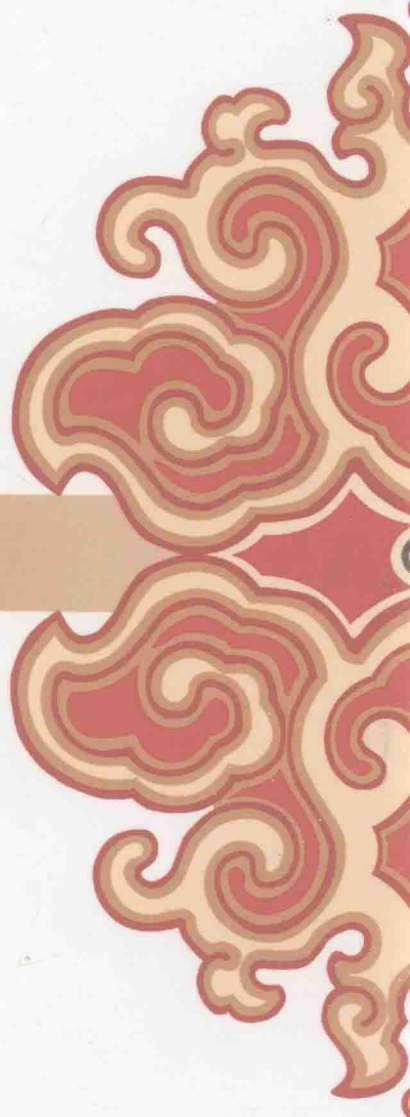




高等学校机电工程类“十三五”规划教材

互换性 与测量技术

张远平 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校机电工程类“十三五”规划教材

互换性与测量技术

张远平 主 编

李胜凯 副主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书按照最新国家标准编写,内容包括互换性的基本知识与概念、极限与配合、几何量计量技术与应用、几何公差与检测技术、表面粗糙度的应用与检测、量规设计基础、标准件及非圆柱结合的公差与检测(包括键联结、螺纹结合、滚动轴承的配合应用及圆锥结合的公差与检测)、圆柱齿轮的公差与检测、尺寸链解算基础等。

本书可作为本科院校机械类学生的教科书,也可作为从事机械设计、机械加工及制造、几何量计量方面的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术/张远平主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2018.6

ISBN 978-7-5606-4487-5

I. ① 互… II. ① 张… III. ① 零部件—互换性 ② 零部件—测量技术 IV. ① TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 069029 号

策 划 马晓娟

责任编辑 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 17

字 数 400千字

印 数 1~3000册

定 价 38.00元

ISBN 978-7-5606-4487-5/TG

XDUP 4779001-1

如有印装问题可调换

前 言

“互换性与测量技术”是机械类专业的一门重要的专业基础课程。通过对该课程的学习，学生将建立起几何精度的概念，从而为后续的专业课程学习及各种课程设计、毕业设计打下良好的基础；并能培养出正确、熟练阅读机械工程图的能力及几何量检测方案的设计能力。

编者从本科机械类学生的专业学习需要出发，结合最新颁布的国家标准，本着从新、从简的原则编写了本教材。在内容编排上遵循循序渐进的规律。在用词及叙述中尽量做到通俗易懂，既考虑了课堂教学的需要，也兼顾了学生自学的便捷性。本书内容涵盖了互换性的基本知识与概念、极限与配合、几何量计量基础及技术、几何公差与检测、表面粗糙度应用与检测、量规设计、标准件(键、螺纹、滚动轴承)及圆锥结合的公差与检测、圆柱齿轮的公差与检测和尺寸链解算基础等。本书概念阐述清楚，内容安排恰当、详实，重点、难点分析讲解到位。本书的编写也是编者多年从事“互换性与测量技术”课程教学的经验归纳与总结。

本书除作为本科机械类专业学生的教材外，亦可作为从事机械设计、机械加工及制造、标准化、计量测试等工作的工程技术人员的参考书。

本书由西安理工大学高等技术学院张远平、李胜凯编写，其中张远平任主编，李胜凯任副主编。全书的编写分工为：李胜凯负责编写第2章、第5章及第7章的第7.3节；张远平编写其余章节并负责全书的统稿。

尽管在本书的编写工作中，编者付出了大量的精力，但由于水平有限，难免会出现一些疏漏，欢迎广大读者批评指正。

编 者

2017年3月于西安

目 录

第 1 章 绪论.....	1	3.3.2 计量方法的分类.....	49
1.1 互换性概述.....	1	3.4 计量器具的基本技术性能指标.....	51
1.1.1 互换性的概念及定义.....	1	3.5 测量误差.....	52
1.1.2 零(部)件互换性的保证.....	1	3.5.1 测量误差的基本概念.....	52
1.1.3 互换性的分类.....	2	3.5.2 测量误差的来源.....	53
1.2 标准及标准化的概念.....	3	3.5.3 测量误差的分类.....	55
1.3 几何量计量技术简介.....	4	3.5.4 有关测量精度的常用术语.....	56
1.4 本课程的学习任务.....	5	3.5.5 随机误差的概念及描述.....	57
习题.....	6	3.5.6 系统误差的判别与处理.....	61
第 2 章 极限与配合.....	7	3.5.7 粗大误差的判别与剔除.....	62
2.1 基本术语及概念.....	7	3.5.8 等精度测量数据的处理.....	62
2.1.1 基本术语与定义.....	7	3.6 光滑工件尺寸的测量与	
2.1.2 配合量的计算.....	11	计量器具的选择.....	64
2.1.3 配合制.....	13	3.6.1 光滑工件尺寸的测量.....	64
2.2 标准的有关内容.....	14	3.6.2 计量器具的选用.....	69
2.2.1 标准公差.....	14	习题.....	70
2.2.2 基本偏差.....	18	第 4 章 几何公差及检测.....	72
2.2.3 极限与配合在图样上的标注.....	26	4.1 基本概念.....	72
2.2.4 常用、优先公差带及配合.....	27	4.1.1 零件几何误差的概念.....	72
2.2.5 一般公差.....	29	4.1.2 零件形体的描述——要素.....	72
2.3 公差与配合的选用.....	30	4.1.3 几何公差的项目及符号.....	73
2.3.1 配合制的选择.....	31	4.1.4 几何公差带.....	74
2.3.2 公差等级的选择.....	32	4.2 形状公差项目及检测.....	74
2.3.3 配合的选择.....	35	4.2.1 直线度.....	74
习题.....	41	4.2.2 平面度.....	79
第 3 章 测量技术基础.....	43	4.2.3 圆度.....	83
3.1 测量的基本概念.....	43	4.2.4 圆柱度.....	86
3.2 尺寸基准及尺寸传递系统.....	44	4.2.5 线轮廓度.....	87
3.2.1 长度基准的演变.....	44	4.2.6 面轮廓度.....	88
3.2.2 尺寸传递系统.....	45	4.3 位置公差项目及检测.....	89
3.2.3 量块.....	45	4.3.1 平行度.....	89
3.3 计量器具及计量方法.....	49	4.3.2 垂直度.....	91
3.3.1 计量器具的分类.....	49	4.3.3 倾斜度.....	93

4.3.4 同轴度93

4.3.5 对称度95

4.3.6 位置度96

4.3.7 圆跳动101

4.3.8 全跳动103

4.4 公差原则105

4.4.1 术语及概念105

4.4.2 相关要求108

4.4.3 独立原则115

4.5 几何公差标注中的一些规定116

4.6 几何误差检测原则118

4.7 几何公差应用120

4.7.1 几何公差项目及几何公差基准的选择120

4.7.2 公差原则的选择120

4.7.3 几何公差值的选择121

习题129

第5章 表面粗糙度及其评定134

5.1 概述134

5.1.1 表面粗糙度的概念134

5.1.2 表面粗糙度对零件使用功能的影响135

5.2 表面粗糙度的评定135

5.2.1 有关表面粗糙度的常用术语135

5.2.2 表面粗糙度的评定参数138

5.2.3 表面粗糙度的参数值141

5.3 表面粗糙度的选用143

5.3.1 表面粗糙度评定参数的选择143

5.3.2 表面粗糙度评定参数数值的选取 ..144

5.4 表面粗糙度的标注147

5.4.1 表面粗糙度的表示法147

5.4.2 表面粗糙度的图样标注151

5.5 表面粗糙度的检测154

习题158

第6章 量规设计基础159

6.1 光滑极限量规设计159

6.1.1 极限尺寸判断原则159

6.1.2 光滑极限量规的检验原理159

6.1.3 光滑极限量规的分类163

6.1.4 工作量规的设计163

6.1.5 量规的主要技术条件166

6.1.6 光滑极限量规的结构167

6.2 功能量规设计167

6.2.1 基本概念167

6.2.2 功能量规检验部位的设计169

6.2.3 功能量规定位部位的设计170

6.2.4 功能量规导向部位的设计172

6.2.5 功能量规的主要技术要求174

6.2.6 设计举例174

习题176

第7章 标准件及非圆柱结合的公差与检测177

7.1 键联结的公差与检测177

7.1.1 平键联结的公差与检测177

7.1.2 矩形花键联结的公差与检测179

7.2 普通螺纹结合的公差与检测186

7.2.1 普通螺纹结合的基本要求及几何参数186

7.2.2 普通螺纹的公差与配合189

7.2.3 普通螺纹的检测简介195

7.3 滚动轴承的公差与配合197

7.3.1 概述197

7.3.2 内、外径配合的选择199

7.4 圆锥及角度的公差与检测204

7.4.1 概述204

7.4.2 圆锥配合207

7.4.3 角度公差209

7.4.4 圆锥及角度的检测210

习题214

第8章 圆柱齿轮的公差与检测215

8.1 概述215

8.1.1 对齿轮的工作要求215

8.1.2 齿轮误差的分类216

8.1.3 齿轮误差的来源216

8.1.4 齿轮误差测量方法分类218

8.1.5 几何偏心与运动偏心218

8.2 齿轮误差的指标与检测220

8.2.1 单个齿轮适用的评定指标及检测 ..220

8.2.2 齿轮副的评定指标及检测	233	9.1.1 尺寸链的概念及定义	249
8.3 齿轮的精度	237	9.1.2 尺寸链的类型	250
8.3.1 齿轮精度等级及其选用	237	9.1.3 尺寸链的组成与各环的判别	250
8.3.2 齿轮检验项目公差值的确定及 选用	239	9.1.4 零件设计尺寸链的建立与 尺寸链图	251
8.3.3 图样上齿轮精度等级的标注	242	9.2 尺寸链解算的基本公式	253
8.3.4 齿坯公差要求的确定	243	9.3 用完全互换法解算尺寸链	254
8.3.5 圆柱齿轮精度设计	244	9.4 用大数互换法解算尺寸链	259
习题	248	习题	261
第 9 章 尺寸链	249	参考文献	262
9.1 基本概念	249		

绪 论

第 1 章

1.1 互换性概述

1.1.1 互换性的概念及定义

在日常生活中，互换性给我们带来的便利随处可见。如灯管坏了，只要换上一根同规格的新灯管，通电以后就可以正常照明了；电子手表的电池没电了，只要换装一粒同规格的新电池，手表便会继续运行。在工业生产过程中，互换性对提高生产效率和保证经济性也起着重要的作用。如在繁忙的装配流水线的某一工位上，若装配同规格的螺栓需经过挑选或修锉才能完成，则会影响整个流水线的运行。现代工业生产对零(部)件的互换性提出了要求；同时，零(部)件的互换性也保证了工业生产的正常运行。

同一规格的零(部)件，不经过任何附加修配或挑选就能装配在机器上，并能达到规定的功能要求，这一特性被称为互换性。互换性包括几何性和可靠性，本书只讲述几何性互换性的保证。

互换性在制造业中的作用可以从以下几方面加以概括：

(1) 在设计方面，零(部)件具有了互换性就可以最大限度地采用标准件、通用件和标准部件，极大地简化绘图、计算等工作，最终缩短设计周期，而且有利于计算机辅助设计和产品品种的多样化。

(2) 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，甚至采用计算机辅助制造；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，保证产品质量，降低生产成本。

(3) 在使用和维修方面，零(部)件具有了互换性就可以及时更换已磨损或损坏了的零(部)件(如机器中的滚动轴承)，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行，从而提高机器的使用价值。

从上面三点可看出，互换性在提高产品质量和可靠性、保证经济效益等方面均有重大意义。互换性原则已成为现代机器制造业中常遵守的原则之一。

1.1.2 零(部)件互换性的保证

机器零(部)件在加工或装配过程中均存在加工误差，包括尺寸误差、形状误差、位置

误差及表面质量缺陷。这些误差均会与零(部)件的互换性要求发生冲突。但实践表明,只要将同规格零(部)件的误差控制在一定的范围内,它们就具备了互换性,该控制范围称为公差(Tolerance)。

公差包括尺寸公差、几何公差(控制零件的形状和位置误差)等,统称为几何量公差。表征几何特性的量称为几何量,包括长度、角度、几何形状、相互位置、表面粗糙度等。

对几何量误差的控制由来已久,如考古人员在对秦始皇兵马俑的发掘过程中,共发现了四万多个金属制造的三棱箭头,它们都制作得极其规整,箭头底边宽度的平均误差只有 $\pm 0.83\text{ mm}$ 。且对这些青铜箭头的三个面做20倍的放大投影后发现,其轮廓误差不大于 0.15 mm ,甚至箭头的各金属含量的配比也基本一致,这说明数以万计的箭头都是按照相同的技术标准制造的。另外,在俑坑中还发掘出了弩机,弩机的所有零件均为青铜制造,其中的几处孔、轴结合都具有互换性。这也说明了在两千多年前,我们的祖先已掌握了控制几何量误差、遵循互换性生产的技术。

有文献可查的基于互换性的生产,可追溯到美国的独立战争时期。那时的枪支都是由工匠手工制好一个零件后,再按照已制好的零件用手工配做另一个零件,因此制造一支枪的周期很长,且同名称的枪械零件之间也不能相互替换;但是战争需要大量的枪支,所以如何能在短时期内赶制大量的枪支以满足战争的需要,就成为了一个急需解决的问题。一位名叫惠特尼(Whitney Eli)的青年人开始思考这个问题并付诸行动。他先将工匠分为不同的制作小组,每个小组按照一定的尺寸要求制作相同的零件;然后再将合格的零件进行组装,这样一支合格的枪便做好了,且同名称的零件可以相互替换。按照这种制造方法,在很短的时间内就赶制出了四万支合格的枪。在整个制造过程中,虽然惠特尼没有发明任何有形的东西,但他发明了一个新的思想,即基于互换性制造的思想。互换性制造又称为标准化制造。后来美国的福特(Ford)汽车公司发明的流水线生产汽车的方法,也遵循了互换性、并行生产的理念,此方法奠基了现代机器制造业的基础。

1.1.3 互换性的分类

互换性按照其互换程度可分为完全互换与非完全互换。

(1) 完全互换。完全互换是指零(部)件在配合前不需要进行选择,装配时也不需要修配和调整,装配后即可满足预定的使用要求的互换性。

(2) 非完全互换。当装配精度要求很高时,若采用完全互换将会要求零件的尺寸公差很小,从而导致加工困难和成本高,甚至无法加工。这时可以采用非完全互换法进行生产,即将其制造公差适当放大,以便于加工;在完工后,再对零件进行测量并按实际尺寸的大小分组;最后按组进行装配。这种仅是组内零件可以互换,组与组之间不可互换的方法,叫做分组互换法。分组互换既可保证装配精度与使用要求,又降低了生产成本。

机器装配时,允许使用补充机械加工或钳工修刮的方法来获得所需精度的方法,称为修配法。如普通车床尾架部件中的垫板,其厚度需在装配时再进行修磨,以满足头尾架顶尖等高的要求。在装配时,用调整的方法,改变零件在机器中的尺寸和位置,以满足其功能要求,称之为调整法。如机床导轨中的镶条,装配时可沿导轨移动方向调整其位置,以满足间隙要求。

分组互换法、修配法和调整法都属于不完全互换。不完全互换只限于部件或机构在制造厂内装配时使用；对于厂际协作，则往往要求完全互换。具体采用哪种方式为宜，要由产品精度、产品复杂程度、生产规模、设备条件及技术水平等一系列因素来决定。

一般的大量生产和成批生产，如汽车厂、拖拉机厂大都采用完全互换法生产；精度要求高的行业，如轴承工业，常采用分组装配，即按照不完全互换法生产；而小批和单件生产，如矿山、冶金等重型机器业，则常采用修配法或调整法生产。

需要指出的是，对于一些精度要求极高的配合，即便采用非完全互换性生产，也难以满足要求时，可采用配对(配作)的方法。此方法相当于无互换性，即若将配作生产的零件拆开与其他零件相配，则满足不了使用要求，如发动机的气阀与阀座须成对研磨才能保证精度要求。因此互换性的运用，是以保证生产效率和经济性为前提的。

1.2 标准及标准化的概念

为了保证零(部)件的互换性，需要将误差控制在公差范围内，而制定标准的目的，在于统一公差的相关量。从保证零(部)件互换性的角度出发，国家和相关行业先后颁布了许多的标准。以几何量为例，尺寸公差标准用于限定尺寸误差；几何公差标准用于限定零件的形状和位置误差。此外还有表面粗糙度标准、齿轮标准等，这些标准均是本书所介绍的内容。

标准，除了使企业的制造加工合乎规范、保证零(部)件的互换性外，还用于国际间同行业的技术交流和贸易。标准制定水平的高低，表征着制造业水平的高低。在公差标准的发展史上，德国的 DIN 标准占有重要地位，它在英、美初期公差制的基础上有较大的发展，其特点是采用了基孔制和基轴制，并提出了公差单位的概念，且将精度等级与配合分开，同时规定了标准温度(20℃)。1926 年国际标准化协会(ISA)成立，其第三技术委员会负责制定公差与配合标准。1947 年国际标准化组织重建，并改名为 ISO，然后于 1962 年公布了公差配合国际标准，此后又接连推出了其他几何量的相关国际标准。20 世纪 80 年代，我国在相关的国际标准的基础上结合具体国情，相继颁布实施了一系列新的国家标准；之后又依据国际标准的变动对部分标准有所修订，有些标准沿用至今。

标准分为五级：国际标准、国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

(1) 国家标准是指由国家的官方标准化机构或政府授权的有关机构批准、发布，且在全国范围内统一适用的标准。我国国家标准由国务院标准化行政主管部门编制计划和组织草拟，并统一审批、编号和发布。我国国家标准的代号是用“国标”两个字的汉语拼音的第一个字母“G”和“B”表示的。强制性国家标准的代号为“GB”，推荐性国家标准的代号为“GB/T”。国家标准的编号由国家标准的代号、国家标准发布的顺序号和国家标准发布的年号三部分组成。

(2) 行业标准是对国家标准的补充，其在相应的国家标准实施后自行废止。机械行业的标准用“JB”表示。

(3) 地方标准是指在某个省、自治区、直辖市范围内统一的标准。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和卫生要求，可

以制定地方标准。地方标准可用“DB”表示。

(4) 企业标准是指企业所制定的产品标准和企业内部为了协调、统一技术要求和管理工作要求所制定的标准。企业在生产没有相应的国家标准、行业标准和地方标准的产品时，应当制定企业标准，以作为组织生产的依据。企业标准可用“QB”表示。

标准化是指为在一定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；也指在经济、技术、科学、管理等社会实践中，通过制订、发布和实施标准，使重复性的事物和概念达到统一，以获得最佳秩序和社会效益的活动。

标准化是组织现代化生产的重要手段和必要条件，是合理发展产品品种、组织专业化生产的前提，是公司实现科学管理和现代化管理的基础；是提高产品质量、保证安全和卫生的技术保证；是国家资源合理利用、节约能源和节约原材料的有效途径；是推广新材料、新技术、新科研成果的桥梁；是消除贸易障碍、促进国际贸易发展的通行证。

1.3 几何量计量技术简介

计量(metrology)被定义为实现单位统一、量值准确可靠的活动。新中国成立后，国家于 1953 年确认采用“计量”一词，其取代了使用几千年的度量衡，并被赋予了更广泛的内容。

测量(measurement)指以确定量值为目的的操作。从几何量计量的角度来看，测量是指将被测量与测量单位相比较并得出比值的过程。例如使用卡尺或外径千分尺测量轴的直径，便是测量。

检验(inspection)是指为确定被测量值是否达到预期要求所进行的操作。例如，用光滑极限量规对孔(或轴)的合格性进行判断，便是检验。

对几何量的评判，常用到检测，可以将其理解为检验与测量的综合称呼。在对几何量的合格性进行评判时，常要用到检验和测量手段。

为了保证零(部)件的互换性，必须制定相关的公差标准；而判断零(部)件是否达到相应的公差要求，则需借助计量这一手段。因此，互换性、公差标准和计量手段之间是相辅相成的。

早在人类文明发展初期，人们就已知道利用人的肢体作为量具来进行简单的长度测量了。18 世纪中叶之前，机械制造业中所用的测量工具是线纹尺，在军工产品中使用的是标准量规。19 世纪初，几何量检测技术得到了第一次大发展：1850 年游标卡尺问世，1867 年出现了千分尺，1895 年生产了量块。采用量块作为长度标准，大大地促进了比较测量的发展。20 世纪，几何量检测技术再一次得到了发展：1907 年出现了杠杆式测微器，随后出现百分表、测微仪等；1928 年出现了气动量仪；1930 年起各种不同的电接触式、电感式、电容式量仪相继出现，为机械加工过程中的自动检测提供了新的装置；1937 年生产了扭簧比较仪；20 世纪 30 年代人们运用光学原理设计了光学量仪，并应用光学显微镜、光学投影等技术制成了工具显微镜、测长仪、投影仪；到 20 世纪 50 年代，光学量仪已成系列；60 年代，电子、光栅技术的应用出现了光、机、电结合的量仪，且应用激光等新技术研制出很多新颖量仪。我国研制的光电光波比长仪、激光量块干涉仪、微电脑双频激光干涉仪、

齿轮整体误差测量机等,都达到了国际先进水平。此外三坐标测量机、齿轮单面啮合检查仪等都配置了电子计算机,大大提高了测量速度和精度。

近年来,微型、大型、复杂形状工件的自动检测技术发展很快:利用激光衍射原理自动连续检测 $0.01\text{ mm}\sim 0.1\text{ mm}$ 的细丝直径的精度达到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$;采用光栅传感器自动检测大直径后,测量结果可用数字显示;利用射线、微波、超声波来检测板块、带状和薄壁筒工件的厚度,可达到很高的精度;对于复杂形状工件,可采用多个测头自动巡回测量,或利用工业电视扫描法与标准板块作比较测量;利用激光全息照相技术对工件内形状进行检测。这些技术均取得了很好的效果。

目前,坐标测量机和数控机床广泛使用光栅、磁栅、感应同步器和激光作为检测元件,实现了脉冲记数、数字显示的自动检测,提高了检测准确度和测量效率。这就使几何量检测技术有了飞速发展,检测精度达到微米级,甚至纳米级。例如 1940 年出现的比较仪,检测精度从 $3\text{ }\mu\text{m}$ 提高到 $1.5\text{ }\mu\text{m}$;1950 年推出的光电比较仪,检测精度提高到 $0.2\text{ }\mu\text{m}$;1960 年生产的圆度仪,检测精度达到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$;1969 年出现的激光干涉仪,检测精度达到 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 。几何量检测技术的进步使得测量范围由二维发展到三维空间,测量尺寸的大小则涵盖了从集成元件线条宽度到飞机机架尺寸。检测的自动化程度,从人工对准刻度尺读数到自动对准、计算机处理数据、自动显示并打印测量结果,无一不加快了工件在线加工、自动检测的进程。国外在 1985 年的机械加工中就实现了 25% 的自动检测,不需人为干预;到了 1990 年,通过计算机闭环控制和自动检测则实现了质量控制的全盘自动化。

当前的几何量检测正由主动测量发展到动态过程测量。主动测量是将测量结果用来控制加工工艺,以决定是否继续加工;动态过程测量是将测量与加工组成一个整体,此时测量不仅用于纠正加工方法,而且可对工件参数的变化进行连续测量,并将这些参数变化反馈到加工过程中,以保持被测参数落在最佳要求的范围内。

1.4 本课程的学习任务

从机械设计的角度讲,设计不仅包含结构设计和强度设计,还包括机构和零件的几何精度设计。作为机械类专业的学生,通过本课程的学习后,必须建立起零(部)件几何精度及设计的概念,并初步掌握标准化和互换性的基本概念及有关的基本术语与定义;在此基础上,应能正确地阅读零(部)件的工程图,理解其上的几何精度要求,包括尺寸公差要求、几何公差要求(即形状与位置公差要求)、表面粗糙度要求等;应会正确地查用本课程所介绍的公差表格,熟悉各种典型的几何量检测方法,学会使用常用的计量器具;此外,应能设计出基本的几何量精度检测方案,以满足解决生产线实际问题的能力要求。

本课程作为机械类专业学生的一门重要的技术基础课程,既要对其已有的机械加工认识作提高和强化,也要为后续各专业课程的学习和相关课程设计作一个知识的铺垫,因而该课程具有桥梁和纽带的作用。相信学生在认真学好本门课程后,再结合后续课程的教学和实训,一定会对零(部)件的相关几何精度概念有更加深刻的理解,对零(部)件的几何精度要求的检测能力也会有一个质的提高。

习 题

1. 什么是零(部)件的互换性? 如何对其进行划分?
2. 如何保证零(部)件的互换性?
3. 互换性、标准、计量三者间的关系是怎样的?
4. 什么是几何量? 它包括哪些量?

第2章 极限与配合

本章主要介绍极限与配合及一般公差的有关内容, 这些内容取自《产品几何技术规范 (GPS) 极限与配合》(GB/T 1800.1—2009、GB/T 1800.2—2009、GB/T 1801—2009) 及 GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》。

在机械产品中, 光滑圆柱的结合应用极为广泛, 如轴承与轴颈的配合、轴承与外壳孔的配合、齿轮内孔与轴颈的配合等。因此, 极限与配合的国家标准正是基于光滑圆柱结合制定的, 而且, 这些标准也适用于非圆柱结合的表面与结构, 如键宽与键槽宽的配合等。

2.1 基本术语及概念

2.1.1 基本术语与定义

1. 尺寸和尺寸要素

尺寸是以特定单位来表示线性尺寸值的数值。在机械图样中, 线性尺寸包括长度、宽度、高度、厚度、深度、直径、半径、中心距等, 通常以 mm 作为单位。

构成零件几何特征的点、线、面统称为几何要素, 简称要素。按照几何要素是否受尺寸的影响, 可将其分为尺寸要素和非尺寸要素。由一定大小的线性尺寸或角度尺寸所确定的几何形状称为尺寸要素, 如内外圆柱面、内外圆锥面等都属于尺寸要素; 而将不受尺寸影响的要素称为非尺寸要素, 例如平面就是非尺寸要素。

2. 孔和轴的概念

孔一般是指工件的圆柱形内尺寸要素, 即通常所说的内圆柱面。若将孔的概念加以拓展, 它还包括非圆柱形的内尺寸要素, 即由二平行平面或切面形成的包容面。如图 2-1 中由尺寸 ϕD 、 B 、 B_1 、 L 、 L_1 所形成的尺寸要素都称为孔。

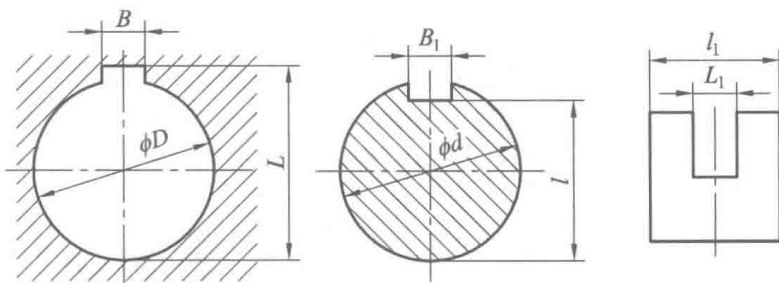


图 2-1 孔和轴的概念

轴一般是指工件的圆柱形外尺寸要素，即通常所说的外圆柱面。若将轴的概念加以拓展，它还包括非圆柱形的外尺寸要素，即由二平行平面或切面形成的被包容面。如图 2-1 中由尺寸 ϕd 、 l 、 l_1 所形成的尺寸要素都称为轴。

从机械加工的角度来看，轴是随着加工过程的进行，尺寸越来越小的表面；而孔是随着加工过程的进行，尺寸越来越大的表面。

3. 公称尺寸

由图样规范确定的理想形状要素的尺寸称为公称尺寸。在公称尺寸上应用上、下极限偏差便可计算出极限尺寸。它通常是通过强度计算、刚度计算或出于机械结构方面的考虑得出的，可以是整数值，也可以是小数值，例如 32，15，8.75，0.5…。

公称尺寸的图解见图 2-2。

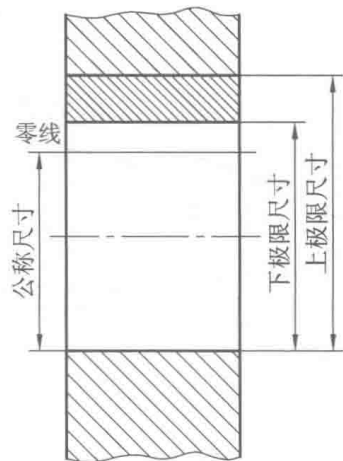


图 2-2 公称尺寸与极限尺寸

4. 实际尺寸与极限尺寸

实际尺寸是指通过测量所得到的尺寸。由于在测量过程中不可避免地存在测量误差，因此，所测得的实际尺寸并非尺寸的真值。又由于加工误差的存在，同一几何要素的不同部位的实际尺寸也各不相同。如图 2-3 所示的实际轴，由于形状误差的影响，不同的横截面内直径的实际尺寸各不相同；即使在同一横截面内，不同角向位置的直径的实际尺寸也不相等。

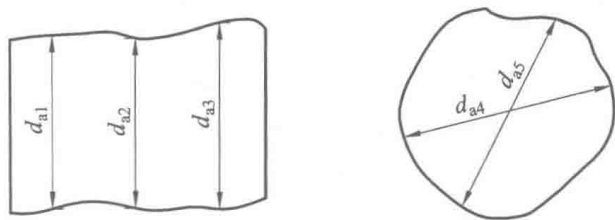


图 2-3 实际尺寸

尺寸要素所允许的尺寸的两个极端称为极限尺寸，它包括上极限尺寸和下极限尺寸。上极限尺寸是指尺寸要素允许的最大尺寸(也称为最大极限尺寸)，下极限尺寸是指尺寸要素允许的最小尺寸(也称为最小极限尺寸)。极限尺寸的图解见图 2-2。

标准规定：实际尺寸应位于极限尺寸范围之内，也可达到极限尺寸。

5. 零线

在极限与配合的图解中，表示公称尺寸的那条直线称为零线，如图 2-2 所示。图中以其

为基准确定偏差和公差。通常，沿水平方向绘制零线，正偏差位于其上，负偏差位于其下。

6. 实际偏差与极限偏差

某一尺寸减去其公称尺寸所得的代数差就称为偏差。实际尺寸减去其公称尺寸所得的代数差则称为实际偏差；极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为极限偏差。由于极限尺寸有两个(上极限尺寸和下极限尺寸)，所以极限偏差也有两个——上极限偏差和下极限偏差。上极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为上极限偏差(简称上偏差)，下极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差称为下极限偏差(简称下偏差)。若规定用小写字母 *es*、*ei* 表示轴的上、下偏差，用大写字母 *ES*、*EI* 表示孔的上、下偏差，则极限偏差的公式如下：

$$\begin{aligned} es &= d_{\max} - d, & ei &= d_{\min} - d \\ ES &= D_{\max} - D, & EI &= D_{\min} - D \end{aligned}$$

式中，*d*、*d*_{max}、*d*_{min} 分别为轴的公称尺寸、上极限尺寸、下极限尺寸；*D*、*D*_{max}、*D*_{min} 分别为孔的公称尺寸、上极限尺寸、下极限尺寸。

标准规定：实际偏差应位于极限偏差范围之内，也可达到极限偏差。

7. 尺寸公差与尺寸公差带

允许的尺寸变动量称为尺寸公差，简称公差。它在数值上等于上、下极限尺寸之差，或上、下偏差之差。按照规定，公差是一个没有符号的绝对值，用公式表示如下：

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \tag{2-1}$$

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \tag{2-2}$$

式中，*T*_s 为轴的尺寸公差；*T*_h 为孔的尺寸公差。

尺寸公差带表示的是零件的尺寸相对其公称尺寸所允许的变动范围。为了直观，常用图形来表示尺寸公差带，这样的图形称为尺寸公差带图，简称公差带图，如图 2-4 所示。

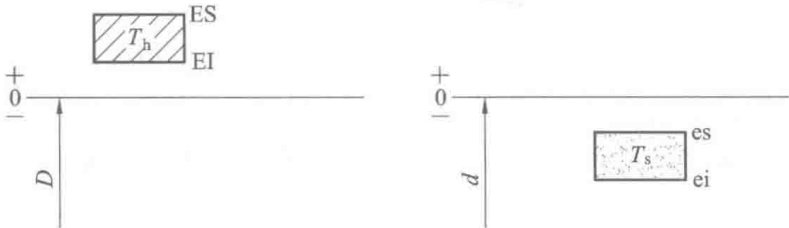


图 2-4 孔、轴公差带图

在很多场合，公差带图是分析公差与配合问题的有效工具。下面结合图 2-4 来说明其规范画法。

- (1) 先画一条水平直线作为零线，规定零线上方为正，下方为负，并标上“+”、“-”和“0”，注意“+”、“-”和“0”在垂直方向上是对齐的；然后在零线的右边下方画出尺寸线并标出公称尺寸。
- (2) 以适当比例用平行于零线的两条短横线标出上、下偏差的位置，并在左右用两条竖线封口，然后在形成的方框内画上剖面线、网格线或网点。
- (3) 标出极限偏差的数值或符号。当极限偏差的计量单位为 mm 时，可省略单位；当极限偏差的计量单位为 μm 时，不可省略单位。

(4) 若需要将相配合的孔和轴的公差带画在同一图上, 孔和轴的公差带的剖面线的方向应该相反, 且疏密程度不同, 以示区别。或孔的公差带用剖面线, 而轴的公差带用网点或空白表示, 具体可见图 2-6 至图 2-9 所示。

8. 基本偏差

在极限与配合制中, 基本偏差是一个非常重要的概念。由图 2-4 所示的公差带图可以看出, 一个确定的公差带包含两个要素——公差带的大小和公差带相对于零线的位置。公差带的大小也叫公差带的宽度, 即表示上、下偏差的两条横线之间的距离, 它是由公差数值决定的。标准规定, 在一般情况下, 公差带相对于零线的位置是由靠近零线的那个极限偏差确定的, 并将此极限偏差称做基本偏差, 它可能是上偏差, 也可能是下偏差。在图 2-4 中, 左图的下偏差为基本偏差, 右图的上偏差为基本偏差。

9. 配合、间隙和过盈

所谓配合, 是指公称尺寸相同的, 并且相互结合的孔和轴公差带之间的关系。
孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差称为间隙或过盈。当此代数差为正时即为间隙, 为负时则为过盈。通俗地讲, 当某一对公称尺寸相同的孔和轴结合时, 若孔比轴大, 则形成间隙, 若孔比轴小, 则形成过盈, 如图 2-5 所示。

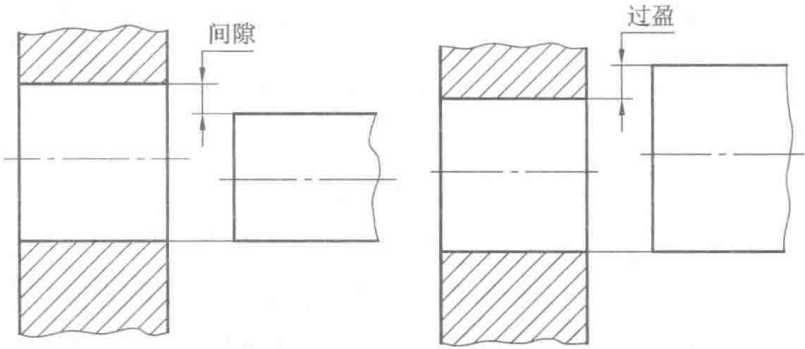


图 2-5 间隙和过盈

根据相配合的孔和轴相配时形成间隙和过盈的不同情况, 可将配合分为三种: 间隙配合、过盈配合和过渡配合。

具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合称为间隙配合。此时, 孔的公差带在轴的公差带之上, 如图 2-6 所示。

具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合称为过盈配合。此时, 孔的公差带在轴的公差带之下, 如图 2-7 所示。

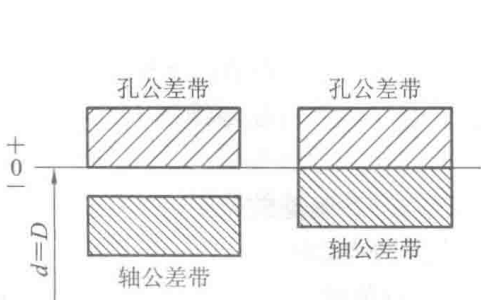


图 2-6 间隙配合示意图

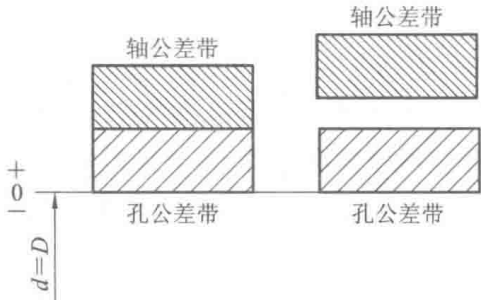


图 2-7 过盈配合示意图