设计,以满足机构实现功能的运动学和动力学要求。系统设计又称为原理设计或“一次设计”。

(2) 结构设计 结构设计的主要内容为完成原理设计所定机构的具体结构设计。其包括合理地确定组成机构的具体零、部件及其相互结合部位的基本结构及其基本参数,以满足由具体结构构成的机器系统工作时能承受规定的负荷,满足各构件及相互结合部位的强度、刚度、使用可靠性和寿命要求。结构设计又称为参数设计或“二次设计”。

(3) 精度设计 精度设计的主要内容为确定机器各零、部件及机器几何参数允许的变动及其评定方法。其包括合理地确定这些参数的公差和极限偏差,以及制造中对这些参数的检