

普通高等教育“十一五”规划教材

机械精度设计基础

(第二版)

孙玉芹 袁夫彩 主编
李 柱 主审

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为高等工科院校机械类和近机械类专业技术基础课教材。全书共分 10 章,前 5 章阐述互换性基本概念、尺寸精度、形状和位置精度、表面粗糙度及测量技术基础等机械零件精度设计的基础知识;第 6、7 章阐述轴承、键、螺纹、圆锥、导轨和齿轮等典型零件的精度设计基础知识;第 8 章阐述长度尺寸链的基本概念及计算;第 9 章简单介绍计算机辅助精度设计基础知识;第 10 章给出了几何参数精度设计实例。

本书内容全部按照截至 2006 年 12 月最新国家标准编写,并遵循国家标准给出了各种术语和定义的相应英文。各章后附有习题。

本书适用于高等工科院校及职工大学机械类和近机械类专业机械精度设计基础(互换性与测量技术基础)课程教学,也可供各类工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计基础/孙玉芹,袁夫彩主编.—2 版.—北京:科学出版社,2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-03-019608-8

I. 机… II. ①孙… ②袁… III. 机械-精度-设计-高等学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124436 号

责任编辑:马长芳 潘继敏 / 责任校对:鲁素
责任印制:张克忠 / 封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2007 年 8 月第 二 版 印张: 17

2007 年 8 月第五次印刷 字数: 320 000

印数: 11 001-15 000

定价: 23.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

第二版前言

“互换性与测量技术基础”是高等工科院校机械类、近机械类各专业机械设计课程体系的一门重要的技术基础课程。随着各院校机械设计课程体系改革的不断展开、深入以及对外交流的日益增加,为了更好地适应当前机械设计课程体系改革的需要,我们于2003年出版了《机械精度设计基础》,供“互换性与测量技术基础”和“机械精度设计与测量技术基础”课程使用。

经过四年来的教学实践和本课程学科的发展,我们决定再版《机械精度设计基础》这本教材,以更好地满足教学需求。本书按照相关最新国家标准对第一版教材内容作了适当的调整和更新。

本书在编写中,参考了已出版的一些同类教材,同时也融入了编者多年的教学经验。本书具有如下特点:

1. 强调了精度设计这一主题,重点突出,简明扼要,适合教学。
2. 给出了关键术语、定义的对应该英文,有助于教师进行双语教学的尝试和提高读者的对外交流能力。
3. 本书内容全部按照截至2006年12月底最新国家标准编写,反映最新技术和信息。
4. 本书适应面广,既可作为本科生教材,也可作为专科生教材;既适用于机械类、近机械类专业的学生,也可供广大工程技术人员在进行机械设计、机械制造、标准化和计量测试等工作时参考。

全书共分10章,内容包括绪论、尺寸精度设计、形状和位置精度设计、表面粗糙度、几何参数检测技术基础、常用典型零件精度设计、渐开线圆柱齿轮传动的精度设计、尺寸链的计算、计算机辅助精度设计和几何参数精度设计实例。

参加本书编写的有哈尔滨工业大学孙玉芹(第1~4章、第6章6.5节)、张也晗(第6章6.2节)、赵熙萍和周海(第5章);东北林业大学孟兆新(第六章6.3节、6.4节,第7章7.1节~7.3节、7.5节和第9章)和朱海(第10章);哈尔滨工程大学袁夫彩(第6章6.1节、第7章7.4节和第8章)。本书由孙玉芹、袁夫彩任主编,全书由孙玉芹统稿,华中科技大学李柱教授任主审。

教材编写是一项艰巨而又细致的工作,在本书编写过程中,编者不仅得到了哈尔滨工业大学有关方面的大力支持,同时还得到了西安交通大学蒋庄德教授和苑国英副教授、河北理工大学何贡教授、南京机械高等专科学校陈于萍教授、郑州机

械研究所张民安(教授级)高级工程师和张元国主任的热情支持和帮助,特别是华中科技大学李柱教授对本书的编写提出了许多建设性的意见,给予了精心的指导和审阅,对此编者一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者赐教。

编 者

2007年4月

第一版前言

“互换性与测量技术基础”是高等工科院校机械类、近机械类各专业机械设计课程体系中一门重要的技术基础课程。随着各院校机械设计课程体系改革的不断展开、深入以及对外交流的日益增加,原有的“互换性与测量技术基础”课程正面临着变革和发展的新机遇,同时,新课程体系对该类课程提出了新的要求。为了更好地适应当前我校及各兄弟院校机械设计课程体系改革的需要,我们编写了这本教材,供各院校“互换性与测量技术基础”和“机械精度设计与测量技术基础”课程使用。

本书在编写中,既参考了现已出版的同类教材,又融入了编者多年的教学经验,具有如下特点:

1. 强调了精度设计这一主题,重点突出,简明扼要,适合教学。
2. 给出了各种术语、定义的对应该英文,不仅有助于教师为双语教学做准备,而且有助于学生提高对外交流能力。
3. 本书适应面广,既可作为本科生教材,也可作为专科生教材;既适于机械类、近机械类专业的学生,也可供广大工程技术人员在进行机械设计、机械制造、标准化和计量测试等工作时参考。

全书共分 10 章,内容包括绪论、尺寸精度设计基础、形状与位置精度设计、表面粗糙度、几何参数检测技术基础、常用典型零件精度设计、渐开线圆柱齿轮传动的精度设计、尺寸链计算、计算机辅助精度设计和几何参数精度设计实例。

参加本书编写的有哈尔滨工业大学孙玉芹(第 1~ 5 章、第 6 章 6.5 节和第 10 章),哈尔滨理工大学孟兆新(第 6 章 6.3 节、6.4 节,第 7 章 7.1 节~ 7.3 节、7.5 节和第 9 章),哈尔滨工程大学袁夫彩(第 6 章 6.1 节、第 7 章 7.4 节和第 8 章)和哈尔滨工业大学张也晗(第 6 章 6.2 节)。本书由孙玉芹、孟兆新任主编,全书由孙玉芹统稿,华中科技大学李柱教授任主审。

教材编写是一项艰巨而又细致的工作。在本书编写过程中,编者不仅得到了哈尔滨工业大学有关方面的大力支持,同时还得到了西安交通大学蒋庄德教授和苑国英副教授、河北理工大学何贡教授、南京机械高等专科学校陈于萍教授、郑州机械研究所张民安(教授级)高级工程师和张元国主任的热情支持和帮助;特别是华中科技大学的李柱教授对本书的编写给予了精心指导并做了细致的审阅,提出了许多建设性的意见。在此,编者一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者赐教。

编者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 机械零件几何精度设计原则——互换性原则	1
1.3 标准化与优先数系	3
习题 1	7
第 2 章 尺寸精度设计	8
2.1 有关尺寸精度设计的基本术语和定义	8
2.2 尺寸的极限与配合国家标准简介	16
2.3 尺寸精度设计的基本原则和方法	37
2.4 一般公差(线性尺寸的未注公差)	50
习题 2	51
第 3 章 形状和位置精度设计	53
3.1 形状和位置误差	53
3.2 形状和位置公差	54
3.3 形状和位置误差的评定	82
3.4 形位公差与尺寸公差的关系	91
3.5 形状和位置公差的选用	97
习题 3	102
第 4 章 表面粗糙度	105
4.1 基本概念	105
4.2 表面粗糙度的评定	106
4.3 表面粗糙度的选用	112
4.4 表面粗糙度符号、代号及其注法	116
习题 4	120
第 5 章 几何参数检测技术基础	122
5.1 测量	122
5.2 长度和角度计量单位与量值传递	122
5.3 测量方法和计量器具的分类	127
5.4 计量器具的度量指标	130
5.5 测量误差与数据处理	131
5.6 测量结果的数据处理	138
习题 5	139

第 6 章 常用典型零件精度设计	141
6.1 滚动轴承结合的精度设计	141
6.2 平键、矩形花键结合的精度设计	151
6.3 螺纹联结的精度设计	158
6.4 圆锥配合的精度设计	169
6.5 导轨副的精度分析与设计	173
习题 6	178
第 7 章 渐开线圆柱齿轮传动的精度设计	180
7.1 齿轮传动的使用要求	180
7.2 影响渐开线圆柱齿轮精度的因素	181
7.3 渐开线圆柱齿轮精度的评定参数	184
7.4 渐开线圆柱齿轮精度标准	192
7.5 渐开线圆柱齿轮精度设计	200
习题 7	214
第 8 章 尺寸链的计算	215
8.1 尺寸链的基本概念	215
8.2 用完全互换法解尺寸链	219
8.3 大数互换法解尺寸链	226
8.4 用其他方法解装配尺寸链	231
习题 8	233
第 9 章 计算机辅助精度设计	235
9.1 计算机辅助精度设计	235
9.2 公差数据的处理	236
9.3 计算机辅助精度设计实例	239
9.4 系统设计	258
习题 9	258
第 10 章 几何参数精度设计实例	259
10.1 配合尺寸的精度设计	260
10.2 套筒的几何精度设计	262
参考文献	263

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

机械精度设计涉及机械设计、机械制造工艺、机械制造计量测试、质量管理与质量控制等许多学科,与机械工业发展密切相关,与 CAD/CAM/CAPP 相辅相成,与计算机技术的发展紧密相连,是一门综合性应用技术基础学科。

任何机械产品,都是由零部件组成的。因此,机械零部件几何参数的精度(尺寸精度、形状及相互位置精度、表面粗糙度等)会直接影响现代机械产品的质量,包括工作精度、耐用性、可靠性、效率等。也就是说,在合理设计结构和正确选用材料的前提下,机械零部件几何参数的精度设计是保证产品质量的重要因素,是机械设备、仪器仪表设计的基础。

机械零部件几何精度设计的任务,就是根据使用要求对于经过参数设计阶段确定的机械零件的几何参数合理地给出尺寸、形状位置和表面粗糙度公差值,用以控制加工误差,从而保证产品的各项性能要求。

本课程是各类机械、仪器仪表设计与制造专业本科学生必修的一门主干专业技术基础课,其目的就是培养学生进行机械零部件几何精度设计的能力,兼顾培养学生对机械精度要求和检测的理解能力,为学生进行机械设计奠定基础。

1.2 机械零件几何精度设计原则——互换性原则

在进行机械零件几何精度设计过程中,应遵循互换性原则和经济性原则。

1.2.1 互换性

互换性(interchange ability)是指零部件在几何、功能等参数上能够彼此相互替换的性能,即同一规格的零部件,不需要任何挑选、调整或修配,就能装配(或更换)到机器上,并且符合使用性能要求。由此可见,要使零部件满足互换性,不仅要求几何参数,而且要求机械性能、理化性能以及其他功能参数都能互相替换。所以,零件的互换性涉及两大方面:一方面是几何参数的互换性,另一方面是功能互换性。下文所涉及的互换性均指零部件几何参数的互换性。

零部件在实际制造过程中,由于加工设备、工具不可避免地存在误差,要使同

一规格的一批零件或部件几何参数的实际值完全相同是不可能的,它们之间或多或少地存在着差异。因此,要保证其具有互换性,只能使其几何参数的实际值充分接近。其接近程度取决于产品的质量要求。为保证产品几何参数的实际值对其理论值充分接近,就必须将其实际值的变动量限定在一定范围内,这个范围就是公差。

1.2.2 互换性的分类

按同一规格一批零部件互换的程度可以将互换性分为完全互换性(绝对互换性)与不完全互换性(有限互换)。

完全互换性是一批规格相同的零部件在加工好以后,不需要任何挑选、调整或修配,在几何参数上具有互相替换的性能。概率互换(大数互换性)属于完全互换性,这种互换性是以一定置信水平为依据,如置信水平为95%、99%等,使加工好的规格相同的大多数零部件不需任何挑选、调整、修配等辅助处理,在几何参数上就具有彼此互相替换的性能。

不完全互换性是指规格相同的零部件加工完以后,在装配(或更换)前需要挑选、调整或修配等辅助处理,在几何参数上才具有互相替换的性能。

当装配精度要求较高时,采用完全互换性将使零件制造精度要求很高,难于加工,成本增高。这时,可以根据生产批量、精度要求、结构特点等具体条件,或者采用分组互换法,或者采用调整互换法,或者采用修配互换法,这样做既可保证装配精度和使用要求,又能适当地放宽加工公差,减小零件加工难度,降低成本。

对于标准化部件或机构来说,互换性又可分为内互换性与外互换性。

内互换性是指组成机构或部件的内部零件几何参数的互换性。例如滚动轴承内圈滚道直径、外圈滚道直径、保持架或滚动体等,都具有内互换性,一般采用分组互换。

外互换性是指同规格部件或机构的外形尺寸的互换性。例如滚动轴承内圈的内径、外圈的外径均应具有外互换性。

1.2.3 互换性的作用

互换性对现代化机械制造业具有非常重要的意义。只有机械零部件具有互换性,才有可能将一台复杂的机器中成千上万的零部件分散到不同的工厂、车间进行高效率的专业化生产,然后再集中到总装厂或总装车间进行装配。因此,互换性是现代化机械制造业进行专业化生产的前提条件,不仅能促进自动化生产的发展,也有利于降低成本、提高产品质量。

从设计看,按互换性进行设计,就可以最大限度地采用标准件、通用件,如滚动轴承、螺钉、销钉、键等,大大减少计算、绘图等工作量,使设计简便,缩短设计周期,

有利于产品品种的多样化和计算机辅助设计,有利于开发系列产品,不断地改善产品结构、提高产品性能。

从制造看,互换性有利于组织大规模专业化生产,有利于采用先进工艺设备和高效率的专用设备,有利于进行计算机辅助制造,有利于实现加工和装配过程的机械化、自动化,从而减轻劳动强度,提高生产效率,保证产品质量,降低生产成本。

从使用看,零部件具有互换性,可以及时更换那些已经磨损或损坏了的零部件,因此,减少了机器的维修时间和费用,增加了机器的平均无故障的工作时间,保证机器能够连续而持久地运转,提高了设备的利用率。在诸如航天、航空、核工业、能源、国防等特殊领域或行业,零部件的互换性所起的作用是很难用具体价值来衡量的,其意义更为重大。

1.3 标准化与优先数系

1.3.1 标准化

国家标准 GB/T 20000.1—2002 中规定:标准化(standardization)是指为了在一定范围内获得最佳社会秩序,对现实问题或潜在问题制定共同使用和重复使用的条款的活动。上述活动主要包括编制、发布和实施标准的过程。标准化的主要作用在于,为了其预期目的改进产品、过程或服务的适用性,防止贸易壁垒,并促进技术合作。

在国际上,为了加强世界各国之间的交流、促进各国之间在技术上的统一,先后成立了国际电工委员会(IEC)和国际标准化组织(ISO),并由这两个组织负责起草、制定和颁布国际标准。经过许多年的发展和完善,目前,标准化正处于新的历史时期。为了增进国际间的合作,使产品走向国际市场,我国于1978年恢复参加ISO组织后,陆续修订了原有的国家标准。修订的原则是:在立足我国生产实际的基础上向ISO靠拢,以利于加强我国在国际上的技术交流与合作。近年来,越来越多新修订的标准等同地采用了ISO标准。

标准化的主要体现形式是标准。标准是为了在一定的范围内获得最佳秩序,经协商一致制定并由公认机构批准,共同使用和重复使用的一种规范性文件。

标准涉及的范围极其广泛,种类也十分繁多,涉及人类活动的各个方面。按标准化对象的特性划分,有基础标准、术语标准、试验标准、产品标准、过程标准、服务标准、安全和环境保护标准和接口标准等。按标准的级别划分,有国际标准、国家标准、行业标准和企业标准等。

我国于1988年发布了《中华人民共和国标准化法》,其中规定国家标准和行业标准又分为强制性标准和推荐性标准两大类。涉及人身安全、健康、卫生及环境保

护等的标准属于强制性标准。强制性国家标准的代号为 GB。对于这些标准,国家通过法律、行政和经济等各种手段及措施来维护并加以实施。其余的标准属于推荐性标准。推荐性国家标准的代号为 GB/T。由于标准是人类科学知识的沉淀、技术活动的结晶、多年实践经验的总结,代表着先进的生产力,对生产具有普遍的指导意义,能够促进技术交流与合作,有利于产品的市场化,因此,在生产活动中,推荐性标准也应积极采用。

总之,标准化可以方便产品设计、生产、存放、运输和管理。标准化是组织现代专业化协作生产的重要手段,是实现互换性的必要前提,是一个国家现代化水平的重要标志之一。它对人类进步和科学技术发展起着巨大的推动作用。

1.3.2 优先数系和优先数

标准化要求各种参数系列化和简化,需将参数值(如零件的几何参数值、公差值等)合理地分级分档,使其有恰当的间隔,便于管理和应用。因此,简化、协调和统一工程和产品的各种技术参数是标准化的重要内容。

1. 优先数系

优先数系(series of preferred numbers)是国际统一的数值制度,是技术经济工作中统一、简化和协调产品参数的基础。

在机械产品设计中,需要确定零件的各种几何参数。其中,许多参数涉及加工、测量、储存、运输等生产的各个环节,这些参数一旦确定,就会按照一定规律向与其有配套关系的一系列产品的有关的参数传播、扩散。在生产实际中,这种现象是极为普遍的。所以,设计时,不能随意确定机械产品中的各种技术参数,以免出现规格品种恶性膨胀的混乱局面,便于组织生产、协调配套以及使用维护。因此,必须对各种技术参数的数值做出统一规定。国家标准 GB 321—2005《优先数和优先数系》就是其中最重要的一个标准,确定工业产品技术参数时,应尽可能采用该标准中的数值。

国家标准 GB 321—2005 规定:优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 和 $\sqrt[80]{10}$,且项值中含有 10 的整数幂的理论等比数列导出的一组近似等比的数列。各数列分别用符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示,称为 R5 系列、R10 系列、R20 系列、R40 系列和 R80 系列。

2. 优先数系的种类和代号

(1) 基本系列(basic series)

优先数系中的常用系列,称为基本系列。有 R5、R10、R20 和 R40 四个系列,表 1-1 所示为基本系列的各项数值。

基本系列的代号;系列无限定范围时,用 R5、R10、R20、R40 表示;系列有限定范围时,应注明界限值。例如:

R10(1.25…)表示以 1.25 为下限的 R10 系列;

R20(…45)表示以 45 为上限的 R20 系列;

R40(75…300)表示以 75 为下限,300 为上限的 R40 系列。

基本系列的公比分别为

$$R5: q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.5894 \approx 1.60$$

$$R10: q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2589 \approx 1.25$$

$$R20: q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.1220 \approx 1.12$$

$$R40: q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.0593 \approx 1.06$$

(2) 补充系列(complementary R80 series)

R80 系列称为补充系列,它的公比 $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.0294 \approx 1.03$,其代号表示方法同基本系列。

3. 优先数

优先数系中的任一个项值均为优先数(preferred number)。按公比计算得到的优先数的理论值(除 10 的整数幂外)不能用于实际工程中,对理论值取 5 位有效数字的计算值仅供精确计算使用,取 3 位有效数字的常用值广泛应用于实际工程中的各个领域,见表 1-1 所示。

表 1-1 优先数系的基本系列(摘自 GB 321—2005)

基本系列(常用值)				序号	理论值		基本系列和计算值间的相对误差/%	
R5	R10	R20	R40		对数尾数	计算值		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
1.00	1.00	1.00	1.00	0	000	1.000 0	0	
			1.06	1	025	1.059 3	+ 0.07	
		1.12	1.12	2	050	1.122 0	- 0.18	
			1.18	3	075	1.188 5	- 0.71	
	1.25	1.25	1.25	4	100	1.258 9	- 0.71	
			1.32	5	125	1.333 5	- 1.01	
		1.40	1.40	6	150	1.412 5	- 0.88	
			1.50	7	175	1.496 2	+ 0.25	
			1.60	1.60	8	200	1.584 9	+ 0.95
				1.70	9	225	1.678 8	+ 1.26

续表

基本系列(常用值)				序号	理论值		基本系列 和计算值间 的相对误差/%
R5	R10	R20	R40		对数尾数	计算值	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1.60	1.60	1.80	1.80	10	250	1.778 3	+ 1.22
			1.90	11	275	1.88 36	+ 0.87
	2.00	2.00	2.00	12	300	1.995 3	+ 0.24
			2.12	13	325	2.113 5	+ 0.31
			2.24	14	350	2.238 7	+ 0.06
			2.36	15	375	2.371 4	- 0.48
2.50	2.50	2.50	2.50	16	400	2.511 9	- 0.47
			2.65	17	425	2.660 7	- 0.40
		2.80	2.80	18	450	2.818 4	- 0.65
			3.00	19	475	2.985 4	+ 0.49
	3.15	3.15	3.15	20	500	3.162 3	- 0.39
			3.35	21	525	3.349 7	+ 0.01
			3.55	22	550	3.548 1	+ 0.05
			3.75	23	575	3.758 4	- 0.22
4.00	4.00	4.00	4.00	24	600	3.981 1	+ 0.47
			4.25	25	625	4.217 0	+ 0.78
		4.50	4.50	26	650	4.466 8	+ 0.74
			4.75	27	675	4.731 5	+ 0.39
	5.00	5.00	5.00	28	700	5.011 9	- 0.24
			5.30	29	725	5.308 8	- 0.17
		5.60	5.60	30	750	5.623 4	- 0.42
			6.00	31	775	5.956 6	+ 0.73
6.30	6.30	6.30	6.30	32	800	6.309 6	- 0.15
			6.70	33	825	6.683 4	+ 0.25
		7.10	7.10	34	850	7.079 5	+ 0.29
			7.50	35	875	7.498 9	+ 0.01
	8.00	8.00	8.00	36	900	7.943 3	+ 0.71
			8.50	37	925	8.414 0	+ 1.02
9.00		9.00	38	950	8.912 5	+ 0.98	
		9.50	39	975	9.440 6	+ 0.63	
10.00	10.00	10.00	10.00	40	000	10.000 0	0

实际应用时,按 R5、R10、R20、R40 和 R80 的顺序依次选用。在基本系列和补充系列不能满足要求时,可以采用派生系列。

派生系列是从基本系列或补充系列 R_r (其中 $r = 5, 10, 20, 40$ 和 80) 中,每 p 项取值导出的系列。

派生系列的代号表示方法:

系列无限定范围时,由于比值 r/p 相等的派生系列具有相同的公比,但其项值是多义的,应指明系列中含有的一个项值。例如:

$R10/3(\cdots 20 \cdots)$ 表示含有项值 20 并向两端无限延伸的派生系列。

如果系列中含有项值 1,可简写为 $R_{r/p}$ 。例如:

$R10/3$ 表示系列为 $\cdots 1, 2, 4, 8, 16 \cdots$ 。

系列有限定范围时,应注明界限值。例如:

$R20/4(112 \cdots)$ 表示以 112 为下限的派生系列;

$R40/4(\cdots 60)$ 表示以 60 为上限的派生系列;

$R5/2(1 \cdots 10\ 000)$ 表示以 1 为下限,10 000 为上限的派生系列。

派生系列的公比为

$$q_{r/p} = q_r^p = \left[\sqrt[r]{10} \right]^p = 10^{p/r}$$

习 题 1

1. 何为互换性,互换性在机械制造业中的作用是什么?
2. 完全互换与不完全互换有何区别,各用于何种场合?
3. 何为优先数系,何为优先数,工程中为何要采用优先数系和优先数?实际应用时,按什么顺序选用优先数系和优先数?

第 2 章 尺寸精度设计

机械产品中的零部件,在通过结构设计、运动设计和强度设计得到基本尺寸之后,为了满足产品的性能要求和加工的经济性,必须对其基本尺寸进行精度设计。

2.1 有关尺寸精度设计的基本术语和定义

国家标准(GB/T 1800.1—1997)规定了以下基本术语和定义。

2.1.1 有关孔、轴的定义

1. 孔(hole)

通常,孔是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)。

2. 轴(shaft)

通常,轴是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)。

上述定义的孔、轴与通常的概念不同。这里,圆柱形的内表面是孔,非圆柱形的内表面也是孔;圆柱形的外表面是轴,非圆柱形外表面也是轴。在图 2-1(a)中,孔径 D_1 、键槽宽度 D_2 都是孔;图 2-1(a)中轴径 d 、图 2-1(b)中轴径 d_1 和尺寸 d_2 都是轴。

可以这样理解孔和轴:从加工过程看,孔的尺寸越加工越大,轴的尺寸越加工

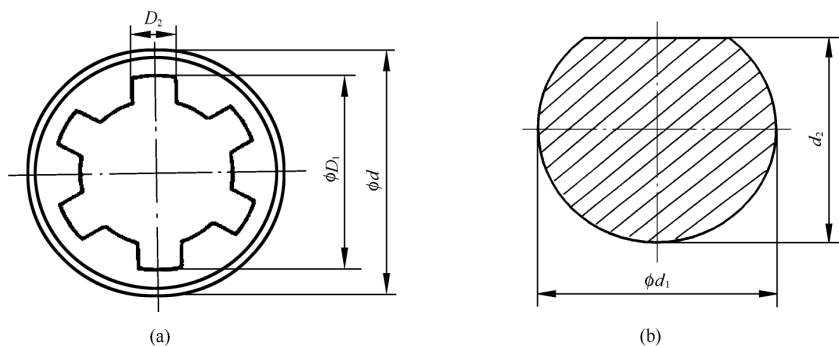


图 2-1 孔与轴

越小。从配合的角度看,孔是包容面,如轴承内圈的内径、轴上键槽的宽度等;轴是被包容面,例如圆柱体的直径、长度、长方体的长、宽、高、键宽等。

一般说来,零、部件上的尺寸要么是孔,要么是轴。但有一类尺寸例外,既不是孔,也不是轴,如两个孔的中心距。

2.1.2 有关尺寸、偏差和公差的术语和定义

1. 尺寸(size)

尺寸是以特定单位表示线性尺寸值的数值,如半径、直径、长度、宽度、高度、深度、厚度及中心距等。

2. 基本尺寸(basic size)

基本尺寸是设计给定的尺寸。用 D 和 d 分别表示孔、轴的基本尺寸。

基本尺寸可以是一个整数或小数值,它是根据零件的强度、刚度等使用要求,计算出的或通过试验和类比方法而确定的,并从相关标准表格中查取的标准值。图样上标注的 $35^{+0.025}_0$, $35,35^{+0.039}_{-0.020}$ 中的35,都是基本尺寸。

3. 实际尺寸(actual size)

实际尺寸是通过测量获得的某一孔、轴的尺寸,分别用 D_a 和 d_a 表示孔、轴的实际尺寸。

按同一图纸要求所加工的各个零件,其实际尺寸往往是不相同的,这是由于加工误差的存在。甚至同一个零件的不同位置、不同方向的实际尺寸也往往不同。被测尺寸真值是客观存在的,但却是不可确切获知的,这是由于测量误差的存在。因此,人们只能通过测量得到它的近似值,即实际尺寸。另外,由于工件存在形状误差,所以不同部位的实际尺寸也不完全相同。

4. 极限尺寸(limits of size)

一个孔或轴允许的尺寸的两个极端。其中,孔或轴允许的最大尺寸称为最大极限尺寸(maximum limits of size);孔或轴允许的最小尺寸称为最小极限尺寸(minimum limits of size)。

极限尺寸是用来限制实际尺寸的。合格的零件实际尺寸应位于极限尺寸之中,也可达到极限尺寸。分别用代号 D_{\max} 、 D_{\min} 和 d_{\max} 、 d_{\min} 表示孔和轴的最大、最小极限尺寸。

5. 尺寸偏差(简称偏差)

(1) 偏差(deviation)

偏差是指某一尺寸(实际尺寸、极限尺寸等)减其基本尺寸所得的代数差。

(2) 极限偏差(limits of deviation)

极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为极限偏差。其中,最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差(upper deviation);最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差(lower deviation)。国家标准规定:孔的上、下偏差代号用 ES、EI 表示;轴的上、下偏差代号用 es、ei 表示。

由极限偏差的定义,有

$$ES = D_{\max} - D \quad (2-1)$$

$$EI = D_{\min} - D \quad (2-2)$$

$$es = d_{\max} - d \quad (2-3)$$

$$ei = d_{\min} - d \quad (2-4)$$

(3) 实际偏差(actual deviation)

实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差。孔、轴的实际偏差分别用 E_a 和 e_a 表示。

偏差是代数值,其值可正、可负或零,但同一个基本尺寸的两个极限偏差不能同时为零。在计算和图纸标注时,上、下偏差(除了零以外)必须带有正号或负号。

6. 尺寸公差(size tolerance)

尺寸公差(简称公差)是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。公差和极限尺寸的关系如下:

$$T_D = |D_{\max} - D_{\min}| \quad (2-5)$$

$$T_d = |d_{\max} - d_{\min}| \quad (2-6)$$

由(2-1)~(2-6)式,有

$$T_D = |ES - EI| \quad (2-7)$$

$$T_d = |es - ei| \quad (2-8)$$

公差是用于控制尺寸的变动量的,绝不能为零;极限偏差是用于控制实际偏差的。

7. 尺寸公差带图

由于公差的数值比基本尺寸的数值小得多,不使用同一比例表示。如果只为了表明尺寸、极限偏差及公差之间的关系,可以不必画出孔、轴的全形,而采用简单明了的示意图表示,这种示意图就叫做公差带图,见图 2-2。从图中可以看出,公差带图由两部分组成:零线(zero line)和公差带。

零线是指在公差带图中,确定偏差的一条基准直线,即基本尺寸所指的线,是偏差的起始线。通常,零线沿水平方向绘制,零线上方为正偏差区,零线下方为负偏

差区。在画公差带图时,像图 2-2 那样标注符号“ $\overset{+}{0}$ ”和基本尺寸线。

8. 公差带 (tolerance zone)

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称为公差带。它是由公差大小和其相对零线的位置如基本偏差来确定的。公差带在垂直零线方向的高度代表公差值,公差带沿零线方向的长度可适当截取,其位置由基本偏差确定,基本偏差可以是上偏差或下偏差,一般为靠近零线的那个偏差。

在同一个公差带图中,孔、轴公差带的位置、大小应采用相同的比例,一般采用斜线表示孔公差带,采用网点或空白表示轴公差带。

在公差带图中,基本尺寸的单位采用 mm,上、下偏差的单位可以采用 μm 或 mm。当基本尺寸与上、下偏差采用不同单位时,则要标写基本尺寸的单位,如图 2-3(a) 所示;当基本尺寸与上、下偏差采用相同单位时,不标写基本尺寸的单位,如图 2-3(b) 所示。

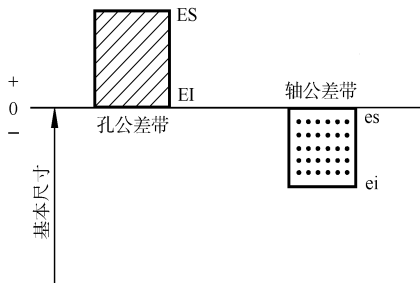


图 2-2 尺寸公差带

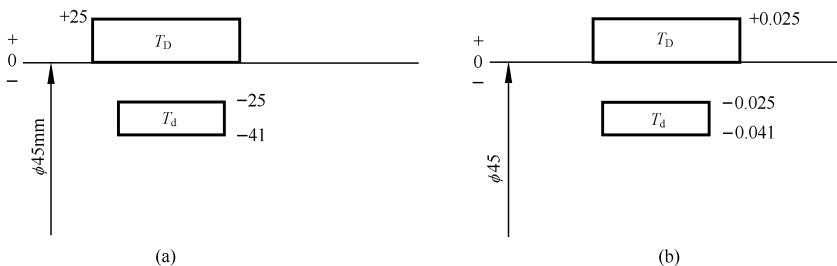


图 2-3 尺寸公差带图两种画法

2.1.3 有关配合的术语和定义

1. 配合 (fit)

配合是指基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

由上述定义可知,相互配合的孔、轴基本尺寸相等;孔是包容面,轴是被包容面。

2. 间隙 (clearance)

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为正时,称为间隙。用代号 X 表示间隙,

如图 2-4(a)所示。

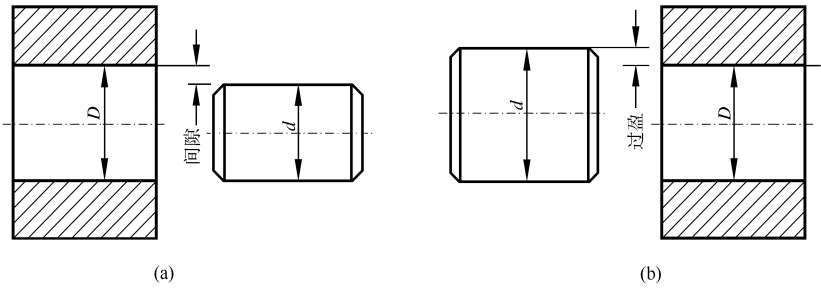


图 2-4 间隙或过盈

3. 过盈(interference)

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为负时,称为过盈。用代号 Y 表示过盈,如图 2-4(b)所示。

4. 配合类别

根据孔、轴公差带相对位置关系,可将配合分为三类,即间隙配合、过盈配合和过渡配合。

(1) 间隙配合(clearance fit)

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(包括相接),如图 2-5 所示。

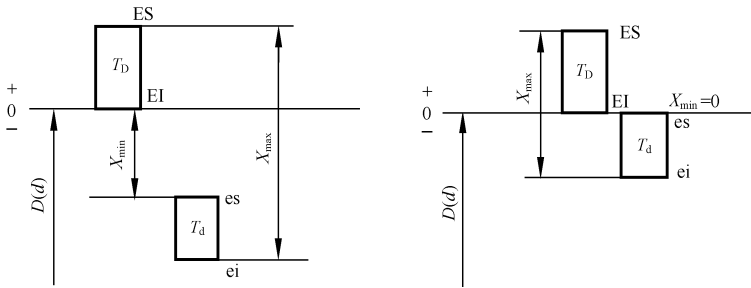


图 2-5 间隙配合

(2) 过盈配合(interference fit)

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(包括相接),如图 2-6 所示。

(3) 过渡配合(transition fit)

可能具有间隙或过盈的配合称为过渡配合。此时,孔的公差带与轴的公差带

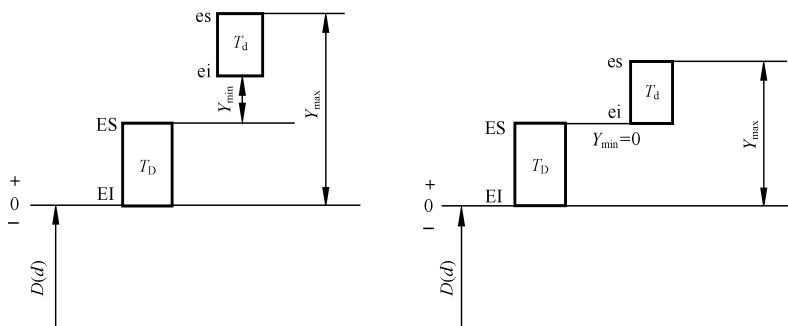


图 2-6 过盈配合

相交叠,如图 2-7 所示。

在间隙配合中,配合性质用最大间隙 (maximum clearance) X_{\max} 、最小间隙 (minimum clearance) X_{\min} 和平均间隙 X_{av} 表示。

最大间隙是指在间隙配合或过渡配合中,孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差,见图 2-5 和图 2-7。

最小间隙是指在间隙配合中,孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差,见图 2-5。

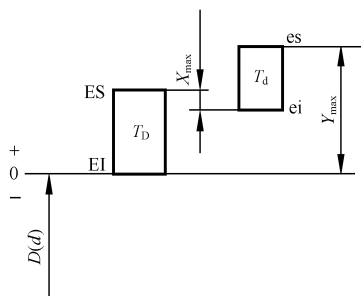


图 2-7 过渡配合

上述定义的计算式如下:

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-9)$$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-10)$$

$$X_{av} = \frac{1}{2}(X_{\max} + X_{\min})$$

在过盈配合中,配合性质用最小过盈 (minimum interference) Y_{\min} 、最大过盈 (maximum interference) Y_{\max} 和平均过盈 Y_{av} 表示。

最大过盈是指在过盈配合或过渡配合中,孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差,见图 2-6 和图 2-7。

最小过盈是指在过盈配合中,孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸的代数差,见图 2-6。

上述计算式的定义如下:

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-11)$$

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-12)$$

$$Y_{av} = \frac{1}{2}(Y_{\min} + Y_{\max})$$

在过渡配合中,配合性质用最大间隙 X_{\max} 、最大过盈 Y_{\max} 和平均间隙 X_{av} 或平均过盈 Y_{av} 表示。

平均间隙 X_{av} 或平均过盈 Y_{av} 的计算式如下:

$$X_{av} \text{ (或 } Y_{av}) = \frac{1}{2}[X_{\max} + Y_{\max}] \quad (2-13)$$

(4) 配合公差 (variation of fit)

配合公差是允许间隙或过盈的变动量,它等于组成配合的孔、轴公差之和,表示配合精度,是评定配合质量的一个重要指标。

配合公差的代号用 T_f 表示。其计算式如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{对于间隙配合} \quad T_f &= |X_{\max} - X_{\min}| \\ \text{对于过盈配合} \quad T_f &= |Y_{\min} - Y_{\max}| \\ \text{对于过渡配合} \quad T_f &= |X_{\max} - Y_{\max}| \end{aligned} \right\} \quad (2-14)$$

将(2-14)式中的最大间隙、最大过盈分别用孔、轴极限尺寸或极限偏差代换,则有

$$\begin{aligned} T_f &= |X_{\max} \text{ (或 } Y_{\min}) - X_{\min} \text{ (或 } Y_{\max})| \\ &= |(ES - ei) - (EI - es)| \\ &= |(ES - EI) + (es - ei)| \\ &= |ES - EI| + |es - ei| \\ &= T_D + T_d \end{aligned}$$

即用孔、轴公差表示三类配合的配合公差的计算式相同,均为

$$T_f = T_D + T_d \quad (2-15)$$

(2-15)式表明配合精度取决于相互配合的孔和轴的尺寸精度。在设计时,往往是根据使用要求得到配合公差,再根据配合公差来确定孔和轴的尺寸公差。

例 2-1 现有一过盈配合,孔为 $45^+_{-0.025}$,轴为 $45^+_{-0.026}$ 。求最大过盈、最小过盈、平均过盈和配合公差。

解 已知

$$ES = + 0.025\text{mm}, EI = 0\text{mm}$$

$$es = + 0.042\text{mm}, ei = + 0.026\text{mm}$$

将孔、轴的上、下偏差代入过盈配合的计算公式,有

$$Y_{\max} = EI - es = 0 - (+ 0.042) = - 0.042(\text{mm})$$

$$Y_{\min} = ES - ei = (+ 0.025) - (+ 0.026) = - 0.001(\text{mm})$$

$$Y_{av} = \frac{1}{2}(Y_{\max} + Y_{\min}) = \frac{1}{2}[(- 0.042) + (- 0.001)] = - 0.0215(\text{mm})$$

$$T_f = |Y_{\min} - Y_{\max}| = |ES - EI| + |es - ei| = T_D + T_d$$

$$= |(-0.001) - (-0.042)| = |(+0.025) - 0| + |(+0.042) - (+0.026)|$$

$$= 0.041(\text{mm})$$

例 2-2 现有一间隙配合,孔为 $45^{+0.025}_0$,轴为 $45^{-0.025}_{-0.041}$ 。求最大间隙、最小间隙、平均间隙和配合公差。

解 已知

$$ES = +0.025\text{mm}, \quad EI = 0\text{mm}$$

$$es = -0.025\text{mm}, \quad ei = -0.041\text{mm}$$

将孔、轴的上、下偏差代入间隙配合的计算公式,有

$$X_{\max} = ES - ei = (+0.025) - (-0.041) = +0.066(\text{mm})$$

$$X_{\min} = EI - es = 0 - (-0.025) = +0.025(\text{mm})$$

$$X_{\text{av}} = \frac{1}{2}(X_{\max} + X_{\min}) = \frac{1}{2}[(+0.066) + (+0.025)]$$

$$= +0.0455(\text{mm})$$

$$T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = |ES - EI| + |es - ei|$$

$$= T_D + T_d = |(+0.066) - (+0.025)|$$

$$= |(+0.025) - 0| + |(-0.025) - (-0.041)| = 0.041(\text{mm})$$

例 2-3 现有一过渡配合,孔为 $45^{+0.025}_0$,轴为 $45^{+0.025}_{+0.009}$ 。求最大间隙、最大过盈、平均间隙或平均过盈和配合公差。

解 已知

$$ES = +0.025\text{mm}, \quad EI = 0\text{mm}$$

$$es = +0.025\text{mm}, \quad ei = +0.009\text{mm}$$

将孔、轴的上、下偏差代入过渡配合的计算公式,有

$$X_{\max} = ES - ei = (+0.025) - (+0.009) = +0.016(\text{mm})$$

$$Y_{\max} = EI - es = 0 - (+0.025) = -0.025(\text{mm})$$

由于 $|X_{\max}| = |+0.016| < |Y_{\max}| = |-0.025|$, 所以有

$$Y_{\text{av}} = \frac{1}{2}(Y_{\max} + X_{\max}) = \frac{1}{2}[(-0.025) + (+0.016)]$$

$$= -0.0045(\text{mm})$$

$$T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = |ES - EI| + |es - ei|$$

$$= T_D + T_d = |(+0.016) - (-0.025)|$$

$$= 0.041\text{mm}$$

从以上三例可以看出,虽然孔、轴的尺寸公差相同而使配合公差相同,但由于轴的极限尺寸或极限偏差不同,结果导致配合性质完全不同。因此可以说,孔、轴的尺寸精度决定配合精度,而孔、轴的极限尺寸或极限偏差决定配合性质。

值得注意的是,配合公差 T_f 是绝对值,没有正、负之分,计算时绝不能在其数值前加正、负号,并且不能为零。

在进行尺寸精度设计时,经常用到(2-7)、(2-8)、(2-14)、(2-15)式。

2.2 尺寸的极限与配合国家标准简介

机械产品中的孔、轴结合主要有三种形式:孔、轴有相对运动,孔、轴固定连接和孔、轴之间定位可拆连接。为了满足这三种配合需求,极限与配合国家标准规定了配合制、标准公差系列和基本偏差系列,其基本结构如图 2-8 所示。

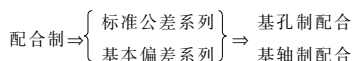


图 2-8 极限与配合的结构

下面就国家标准极限与配合(limits and fits)的基本内容——配合制、标准公差系列、基本偏差系列和孔、轴公差带与配合等问题,做简单介绍。

2.2.1 配合制

配合制(fit system),是指同一极限与配合制中的孔和轴组成配合的一种制度,即以两个相配合的零件中的一个作为基准件,并使其公差带位置固定,而通过改变另一个零件(非基准件)的公差带位置来形成各种配合的一种制度。GB/T 1800.1—1997 中规定了两种平行的配合制:基孔制配合和基轴制配合。

1. 基孔制配合(hole-basis system of fit)

基孔制配合就是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配合制度;此时,取孔的最小极限尺寸与基本尺寸相等,孔的下偏差为零(即 $EI=0$),如图 2-9 所示。

基孔制配合中的孔叫做基准孔(basic hole),它是配合的基准件,此时,轴是非基准件。标准规定基准孔以下偏差为基本偏差,用代号 H 表示,其数值等于 0,基准孔的上偏差为正值,如图 2-9 所示。这时,通过改变轴的基本偏差大小(即公差带的位置)而形成各种不同性质的配合。

2. 基轴制配合(shaft-basis system of fit)

基轴制配合就是基本偏差为一定的轴的公差带,与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种配合制度;此时,取轴的最大极限尺寸与基本尺寸相等,轴的上偏差为零(即 $es=0$),如图 2-10 所示。

基轴制配合中的轴叫做基准轴(basic shaft),它是配合的基准件,此时,孔是非基准件。标准规定基准轴以上偏差为基本偏差,用代号 h 表示,其数值等于 0,基准轴的下偏差为负值,如图 2-10 所示。这时,通过改变孔的基本偏差大小(即公差

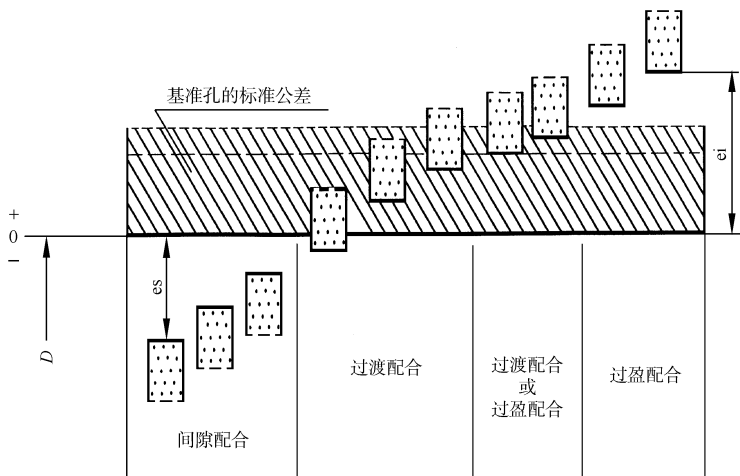


图 2-9 基孔制配合

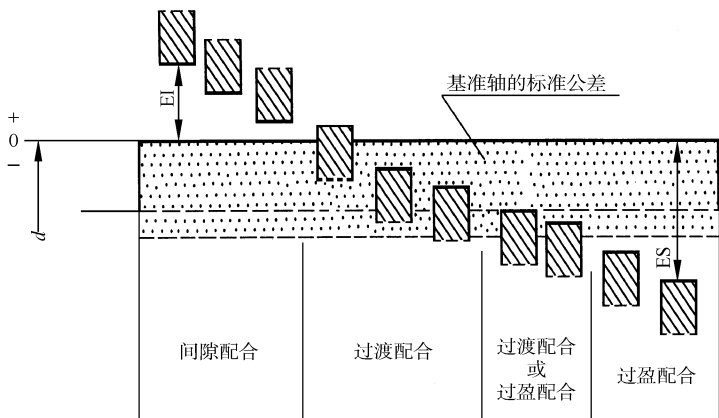


图 2-10 基轴制配合

带的位置)而形成各种不同性质的配合。

基孔制配合和基轴制配合构成了两种平行等效的配合系列,即在基孔制配合中规定的配合种类,在基轴制配合中也有相应的同名配合。

2.2.2 标准公差系列

标准公差(standard tolerance)系列是极限与配合国家标准制定出一系列标准公差数值。标准公差是在国家标准极限与配合制中所规定的任一公差。标准公差确定公差带大小,即公差带垂直于零线方向的高度。

标准公差系列由三项内容组成:公差等级、公差单位和基本尺寸分段。

1. 标准公差等级(standard tolerance grades)

为了简化和统一对公差的要求,以便既能满足广泛的、不同的使用要求,又能大致代表各种加工方法的精度,有利于零件设计和制造,有必要合理地规定和划分公差等级。

GB/T 1800.3—1998 在基本尺寸至 500mm 内规定了 01,0,1,⋯,18 共 20 个标准公差等级,记为 IT01,IT0,IT1,⋯,IT18,等级依次降低,同一基本尺寸段内,标准公差值随等级降低而增大;在基本尺寸大于 500~3150mm 内规定了 1,2,⋯,18 共 18 个标准公差等级,记为 IT1,IT2,IT3,⋯,IT18。

标准公差的计算公式见表 2-1。

表 2-1 标准公差的计算公式(μm)(摘自 GB/T 1800.3—1998)

公差等级	标准公差	基本尺寸/mm		公差等级	标准公差	基本尺寸/mm	
		$D \leq 500$	$D > 500 \sim 3150$			$D \leq 500$	$D > 500 \sim 3150$
01	IT01	$0.3 + 0.008D$		9	IT9	$40i$	$40I$
0	IT0	$0.5 + 0.012D$		10	IT10	$64i$	$64I$
1	IT1	$0.8 + 0.020D$	2I	11	IT11	$100i$	$100I$
2	IT2	$(IT1)(IT5/IT1)^{1/4}$	$2.7I$	12	IT12	$160i$	$160I$
3	IT3	$(IT1)(IT5/IT1)^{1/2}$	$3.7I$	13	IT13	$250i$	$250I$
4	IT4	$(IT1)(IT5/IT1)^{3/4}$	$5I$	14	IT14	$400i$	$400I$
5	IT5	$7i$	$7I$	15	IT15	$640i$	$640I$
6	IT6	$10i$	$10I$	16	IT16	$1000i$	$1000I$
7	IT7	$16i$	$16I$	17	IT17	$1600i$	$1600I$
8	IT8	$25i$	$25I$	18	IT18	$2500i$	$2500I$

对于 IT01、IT0、IT1 这三个高精度等级,主要考虑测量误差,其标准公差与零件尺寸呈线性关系,公式中的常数项和系数均按 R10 优先数系的派生系列 R10/2 取值,公比 1.6。

IT2、IT3、IT4 三个等级的标准公差,是在 IT1 和 IT5 之间按等比几何级数插入的方式获得的,其公比为 $q = (IT5/IT1)^{1/4}$ 。

IT5~IT18 的标准公差按下式计算:

$$ITn = a \cdot i$$

其中, a 是公差等级系数。IT6~IT18 的标准公差等级系数 a 取值符合 R5 优先数系的规律,公比 1.6,每隔 5 项 a 值增加 10 倍。IT5 的 a 值取 7。

IT01 和 IT0 两个最高级在工业中很少用到,所以在标准正文中没有给出该两公差等级的标准公差数值,但为满足使用者需要,在标准附录中给出了这些数值。

标准公差等级的延伸和插入计算:

向高精度延伸	$IT\ 02 = IT\ 01 / 1.6 = 0.2 + 0.005D$
向低精度延伸	$IT\ 19 = IT\ 18 \times 1.6 = 4\ 000i$
中间插入	$IT\ 8.5 = IT\ 8 \times q_{10} = 1.25IT\ 8 = 31.25i$
	$IT\ 8.25 = IT\ 8 \times q_{20} = 1.12IT\ 8 = 28.125i$

其中, i 是标准公差因子, 它是基本尺寸的函数, 即

$$i = f(D) \quad (2-16)$$

2. 标准公差因子(standard tolerance factor)

标准公差因子是计算标准公差的基本单位, 是制定标准公差数值系列的基础。生产实际经验和科学统计分析表明, 加工误差与零件的基本尺寸基本上呈立方抛物线关系, 也就是说尺寸误差与尺寸的立方根成正比。对于大尺寸段, 测量误差的影响增大, 测量误差与零件的基本尺寸基本上呈线性关系。因此, 考虑到上述两个因素, 国家标准总结出了标准公差因子的计算公式。

基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 时, $IT\ 5 \sim IT\ 18$ 的标准公差因子按下式计算:

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D \quad (2-17)$$

式中: D —— 基本尺寸分段的计算尺寸, mm 。

i —— 标准公差因子(standard tolerance factor), μm 。

式(2-17)中的第一项反映加工误差的影响, 第二项反映测量误差的影响, 主要是温度变化的测量误差的影响。

基本尺寸 $> 500 \sim 3150\text{mm}$ 时, $IT\ 5 \sim IT\ 18$ 的标准公差因子按下式计算:

$$I = 0.004D + 2.1 \quad (2-18)$$

式中: D —— 基本尺寸分段的几何平均值, mm 。

3. 尺寸分段

从理论上讲, 表 2-1 中所列的标准公差计算表明, 每一个基本尺寸都对应一个相应的标准公差值。在实际应用中, 基本尺寸很多, 结果会导致标准公差数值表极其庞大, 这样会给生产、设计造成很多困难。另一方面, 由标准公差因子的计算公式可以知道, 当基本尺寸变化不大时, 其产生的误差很接近。尤其是随着基本尺寸的增大, 这种现象更明显。因此, 为了减少标准公差值的数目、统一标准公差值和便于使用, 国家标准对基本尺寸进行了分段。基本尺寸分段后, 相同公差等级同一基本尺寸分段内的所有基本尺寸的标准公差数值相同。

表 2-2 是计算值按标准中规定的修约规则修约得到的标准公差数值表。从表 2-2 可知, 基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 内, 分成 13 个尺寸段。

对于同一尺寸段, 计算标准公差和后面的基本偏差数值时, 基本尺寸 D 一律

表 2-2 标准公差数值(摘自 GB/T 1800.3—1998)

基本尺寸		标准公差等级																	
/mm		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	/μm											/mm						
-	3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3	6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7

注:基本尺寸小于或等于 1mm 时,无 IT 14 至 IT 18。

按所属尺寸分段内的首尾两个尺寸(D_n 、 D_{n+1})的几何平均值(即前面提到的计算尺寸)代入公式进行计算,即

$$D = \sqrt{D_n \times D_{n+1}}$$

对于基本尺寸 $\leq 3\text{mm}$ 的尺寸段,

$$D = \sqrt{1 \times 3}$$

对于相同的基本尺寸,其公差值的大小能够反映公差等级的高低。这时,公差值越大,则公差等级越低;相反,则公差等级越高。对于不相同的基本尺寸,公差数值不能反映公差等级的高低。这时,要看公差等级系数 a 。 a 越大,公差等级越低;相反,则公差等级越高。公差等级越高,越难加工;公差等级越低,越容易加工。

例 2-4 试比较轴 $d_1 = 120\text{mm}$, $T_{d_1} = 22\mu\text{m}$ 和 $d_2 = 10\text{mm}$, $T_{d_2} = 15\mu\text{m}$ 的公差等级高低。

解 由于两根轴的基本尺寸不相同,因此要通过公差等级系数比较其公差等级的高低。

计算轴 1 的公差等级系数如下:

$$D_1 = \sqrt{80 \times 120} = 97.98(\text{mm})$$

$$i_1 = 0.45 \sqrt[3]{D_1} + 0.001D_1 \approx 2.173(\mu\text{m})$$

$$a_1 = \frac{T_{d_1}}{i_1} = \frac{22}{2.173} = 10.12 \approx 10$$

由 $a_1=10$ 查表 2-1 可知,轴 1 的公差等级为 IT6。

计算轴 2 的公差等级系数如下:

$$i_2 = 0.45 \sqrt[3]{D_2} + 0.001D_2 = 0.898(\text{mm})$$
$$a_2 = \frac{T_{d_2}}{i_2} = \frac{15}{0.898} = 16.7 \approx 17$$

由 $a_2=16$ 查表 2-1 可知,轴 2 的公差等级为 IT7。

上述计算和查表结果说明,虽然轴 1 比轴 2 的公差值大,但轴 1 比轴 2 的公差等级高,即轴 1 比轴 2 难加工。

2.2.3 基本偏差系列

基本偏差(fundamental deviation)是国家标准极限与配合制中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极限偏差。

1. 基本偏差及其代号

基本偏差是用来确定公差带相对于零线位置的,各种位置的公差带与基准件将形成不同的配合。因此,有一种基本偏差,就会有一种配合,即配合种类的多少取决于基本偏差的数量。兼顾满足各种松紧程度不同的配合需求和尽量减少配合种类,国家标准对孔、轴分别规定了 28 种基本偏差,分别用大、小写字母表示。26 个字母中去掉 5 个容易与其他参数相混淆的字母 I、L、O、Q、W(i、l、o、q、w),加上 7 个双写字母 CD、EF、FG、JS、ZA、ZB、ZC(ed、ef、fg、js、za、zb、zc),形成了 28 种基本偏差代号,反映公差带的 28 种位置,构成了基本偏差系列,见图 2-11。

孔的基本偏差中,A~G 的基本偏差为下偏差 EI,其值为正;H 的基本偏差 EI=0,是基准孔;J~ZC 的基本偏差为上偏差 ES,其值为负(J 和 K 除外);JS 的基本偏差 ES=+IT n /2 或 EI=-IT n /2,对于 7~11 级,当公差值为奇数时,ES=+(IT n -1)/2 或 EI=-(IT n -1)/2。

轴的基本偏差中,a~g 的基本偏差为上偏差 es,其值为负;h 的基本偏差 es=0,是基准轴;j~zc 的基本偏差为下偏差 ei,其值为正(j 和 k 除外);js 的基本偏差 es=+IT n /2 或 ei=-IT n /2,对于 IT7~IT11 级,当公差值为奇数时,es=+(IT n -1)/2 或 ei=-(IT n -1)/2。

2. 孔、轴的基本偏差数值

孔、轴的各种基本偏差数值是根据基轴制、基孔制各种配合的要求,经过生产实践和大量试验,对统计分析的结果进行整理,得到一系列公式,由这些公式计算出来的。表 2-3 是孔、轴各种基本偏差数值的计算公式。计算结果要按国家标准中尾数修约规则进行圆整。

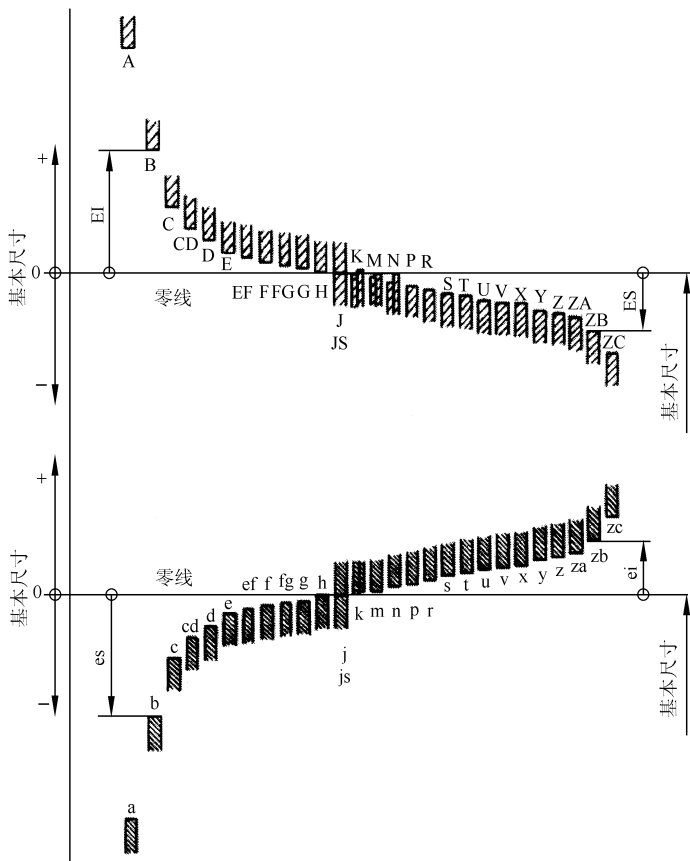


图 2-11 孔、轴基本偏差系列图 (摘自 GB/T 1800.2—1998)

表 2-3 轴和孔的基本偏差计算公式 (摘自 GB/T 1800.3—1998)

基本尺寸/mm		轴			公 式	孔			基本尺寸/mm	
大于	至	基本偏差	符号	极限偏差		极限偏差	符号	基本偏差	大于	至
1	120	a	-	es	$265 + 1.3D$	EI	+	A	1	120
120	500		-	es	$3.5D$	EI	+		120	500
1	160	b	-	es	$\approx 140 + 0.85D$	EI	+	B	1	160
160	500		-	es	$\approx 1.8D$	EI	+		160	500
0	40	c	-	es	$52D^{0.2}$	EI	+	C	0	40
40	500		-	es	$95 + 0.8D$	EI	+		40	500

基本尺寸/mm		轴			公 式	孔			基本尺寸/mm	
大于	至	基本 偏差	符号	极限 偏差		极限 偏差	符号	基本 偏差	大于	至
0	10	ed	-	es	C、e 和 D、d 值的几何平均值	EI	+	CD	0	10
0	3 150	d	-	es	$16D^{0.44}$	EI	+	D	0	3 150
0	3 150	e	-	es	$11D^{0.41}$	EI	+	E	0	3 150
0	10	ef	-	es	E、e 和 F、f 值的几何平均值	EI	+	EF	0	10
0	3 150	f	-	es	$5.5D^{0.41}$	EI	+	F	0	3 150
0	10	fg	-	es	F、f 和 G、g 值的几何平均值	EI	+	FG	0	10
0	3 150	g	-	es	$2.5D^{0.34}$	EI	+	G	0	3 150
0	3 150	h	无符号	es	偏差 = 0	EI	无符号	H	0	3 150
0	500	j			无公式			J	0	500
0	3 150	js	+ -	es ei	$0.5IT_n$	ES EI	+ -	JS	0	3 150
0	500	k	+	ei	$0.6\sqrt[3]{D}$	ES	-	K	0	500
500	3 150		无符号		偏差 = 0		无符号		500	3 150
0	500	m	+	ei	IT 7 - IT 6	ES	-	M	0	500
500	3 150				$0.024D + 12.6$				500	3 150
0	500	n	+	ei	$5D^{0.34}$	ES	-	N	0	500
500	3 150				$0.04D + 21$				500	3 150
0	500	p	+	ei	IT 7 + 0 至 5	ES	-	P	0	500
500	3 150				$0.072D + 37.8$				500	3 150
0	3 150	r	+	ei	P、p 和 S、s 值的几何平均值	ES	-	R	0	3 150
0	50	s	+	ei	IT 8 + 1 至 4	ES	-	S	0	50
50	3 150				$IT 7 + 0.4D$				50	3 150
24	3 150	t	+	ei	$IT 7 + 0.63D$	ES	-	T	24	3 150
0	3 150	u	+	ei	$IT 7 + D$	ES	-	U	0	3 150
14	500	v	+	ei	$IT 7 + 1.25D$	ES	-	V	14	500
0	500	x	+	ei	$IT 7 + 1.6D$	ES	-	X	0	500
18	500	y	+	ei	$IT 7 + 2D$	ES	-	Y	18	500
0	500	z	+	ei	$IT 7 + 2.5D$	ES	-	Z	0	500
0	500	za	+	ei	$IT 8 + 3.15D$	ES	-	ZA	0	500
0	500	zb	+	ei	$IT 9 + 4D$	ES	-	ZB	0	500
0	500	zc	+	ei	$IT 10 + 5D$	ES	-	ZC	0	500

注:① 公式中 D 是基本尺寸段的几何平均值, mm; 基本偏差的计算结果以 μm 计。

② 基本尺寸至 500mm 的基本偏差 k 的计算公式仅适用于标准公差等级 IT 4 至 IT 7, 对所有其他基本尺寸和所有其他 IT 等级的基本偏差 $k = 0$; 孔的基本偏差 K 的计算公式仅适用于标准公差等级小于或等于 IT 8, 对所有其他基本尺寸和所有其他 IT 等级的基本偏差 $K = 0$ 。

③ 孔的基本偏差 K 至 ZC 的计算见图 2-12。