

几何精度 设计与检测

主编 高晓康

JIHE JINGDU SHEJI YU JIANCE

上海交通大学出版社

几何精度设计与检测

高晓康 主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书从互换性生产要求出发,简要、系统地介绍了几何精度设计和检测的基本知识。全书共分九章,包括绪论、《极限与配合》国家标准及其选用、形位公差与误差及其检测、表面粗糙度及其检测、检测技术基础、典型机械零件的几何精度设计、圆柱齿轮传动的互换性及其检测、尺寸链基础、几何精度设计和典型示例。

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。每章开始都配有教学目的和要求,章末有习题与思考题,书末附有部分习题答案,供读者参考。

本书是高等工业院校机械类专业基础教材,适用于“几何精度设计与检测”、“互换性与测量技术”等课程。也可供高职、大专、中专及有关工程技术人员与管理人员使用参考,并可作为培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

几何精度设计与检测/高晓康主编. —上海:上海交通大学出版社,2002

ISBN7-313-02902-0

I. 几... II. 高... III. 机械加工—几何误差 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 086419 号

几何精度设计与检测

高晓康 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

上海锦佳装璜印刷发展公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.25 字数:350千字

2002年1月第1版 2002年1月第1次印刷

印数:1~5 050

ISBN7-313-02902-0/TG·048 定价:18.00元

版权所有 侵权必究

前 言

“几何精度设计与检测”是高等院校机械类各专业的重要技术基础课。它包括几何精度设计和误差检测两方面的内容,与机械设计、机械制造和检测控制等方面密切相关,是机械工程技术人员和管理人员必备的一门综合性应用技术基础学科。本课程主要由精度设计和检测技术两部分组成。前者属标准化范畴,后者属计量学范畴,这两部分有一定内在联系,但又自成体系。通过“机械原理”与“机械零件”等课程的教学,学生已初步具备对机器设计进行运动、结构、受力分析以及强度和刚度的分析、计算能力。在此基础上,本课程进一步使学生了解机器的几何精度分析、设计和有关互换性基础标准,从而合理地进行几何精度设计并采取一定的检测手段以保证产品质量。

几何精度设计是从事机械产品设计制造的工程技术人员必备的能力。为了达到本课程的基本要求,除了在本课程的教学,中,为培养学生具备这方面的能力打下一定的基础和进行初步训练外,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,尤其要依靠毕业后在工作实践中逐步积累丰富的实际经验来真正用好用活本课程的知识。

按照教育部加强基础、拓宽专业的整体思路,“看准了就大胆地试,大胆地闯”的精神,在广泛汲取兄弟院校教改经验的基础上,对教材的体系和内容进行大胆的改革。全书改变了以标准为单元的教材体系,采用以精度设计为主线,以检测技术为手段,以保证机械产品质量为目标的新体系。本书共分九章,其中第九章“几何精度设计和典型示例”是学以致用用的结合点,使学生加深认识,为培养学生几何精度设计的能力打下基础。

本书力求削枝强干,贯彻少而精和学以致用用的原则,以符合高等院校培养应用型人才的要求。

本书按最新的标准编写(至2001年颁布),是目前本学科内容最新的实用教材,适用于“几何精度设计与检测”、“互换性与测量技术”等课程。

本书由上海应用技术学院高晓康副教授主编,同济大学过馨葆教授主审。参加本书编写的有上海应用技术学院高晓康、何锡梁、高建春,上海医疗器械高等专科学校葛斌,上海轻工业学校龚洁婷,上海电机技术高等专科学校陈玉林,上海第二工业大学刘维。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2001年10月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 几何精度设计的基本概念	(1)
第二节 机械制造中的互换性	(2)
第三节 标准化和优先数系	(4)
第四节 检测技术发展概述	(6)
思考题与习题	(6)
第二章 “极限与配合”国家标准及其选用	(7)
第一节 概述	(7)
第二节 极限与配合的基本概念	(7)
第三节 “极限与配合”国家标准的构成(13)	
第四节 极限与配合的选用	(25)
思考题与习题	(36)
第三章 形位公差与误差及其检测	(37)
第一节 概述	(37)
第二节 形状公差与误差	(44)
第三节 位置公差与位置误差	(50)
第四节 公差原则和相关要求	(59)
第五节 形位误差的检测	(67)
第六节 形位公差的选用	(69)
思考题与习题	(74)
第四章 表面粗糙度及其检测	(76)
第一节 概述	(76)
第二节 表面粗糙度的评定	(76)
第三节 GB/T3505-2000 与 GB3505-1983 的对照	(81)
第四节 表面粗糙度的标注及其选用	(83)
第五节 表面粗糙度的检测	(87)
思考题与习题	(87)
第五章 检测技术基础	(89)
第一节 概述	(89)
第二节 长度基准与量值传递	(89)
第三节 测量方法与测量器具	(92)
第四节 测量误差和数据处理	(95)

第五节 测量器具的选择	(107)
第六节 光滑极限量规	(112)
思考题与习题	(119)
第六章 典型机械零件的几何精度设计	(120)
第一节 与滚动轴承相配零件的几何精度	(120)
第二节 键与花键结合的互换性	(127)
第三节 圆锥结合的互换性	(132)
第四节 螺纹结合的互换性	(138)
思考题与习题	(150)
第七章 圆柱齿轮传动的互换性及其检测	(152)
第一节 概述	(152)
第二节 齿轮误差的评定指标及其检测	(154)
第三节 齿轮副误差的评定指标及其检测	(170)
第四节 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	(173)
第五节 ISO1328 —— 20 世纪 90 年代国际齿轮精度标准简介与分析	(183)
思考题与习题	(192)
第八章 尺寸链基础	(193)
第一节 概述	(193)
第二节 完全互换法解尺寸链	(197)
第三节 大数互换法解尺寸链	(201)
第四节 保证装配精度的其他工艺措施	(204)
思考题与习题	(207)
第九章 几何精度设计和典型示例	(208)
第一节 几何精度设计	(208)
第二节 单级传动齿轮减速器的几何精度设计示例	(210)
思考题与习题	(217)
部分习题参考答案	(220)
主要参考文献	(221)

第一章 绪 论

目的与要求:了解几何精度设计的主要任务以及互换性的含义和在现代化生产中的重要作用、互换性与标准化的关系、优先数系的基本原理及其应用。重点掌握互换性与产品设计、制造、维修和检测方面的关系。

第一节 几何精度设计的基本概念

一、基本概念

机械零件的精度是决定其质量的重要因素,零件几何精度设计是机械设计中的主要环节,其精度确定得是否合适,对机械产品的使用性能和制造成本都有很大影响。

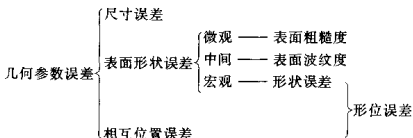
几何精度是与其误差相对应的概念。任何机械零件都是由若干个点、线、面所形成的几何实体。因此,其几何参数误差包含尺寸误差、表面形状误差和相互位置误差。表面形状误差按波距分类可以分为以下三种:

(1) 微观形状误差(表面粗糙度),波距小于1mm。它是在机械加工过程中,由于刀痕、切削过程中切屑分离时的塑性变形、工艺系统的高频振动、刀具和被加工表面的摩擦等原因所引起的。

(2) 中间形状误差(表面波紋度),波距在1~10mm。它具有明显的周期性波距和波高,常见于滚动轴承套圈等零件。

(3) 宏观形状误差(形状误差),波距大于10mm。它主要是由于加工机床和工、夹具本身具有形状误差所引起的。此外,在加工中由于热变形、力变形和较大的震动等原因,造成被加工零件的直线不直、平面不平、圆截面不圆等,这些也都属于形状误差。它和相互位置误差有密切关系,故通常合称形位误差。

几何参数误差可分为:



二、几何精度设计的主要内容

零件几何精度设计的内容一般包括尺寸精度、形位精度和表面粗糙度三个方面,以及形位公差和尺寸公差的关系,同时还要考虑零件尺寸间和零件间的关系,即所谓尺寸链问题。几何精度设计的主要原则是:在保证机械产品使用性能的前提下,如何恰当地确定零件的尺寸精

度、形位精度和表面粗糙度参数值,解决尺寸链问题,以便将制造误差限制在允许的范围内,并且尽可能在制造上经济合理,以取得最佳的技术经济效果。

互换性基础标准的应用主要是为了解决零件几何精度的设计问题。确定零件几何精度的方法主要有三种:计算法、实验法和类比法。

计算法是应用流体润滑理论来计算配合的间隙,根据弹塑性变形理论来计算配合的过盈,此外,还要根据尺寸链原理计算有关尺寸的公差与配合以及形位公差值等。由于影响因素较多,计算又是近似的,因此,只在必要时才采用。

试验法是用试验的方法来确定对于产品性能关系极大的一些参数的极限与配合的最佳值。试验法成本高,周期长,所以其应用受到了限制,只用于大批量且特别重要的零件。

类比法是确定零件几何精度最常用的方法,它是以经过生产使用验证的类似零部件为依据,通过对比分析,进行必要的修正,从而确定所设计零件的几何精度。

此外,在确定几何精度时,还必须考虑到生产类型或工艺特点。如标准规定的公差与配合,一般都是根据大批量生产条件确定的,它们的尺寸分布接近正态分布,且分布中心与公差带中心大致重合。但在小批量生产中,往往使用试切法加工,孔和轴的实际尺寸的分布中心都偏向于最大实体尺寸,结果使配合性质向间隙变小、过盈增大的方向变化,增加了装拆的困难。

机械零件的类型很多,在几何精度设计上各有特点,本书在不同章节对常用机械零件的几何精度设计分别进行论述。

第二节 机械制造中的互换性

一、互换性的基本概念

在机械制造业中,互换性是指同一规格的零部件按规定的技术要求制造,能够互相替换使用,而且替换后能达到规定的功能要求,这样的零部件就称为具有互换性的零部件。能保证零部件具有互换性的生产,就称为遵循互换性原则的生产。例如,人们日常生活中常用的自行车、汽车和手表的零件就是按互换性原则生产的。当它们损坏时,只要换上新的零件就能继续使用,恢复原有的功能。

零部件的互换性通常包括几何参数(如尺寸、形状、相互位置、表面粗糙度)、机械性能(如强度、硬度)以及理化性能(如化学成分)等。本课程仅讨论几何参数的互换性。

二、互换性的种类

在不同的情况下,零部件互换的程度有所不同。根据互换程度,可分为完全互换和不完全互换。

1. 完全互换性

完全互换性简称互换性,它是指同一规格的零部件在装配或更换时,不需要挑选和修配,安装后能满足预定的使用性能要求。这样的零部件就具有完全互换性,如螺栓、螺母;滚动轴承内、外圈和齿轮等。

2. 不完全互换性

不完全互换性也称为有限互换性,它是指允许零部件在装配前预先分组或在装配时采用调整等措施。例如当装配精度要求很高时,采用完全互换性将使零件的公差很小,加工困难,成本高,甚至无法加工。这时,可将零件的制造公差适当地扩大以便于加工。然后将生产出来的零件按实际加工的尺寸分为若干组,使每组零件间实际尺寸的差别减小,装配时按相应组进行装配,仅限于组内零件可以互换,组与组之间不可互换。例如,轴承内外圈滚道直径与滚动体之间的配合,就常采用分组装配,这样既满足了装配精度,也满足了使用要求,又解决了加工困难。再如减速器中的端盖与箱体间的垫片的厚度在装配时作调整,使轴承的一端与端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,从而避免轴在工作时弯曲。

通常,不完全互换性往往只限于厂内生产的零部件互换,而对厂际协作,应采用完全互换性。在设计时应视具体情况决定采用何种互换性。

三、互换性的作用

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和通用件。减少设计工作量缩短设计周期,有利于开展计算机辅助设计和实现产品品种的多样化。

在制造方面,互换性有利于组织专业化生产,可采用高效率的专用设备,有助于实现生产过程的自动化,从而提高产品质量和生产效率,降低生产成本。

在装配方面,由于零部件具有互换性,因此装配时不需任何辅助加工,减轻了劳动强度,缩短了装配周期,有利于实现装配过程机械化、自动化。

在使用和维修方面,零部件具有互换性,可及时更换已经磨损或损坏的零部件,以减少机器的维修时间和费用,保证机器的使用效率。

综上所述,互换性在提高劳动生产率,保证产品质量和降低生产成本等方面具有重大的意义。互换性原则已成为现代机械制造业中的重要生产手段和有效的技术措施。

四、实现互换性的必要条件

零部件在加工过程中,由于种种因素的影响,不可避免会产生加工误差。因此,加工后的一批同规格的零部件,它们之间相对应的实际几何参数是不可能完全一样的。实际上,为了保证几何参数的互换性,只要把加工后的零部件的实际几何参数控制在产品性能所允许的变动范围内。这个允许的变动范围叫做“公差”。至于零部件的实际几何参数的变动量是否在规定的公差范围内,则要通过测量和检验手段来判断。

为了使零部件具有互换性,首先必须对几何要素提出公差要求,只有在公差要求范围内的合格零件才能实现互换。为了实现互换性生产,对各种公差要求还必须具有统一的术语、协调的数据和正确的标注方式,使从事机械设计或加工人员具有共同的技术语言和依据,因此,必须制定公差标准。公差标准是对零件的公差和相互配合所制定的技术基础标准。

有了公差标准,还要有相应的检测技术措施来保证检测实际几何参数是否合格,从而保证零部件的互换性。因此,在检测过程中必须保证计量基准和单位的统一,这就需要在全国范围内规定严格的尺寸传递系统,从而保证计量单位在全国范围内的统一。因此,制定和贯彻公差标准,采用相应的检测技术措施是实现互换性的必要条件。

第三节 标准化和优先数系

一、标准化

标准是指对需要协调统一的重复性事物和概念所做的统一规定。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,作为共同遵守的准则和依据。

标准化是指在经济、技术、科学及管理社会实践中,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。标准化工作包括制定标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督的全部活动过程。

我国的标准按不同级别颁布,分为国家标准、专业标准(部标准)、地方标准和企业标准四级。此外,从世界范围看,还有国际标准和区域性标准。

标准的种类很多,大致可分为以下四种:

(1) 基础标准: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。如计量单位、术语、符号、优先数系、机械制图、极限与配合等。

(2) 产品标准:为了保证产品的适用性,对产品必须达到的某些或全部要求所制定的标准。其范围包括品种、规格、技术性能、试验方法和检验规则等。

(3) 方法标准:以试验、检查、分析、抽样、统计、计算、测定等各种方法为对象制订的标准。如设计计算方法、工艺规程和测试方法等标准。

(4) 安全标准和环境保护标准:以安全和环境保护为目的而制定的标准。

本课程所涉及的公差标准属于基础标准。

随着现代工业生产的专业化趋势使生产协作已冲破国界,逐步形成世界范围内的专业分工和生产协作。因此,采用国际标准已成为各国技术经济工作的普遍发展趋势。国际标准是指国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)所制定的标准、ISO公布的国际组织所规定的某些标准,以及某些国际组织规定的已被许多国家所公认的标准。只有采用国际上普遍承认的技术标准,才能在竞争十分激烈的国际市场上拥有竞争能力。

为了加入 WTO 与国际市场接轨,提高产品质量和经济效益,加强在国际上的技术交流,我国对国际标准进行认真研究,积极采用。根据我国的实际情况,对原有的互换性基础标准进行了修订,近年来按 ISO 新颁布的标准颁布了一系列互换性基础标准。

标准化是实现互换性生产的前提,是组织现代化生产的重要手段,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,也是提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。因此,目前世界上各工业发达国家都高度重视标准化工作。

二、优先数系

在设计机械产品和制定标准时,产品的性能参数、尺寸规格参数等都要通过数值表达,而这些数值在生产过程中又是互相关联的。例如,设计减速器箱体上的螺孔,当螺孔的直径确定后,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。此外,与之相关的垫圈尺寸、轴承盖上的通孔的尺寸也随之而定,

这种参数数值具有扩散传播的特性。工程技术中的参数数值,即使是很小的差别,经过反复传播,也会造成尺寸规格的繁多杂乱,给组织生产、协作配套以及使用维修等带来很大的困难。因此,对于各种技术参数,必须加以协调和统一。

优先数和优先数系是一种科学的数值制度,它对各技术参数的数值进行协调、简化和统一,范围从1~10的优先数基本系列如表1-1所示。

国家标准 GB321-80《优先数和优先数系》中规定了五个公比数系,分别用 R5, R10, R20, R40 和 R80(补充系列)表示。

五个优先数系的公比分别为:

R5 系列:公比为 $\sqrt[5]{10} \approx 1.6$ 。

R10 系列:公比为 $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$ 。

R20 系列:公比为 $\sqrt[20]{10} \approx 1.12$ 。

R40 系列:公比为 $\sqrt[40]{10} \approx 1.06$ 。

R80 系列:公比为 $\sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

表 1-1 优先数的基本系列

R5	1.00		1.60		2.50		4.00		6.30		10.00
R10	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00	10.00
R20	1.00	1.12	1.25	1.40	1.60	1.80	2.00	2.24	2.50	2.80	3.15
	3.55	4.00	4.50	5.00	5.60	6.30	7.10	8.00	9.00	10.00	
R40	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80
	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35
	3.55	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.30	5.60	6.00	6.30
	6.70	7.10	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00			

优先数系是一种十进制的等比级数,级数的项值中包括 $1, 10, 100, \dots, 10^n$ 和 $1, 0.1, 0.01, \dots, 10^{-n}$ 这些数(n 为正整数),按 $1 \sim 10, 10 \sim 100, \dots$ 和 $1 \sim 0.1, 0.1 \sim 0.01, \dots$ 划分区间,然后再进行细分。

在1~10之间,R5系列有五个优先数,即1,1.6,2.5,4和6.3。R10系列有10个优先数,即在R5的五个优先数中再插入1.25,2,3.15,5和8(均为比例中项)。R5系列的各项数值包含在R10系列中。同理,R10系列的各项数值包含在R20系列中, $\dots$ R20系列的各项数值包含在R40系列中。项值可从1开始,向大于1和小于1两端无限延伸。优先数的理论值大多数为无理数,应用时要加以圆整。一般机械产品的主要参数通常按R5系列和R10系列;专用工具的主要尺寸按R10系列;通用零件及工具的尺寸、铸件的壁厚等按R20系列。本课程所涉及的有关标准,如尺寸分段、公差分级和表面粗糙度的参数系列等,基本上采用优先数系。

优先数系是一项重要的基础标准,我国现行的优先数系与国际标准相同。它适用于各种尺寸、参数的系列化和质量分级。选用基本系列时,应遵守先疏后密的规则,即按照R5, R10, R20和R40的顺序,优先选用公比较大的基本系列,以免规格过多。优先数系分档合理,简单易记,有利于简化统一,便于插入和延伸,计算方便,适用性广。

第四节 检测技术发展概述

制定了先进的公差标准,只是为零部件的标准化提供了可能性,而要保证实现零部件的互换性则还要采取适当的检测措施。检测是检验和测量的统称,测量能获得具体的数值,而检验不能获得具体的数值,只能判断合格与否。由此可见,检测是组织互换性生产必不可少的重要措施。

几何量检测在我国具有悠久的历史。早在商朝,我国就有了象牙制成的尺,到秦朝统一了我国家度量衡制度,到西汉,已制成铜质的卡尺。几何量检测技术的发展是和机械加工发展分不开的,加工精度的提高,一方面对测量器具的精度要求也随着提高,另一方面,加工精度本身也要通过精确的检测来体现和验证。例如,19世纪中叶出现了游标卡尺,当时的机械加工精度可达 0.1mm 。20世纪初,加工精度达到 0.01mm ,可用千分尺测量。20世纪30年代开始成批生产,目前仍在使用的光学比较仪、测长仪、光波干涉仪和万能工具显微镜等的机械加工精度已提高到 $1\mu\text{m}$ 左右。近半个世纪精密加工的水平有了很大的提高,精密机床主轴的跳动误差要求不超过 $0.01\mu\text{m}$,导轨直线度要求 $0.3\mu\text{m}/\text{m}$,空气轴承的回转精度在径向和轴向都要求 $0.02\mu\text{m}$ 。这些参数的检测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、光和计算机结合的测量系统。

经过几十年的努力,我国的测量仪器和检测手段已达到了国际先进水平。全国建立了统一的量值传递系统,拥有一批骨干量仪厂,不仅可生产一般的检测仪器,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、三坐标测量机和无导轨大长度测量仪等。几何量检测技术的发展不仅促进了机械工业的发展,也促进了其他工业和科技领域的发展。

思考题与习题

- 1-1 试述互换性在机械制造中的作用,并列举互换性应用实例。
- 1-2 完全互换性和不完全互换性各用于什么场合?
- 1-3 试述标准的种类和标准化的意义。
- 1-4 优先数系有哪些优点?试述R5、R10和R20优先数系有何区别?

第二章 “极限与配合”国家标准及其选用

目的与要求:理解极限与配合的基本术语及定义;掌握“极限与配合”国家标准的主要内容;了解极限与配合的选用原则及其应用。

第一节 概述

现代化的机械工业,要求机械零件具有互换性。为了使零件具有互换性,必须保证零件的尺寸、几何形状和相互位置以及表面粗糙度等的一致性。就尺寸而言,互换性要求尺寸的一致性,是指要求尺寸在某一合理的范围之内。这个范围既要保证相互结合的尺寸之间形成一定的关系,以满足不同的使用要求,又要在制造上是经济合理的,因此就形成了“极限与配合”的概念。“极限”用于协调机器零件使用要求与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。

“极限”与“配合”的标准化,有利于机器的设计、制造、使用和维修,有利于保证机械零件的精度、使用性能和寿命等要求,也有利于刀具、量具、机床等工艺装备的标准化。为此国际标准化组织(ISO)和世界各国对“极限与配合”的标准化都给予高度重视,并将其作为一项最基础、应用最广泛的技术工作。我国近来推出了涉及面广、影响大的重要基础标准:GB/T“极限与配合”国家标准。

本章介绍 GB/T“极限与配合”国家标准的基本概念、主要内容及其选用。

第二节 极限与配合的基本概念

一、有关孔和轴的定义

孔:通常指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(由二平行平面或切面形成的包容面)。

轴:通常指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(由二平行平面或切面形成的被包容面)。

由单一尺寸 A 所形成的内、外表面如图 2-1 所示。

在极限与配合中,孔和轴的关系表现为包容和被包容的关系,即孔为包容面,轴为被包容面。

在加工过程中,随着余量的切除,孔的尺寸由小变大,轴的尺寸则由大变小。

孔和轴的定义明确了“极限与配合”国家标准应用的范围,在极限与配合中,孔和轴都是由单一尺寸确定的,例如圆柱体的直径、键与键槽的宽度等。

二、有关尺寸的术语及定义

(1) 尺寸:以特定单位表示线性尺寸值的数值。尺寸表示长度的大小,它由数字和长度单位(如 mm)组成。

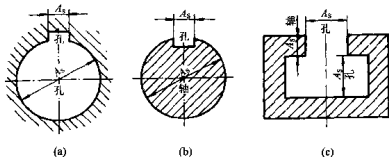


图 2-1 孔和轴的定义示意图

(2) 基本尺寸(D, d):通过它应用上、下偏差可算出极限尺寸的尺寸。大写字母 D 表示孔,小写字母 d 表示轴。基本尺寸是根据使用要求,通过计算和结构方面的考虑,或根据试验和经验而确定的,一般应按标准尺寸选取以减少定值刀具、量具和夹具的规格数量。

(3) 实际尺寸(D_s, d_s):通过测量获得的某一孔、轴的尺寸。

(4) 局部实际尺寸:一个孔或轴的任意横截面中的任一距离,即任何两相对点之间测得的尺寸。

(5) 极限尺寸($D_{max}, D_{min}, d_{max}, d_{min}$):一个孔或轴允许的尺寸的两个极端。实际尺寸位于其中,也可达到极限尺寸。孔或轴允许的最大尺寸为最大极限尺寸(D_{max}, d_{max}),孔或轴允许的最小尺寸为最小极限尺寸(D_{min}, d_{min}),如图 2-2 所示。

(6) 最大实体极限(MML):对应于孔或轴最大实体尺寸的那个极限尺寸,即孔的最小极限尺寸(D_{min})和轴的最大极限尺寸(d_{max})。最大实体尺寸是孔或轴具有允许的材料量为最多时状态下的极限尺寸。

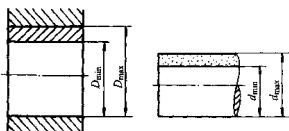


图 2-2 极限尺寸

(7) 最小实体极限(LML):对应于孔和轴最小实体尺寸的那个极限尺寸,即孔的最大极限尺寸(D_{max})和轴的最小极限尺寸(d_{min})。最小实体尺寸是孔或轴具有允许的材料量为最少时状态下的极限尺寸。

最大实体极限和最小实体极限统称为实体极限。

三、有关公差和偏差的术语及定义

(1) 极限制:经标准化的公差和偏差制度。

(2) 偏差:某一尺寸(实际尺寸、极限尺寸,等等)减其基本尺寸所得的代数差。

(3) 极限偏差:上偏差和下偏差。孔的上、下偏差代号用大写字母 ES, EI 表示,轴的上、下偏差代号用小写字母 es, ei 表示,如图 2-3 所示。

最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差(ES, es), 最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差(EI, ei), 即

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

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

(4) 实际偏差: 实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。应位于极限偏差范围之内。

由于极限尺寸可以大于、等于或小于基本尺寸, 所以偏差可以为正、负或零值。偏差值除零外, 应标上相应的“+”号或“-”号。

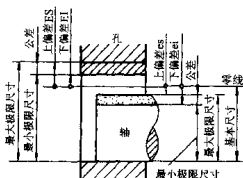


图 2-3 尺寸、偏差与公差

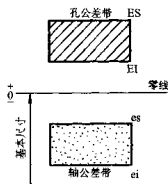


图 2-4 公差带图

(5) 尺寸公差(简称公差): 最大极限尺寸减最小极限尺寸之差, 或上偏差减下偏差之差。它是允许尺寸的变动量, 尺寸公差是一个没有符号的绝对值。如图 2-3 所示。

$$\text{孔的公差} \quad T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (2-1)$$

$$\text{轴的公差} \quad T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (2-2)$$

偏差与公差是两个不同的概念, 不能混淆。偏差是从零线起计算的, 是指相对于基本尺寸的偏离量, 从数值看, 偏差可为正值、负值或零; 而公差是允许尺寸的变动量, 代表加工精度的要求, 由于加工误差不可避免, 故公差值不能为零。从作用看, 极限偏差用于限制实际偏差, 它代表公差带的位置, 影响配合松紧; 而公差用于限制尺寸误差, 它代表公差带的大小, 影响配合精度。从工艺看, 偏差取决于加工时机床的调整(进刀), 而公差反映尺寸制造精度。对单个零件, 只能测出尺寸的实际偏差, 而对数量足够多的一批零件, 才能确定尺寸误差。

(6) 零线: 在极限与配合图解中, 表示基本尺寸的一条直线, 以其为基准确定偏差和公差。通常, 零线沿水平方向绘制, 正偏差位于其上, 负偏差位于其下。如图 2-3 所示。

(7) 公差带: 在公差带图解中, 由代表上偏差和下偏差或最大极限尺寸和最小极限尺寸的两条直线所限定的一个区域, 如图 2-4 所示。由图可知, 公差带是由公差带大小和公差带位置两个要素决定。大小在公差带图中指公差带在零线垂直方向的宽度, 由标准公差确定; 位置指公差带沿零线垂直方向的坐标位置, 由基本偏差确定。

(8) 标准公差(IT): GB/T“极限与配合”国家标准中所规定的任一公差。

(9) 基本偏差: 确定公差带相对零线位置的那个极限偏差。它可以是上偏差或下偏差, 一般为靠近零线的那个偏差。

例 2-1 基本尺寸 $D = 20\text{mm}$, 孔的极限尺寸 $D_{\max} = 20.021\text{mm}$, $D_{\min} = 20\text{mm}$; 轴的极限尺寸 $d_{\max} = 19.980\text{mm}$, $d_{\min} = 19.967\text{mm}$ 。求孔、轴的极限偏差及公差, 并画出公差带图。

解:孔的极限偏差 $ES = D_{\max} - D = 20.021 - 20 = +0.021\text{mm}$

$$EI = D_{\min} - D = 20 - 20 = 0$$

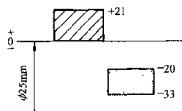
轴的极限偏差 $es = d_{\max} - d = 19.980 - 20 = -0.020\text{mm}$

$$ei = d_{\min} - d = 19.967 - 20 = -0.033\text{mm}$$

孔的公差 $T_h = D_{\max} - D_{\min} = 20.021 - 20 = +0.021\text{mm}$

轴的公差 $T_s = d_{\max} - d_{\min} = 19.980 - 19.967 = 0.013\text{mm}$

本例的公差带如图 2-5 所示。



(偏差单位: μm)

图 2-5 公差带图

四、有关配合的术语及定义

(1) 配合:基本尺寸相同的相互结合的孔和轴公差带之间的关系。根据孔和轴公差带之间的不同关系,配合可分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三大类。

(2) 间隙或过盈:孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为正时是间隙,用符号 X 表示;尺寸之差为负时是过盈,用符号 Y 表示。

(3) 间隙配合:具有间隙(包括最小间隙等于零的)配合,此时,孔的公差带在轴的公差带之上,如图 2-6 所示。

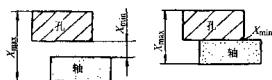


图 2-6 间隙配合

间隙配合的性质用最大间隙 $X_{\max}$ 、最小间隙 $X_{\min}$ 和平均间隙 X_{av} 表示。

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-3)$$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-4)$$

$$X_{av} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} \quad (2-5)$$

(4) 过盈配合:具有过盈(包括最小过盈等于零的)配合,此时,孔的公差带在轴的公差带之下,如图 2-7 所示。

过盈配合的性质用最大过盈 $Y_{\max}$ 、最小过盈 $Y_{\min}$ 和平均过盈 Y_{av} 表示。

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-6)$$

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-7)$$

$$Y_{av} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2} \quad (2-8)$$

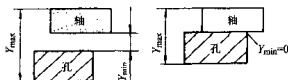


图 2-7 过盈配合

(5) 过渡配合:可能具有间隙或过盈的配合。此时,孔的公差带与轴的公差带相互交叠,如图 2-8 所示。它是介于间隙配合和过盈配合之间的一类配合,但其间隙或过盈都不大。

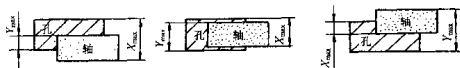


图 2-8 过渡配合

过渡配合的性质用最大间隙 $X_{\max}$ 、最大过盈 $Y_{\max}$ 和平均间隙 X_{av} 或平均过盈 Y_{av} 表示。

$$X_{av}(\text{或 } Y_{av}) = \frac{X_{\max} + Y_{\max}}{2} \quad (2-9)$$

按上式计算,若所得的值为正时是平均间隙,表示偏松的过渡配合;若所得值为负时是平均过盈,表示偏紧的过渡配合。

(6) 配合公差(T_f):组成配合的孔、轴公差之和。它是允许间隙或过盈的变动量。配合公差是一个没有符号的绝对值,用代号 T_f 表示。

$$\text{对于间隙配合} \quad T_f = T_h + T_s = |X_{\max} - X_{\min}| \quad (2-10)$$

$$\text{对于过盈配合} \quad T_f = T_h + T_s = |Y_{\min} - Y_{\max}| \quad (2-11)$$

$$\text{对于过渡配合} \quad T_f = T_h + T_s = |X_{\max} - Y_{\max}| \quad (2-12)$$

配合公差反映配合精度,配合种类反映配合性质。

例 2-2 计算 $\phi 20^{+0.021}_0$ 孔与 $\phi 20^{+0.020}_{-0.033}$ 轴配合的极限间隙、平均间隙及配合公差,并画出公差带图。

$$\text{解:极限间隙} \quad X_{\max} = ES - ei = (+0.021) - (-0.033) = +0.054\text{mm}$$

$$X_{\min} = EI - es = 0 - (-0.020) = +0.020\text{mm}$$

$$\text{平均间隙} \quad X_{av} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} = \frac{(+0.054) + (+0.020)}{2} = +0.037\text{mm}$$

$$\text{配合公差} \quad T_f = X_{\max} - X_{\min} = (+0.054) - (+0.020) = 0.034\text{mm}$$

本例的公差带图如图 2-9(a)所示。

例 2-3 计算 $\phi 20^{+0.021}_0$ 孔与 $\phi 20^{+0.041}_{-0.028}$ 轴配合的极限过盈、平均过盈及配合公差,并画出公差带图。

$$\text{解:极限过盈} \quad Y_{\max} = EI - es = 0 - (+0.041) = -0.041\text{mm}$$

$$Y_{\min} = ES - ei = (+0.021) - (-0.028) = -0.007\text{mm}$$

$$\text{平均过盈} \quad Y_{av} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2} = \frac{(-0.041) + (-0.007)}{2} = -0.024\text{mm}$$

$$\text{配合公差} \quad T_f = T_h + T_s = |Y_{\min} - Y_{\max}| = (-0.007) - (-0.041) = 0.034\text{mm}$$

本例的公差带图如图 2-9(b)所示。

例 2-4 计算 $\phi 20^{+0.021}_0$ 孔与 $\phi 20^{+0.015}_{-0.002}$ 轴配合的最大间隙和最大过盈、平均间隙或平均过盈及配合公差,并画出公差带图。

$$\text{解:最大间隙} \quad X_{\max} = ES - ei = (+0.021) - (-0.002) = 0.019\text{mm}$$

$$\text{最大过盈} \quad Y_{\max} = EI - es = 0 - (+0.015) = -0.015\text{mm}$$

$$\text{平均间隙或平均过盈} \quad \frac{X_{\max} + Y_{\max}}{2} = \frac{(+0.019) + (-0.015)}{2} = +0.002\text{mm} \quad (\text{平均间隙})$$

$$\text{配合公差} \quad T_f = T_h + T_s = |Y_{\max} - Y_{\min}| = (+0.019) - (-0.015) = +0.034\text{mm}$$

本例的公差带图如图 2-9(c)所示。

(7) 配合制:同一极限制的孔和轴组成配合的一种制度。

(8) 基孔制配合:基本偏差为一定的孔的公差带,与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。对极限与配合制来说,也是孔的最小极限尺寸与基本尺寸相等、孔的下偏差 EI 为零的一种配合制。如图 2-10(a)所示。基孔制配合的孔为基准孔,用基本偏差 H 表示,它是配合的基准件,而轴是非基准件。