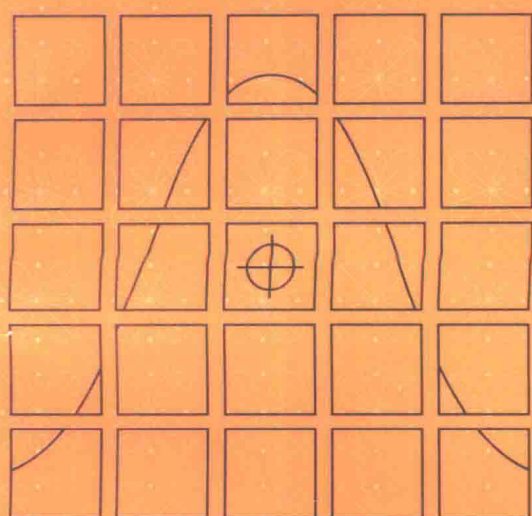


互换性与测量技术基础



温松明 主编

湖南大学出版社

互换性与测量技术基础

温 松 明 主 编

湖南大学出版社

1998年·长沙

内 容 简 介

本书系统而精炼地阐述了互换性与测量技术基础的基本知识,包括圆柱体公差与配合、滚动轴承的互换性、键和花键结合的互换性、螺纹结合的互换性,以及表面粗糙度、形状和位置公差、圆柱齿轮传动公差、光滑工件尺寸检验和测量技术的基本知识。

本书可供大专院校机械类、仪器仪表类和机电结合类各专业作为课程教材,也可供工程技术人员参考。

互换性与测量技术基础

Huhuanxing yu Celiang Jishu Jichu

温松明 主编

-
- 责任编辑 恩 成
 封面设计 赵江洪
 出版发行 湖南大学出版社
社址 长沙市岳麓山 邮码 410082
电话 0731-8821691 0731-8821315
 经 销 湖南省新华书店
 印 装 湖南大学印刷厂

-
- 开本 787×1092 16开 印张 8.75 字数 202千
 版次 1998年2月第2版 1998年2月第1次印刷
 印数 1-5 000册
 书号 ISBN 7-81053-020-8/TH·1
 定价 12.50元
-

(湖南大学版图书凡属印装差错,请向承印厂调换)

再版前言

为了满足科学技术的进步对产品质量不断提高的需要和便于技术引进与机械产品的进出口贸易,以及有利于国际间的技术交流,根据 ISO 十多年来对有关机械基础标准制订和修订情况,我国近年颁布了一些新制订或修订的机械基础国家标准。例如:GB/T 1801.1—1996《极限与配合 基础 第1部分:词汇》、GB/T 3177—1996《用普通计量器具检验》和 GB/T 1182—1996《通则、定义、符号和图样表示法》、GB/T 1184—1996《未注公差值》、GB/T 4249—1996《公差原则》、GB/T 16671—1996《最大实体要求,最小实体要求和可逆要求》等有关形位公差标准,等等。为此,本书对原版作了较大的修改和补充。

本书保持了原版少而精、重点突出的特点。

参与修订的编者是:湖南大学温松明(第1,3,5章),胡仲勋(第6,10章),周海萍(第7章);湘潭大学王安民(第2章);中南工业大学邓圭玲(第4章);湖南农业大学胡楚迎(第8章);长沙交通学院杨浪萍(第9章);湖南师范大学杨沿平(第11章)。

杨沿平主编,湖南大学出版社出版的《互换性与测量技术基础练习册》是与本教材配套使用的辅助教材。

编者

1997年10月

前 言

机械和电子工业是我国的支柱产业,机电工业的发展对我国国民经济的发展有着重要的意义。互换性原理在机电产品的设计与制造中得到了广泛应用。随着科学技术的发展,互换性与测量技术作为机电工业的技术基础,作用越来越明显。

《互换性与测量技术基础》是高等院校机械类、仪器仪表类和机电结合类专业必修的主干技术基础课程。此课程教材版本多,各有特色。本书是根据高等工业学校“互换性与测量技术基础”课程的基本要求和编者多年的教学经验,考虑到多数学校教学学时在30~50学时而编写的。在保证教材的全面性、系统性的前提下,取材力求少而精以突出重点,以便于通过教学使学生掌握本课程的最基本的内容,为后继课程的学习或从事机电产品设计、制造、维修和管理打下一定的基础。于是内容侧重介绍、阐述几何量公差的标准及其应用和测量技术的基本知识,尽量避免重复,并删去与实验有关(特别是测量器具的结构等)的内容。同时,本书未另编录习题,其原因是由杨沿平主编即将由机械工业出版社出版的《互换性与测量技术基础习题册》可与本教材配套使用,另外,由甘永立主编的由上海科学技术出版社出版的《几何量公差与检测习题试题集》也可作为本课程的辅助教材。同时,本书引用了近年颁布的国家标准:GB/T 1804—92《一般公差 线性尺寸的未注公差》和GB/T 131—93《机械制图 表面粗糙符号、代号及其注法》。

本书编者:湖南大学温松明(第1,3,7,9章),胡仲勋(第2章),周海萍(第4章);湘潭大学王安民(第5章);湖南农业大学胡楚迎(第6章);长沙铁道学院许晓娣(第8章),马岳麟(第10章);湖南师范大学杨沿平(第11章)。

限于编者的水平,恳请读者对书中的缺点和错误提出批评和指正。

编 者

1995年10月于岳麓山

目 次

| | |
|---------------------------|----|
| 1 绪论 | 1 |
| 1.1 互换性概述 | 1 |
| 1.2 标准化概述 | 1 |
| 1.3 测量技术概述 | 3 |
| 2 光滑圆柱体公差与配合 | 4 |
| 2.1 概述 | 4 |
| 2.2 基本术语及定义 | 4 |
| 2.3 公差带的标准化 | 7 |
| 2.4 公差与配合的选择 | 17 |
| 2.5 线性尺寸的未注公差 | 22 |
| 3 测量技术基础 | 24 |
| 3.1 测量技术的基本知识 | 24 |
| 3.2 测量误差及数据处理 | 27 |
| 4 表面粗糙度 | 36 |
| 4.1 概述 | 36 |
| 4.2 表面粗糙度的评定 | 36 |
| 4.3 表面粗糙度的选用 | 38 |
| 4.4 表面粗糙度的标注 | 41 |
| 4.5 表面粗糙度的测量 | 44 |
| 5 形状和位置公差 | 45 |
| 5.1 概述 | 45 |
| 5.2 形位公差 | 46 |
| 5.3 形位误差 | 55 |
| 5.4 公差原则 | 60 |
| 5.5 形位公差的选用 | 65 |
| 5.6 形位误差的检测原则 | 71 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 6 滚动轴承的互换性 | 73 |
| 6.1 概述..... | 73 |
| 6.2 滚动轴承的公差等级及其应用..... | 73 |
| 6.3 滚动轴承与轴颈和外壳孔的配合..... | 73 |
| 6.4 配合的选用..... | 74 |
| 6.5 标注..... | 78 |
| 7 光滑工件尺寸的检验 | 79 |
| 7.1 概述..... | 79 |
| 7.2 光滑极限量规..... | 80 |
| 7.3 用普通计量器具检验..... | 85 |
| 8 键和花键结合的互换性 | 89 |
| 8.1 平键联结的公差与配合..... | 89 |
| 8.2 矩形花键联结的公差与配合..... | 90 |
| 8.3 键和花键的检测..... | 93 |
| 9 螺纹结合的互换性 | 94 |
| 9.1 概述..... | 94 |
| 9.2 螺纹几何参数误差对互换性的影响..... | 95 |
| 9.3 普通螺纹的公差与配合..... | 96 |
| 9.4 梯形螺纹的公差与配合..... | 101 |
| 9.5 螺纹的检测..... | 105 |
| 10 渐开线圆柱齿轮传动公差 | 107 |
| 10.1 概述..... | 107 |
| 10.2 齿轮精度的评定指标..... | 107 |
| 10.3 影响齿侧间隙的评定指标..... | 113 |
| 10.4 齿轮副精度的评定指标..... | 113 |
| 10.5 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用..... | 115 |
| 11 尺寸链 | 126 |
| 11.1 基本概念..... | 126 |
| 11.2 极值法..... | 127 |
| 11.3 统计法..... | 131 |
| 参考文献 | 133 |

1 绪 论

1.1 互换性概述

1.1.1 互换性

机械制造中的互换性是指按规定的几何、物理及其他质量参数的公差,来分别制造机械的各个组成部分,使其在装配与更换时不需要辅助加工或修配,便能很好地满足使用和生产上要求的特性。当装配时不需附加选择或调整的互换称为完全互换。例如,许多标准零件、部件(螺钉、螺母、滚动轴承等)都具有完全互换性。而需附加选择或调整的互换称为不完全互换。滚动轴承的内圈、外圈、滚动体(如滚珠),它们之间的互换是采用不完全互换的典型例子。不完全互换的实质是将配合部位的有关尺寸的公差放大,使之有利于加工,加工后测出实际尺寸并按实际尺寸大小分成若干组,装配时分组装配(即同组内的零件之间可以互换)以达到提高装配精度的目的。

1.1.2 公差

矛盾是普遍的,差异就是矛盾。为使零件间具有互换性,不必要也不可能使零件质量参数的实际值完全相同,而只要将它们的差异控制在一定范围内,这范围就是公差。“公差”即是允许实际质量参数值的变动量。本课程仅讨论几何量公差。

1.1.3 互换性的作用

互换性是机械产品设计和制造的重要原则。按互换性原则组织生产的重要目标是获得产品功能与经济效益的综合最佳效应。互换性是实现生产分工、大协作的必要条件。它不仅使专业化生产成为可能,从而有效提高生产率、产品质量和降低生产成本,而且能大大地缩短设计、制造周期。在当今市场竞争日趋激烈、科学技术迅猛发展、产品更新周期越来越短的年代,互换性对于提高产品的竞争能力,从而获得更大的经济效益,尤其具有重要的作用。

1.2 标准化概述

1.2.1 标准化及其作用

(1)标准:标准是为在一定的范围内获得最佳秩序,对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。该文件经协商一致制订并经一个公认机构批准。

现代意义的标准的概念就是“规范化要求”,规范人们的生产、建设及商业活动等等。标准一旦出台,不仅为再次重复应用问题统一了认识和行为,并且产生了能动的作用于客观物质世界沿着最佳化方向发展的结果,促进生产力有序化发展。

(2) 标准化: 标准化是为在一定的范围内获得最佳秩序, 对实际的或潜在的问题制订共同的和重复使用的规则的活动。因此, 标准化是用以改造客观物质世界的社会性活动, 它包括制订、发布及实施标准的全过程。这种活动的意义在于改进产品、过程及服务的适用性, 防止贸易壁垒并促进技术合作。标准化在实现经济全球化、信息社会化方面有其深远的意义。

在机械制造中, 标准化是实现互换性生产、组织专业化生产的前提条件; 是提高产品质量、降低产品成本和提高产品竞争能力的重要保证; 是扩大国际贸易, 使产品打进国际市场的必要条件。同时, 标准化作为科学管理的手段, 可以获得显著的经济效益。总之, 随着经济建设和科学技术的发展, 国际贸易的扩大, 标准化的作用和重要性越来越显著, 越来越受到各个国家特别是工业发达国家的高度重视。

1.2.2 优先数和优先数系

优先数和优先数系标准是重要的基础标准。

由于工程上的技术参数值具有传播特性, 如造纸机械的规格和参数值会影响印刷机械、书刊、报纸、复印机、文件柜等等的规格和参数值, 因此, 对各种技术参数值协调、简化和统一是标准化的重要内容。优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的科学的数值制度。

国家标准(GB 321-80)规定的优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$, $\sqrt[10]{10}$, $\sqrt[20]{10}$, $\sqrt[40]{10}$, $\sqrt[80]{10}$, 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, R80 表示, 称为 R5 系列、R10 系列……R5, R10, R20 和 R40 四个系列是优先数系中的常用系列, 称为基本系列(表 1.1)。

优先数系中的任一个项值称为优先数。

表 1.1 优先数系的基本系列

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

采用等比数列作为优先数系可使相邻两个优先数的相对差相同, 且运算方便, 简单易记。在同一系列中, 优先数的积、商、整数幂仍为优先数。因此, 这种优先数系已成为国际上统一的数值分级制度。

1.3 测量技术概述

任何事物都有“量”和“质”的问题，而“质”通常都反映为一定的“量”。通过测量，人们对事物的存在和发展的规模、程度、速度、多少等等得到一个量的概念，即通常所谓的“数量”，以数字和测量单位的结合来表示。通过测量，对事物的品质、特性也可以得到用数量表征的优劣状态的认识，即通常所谓的“质量”。因此测量是认识事物特性的基本方法，是促进科学技术发展的技术基础。

在机械制造中，测量是判别产品合格与否、质量优劣的基本方法，因此测量是实现互换性生产的重要保证，又是进行质量管理、监督和控制在基本手段。

机械制造中的测量技术与制造技术密切相关。产品性能要求的提高，促进了制造技术和测量技术的提高。测量精度是测量技术的核心。制造技术的提高，为测量提供了性能更好、精度更高的仪器设备，而测量技术的提高又使制造技术的提高特别是加工精度的提高有了保证。这是它们之间的辩证关系。因此测量技术是发展制造技术的技术基础。随着制造技术的发展，其技术基础的作用越来越明显。1770年，用来加工第一台蒸汽机的Wilkinson卧式镗床的加工精度只有1mm，当时长度测量的主要工具是刻线尺。而千分尺的生产始于1867年。可是在20世纪，特别是第二次世界大战以后，由于喷气式飞机、导弹及其控制系统发展的需要，以及60年代以后，电子技术发展的需要，制造技术和测量技术发展异常迅速。图1.1示出了20世纪加工精度发展过程及其所需的机床设备和仪器。

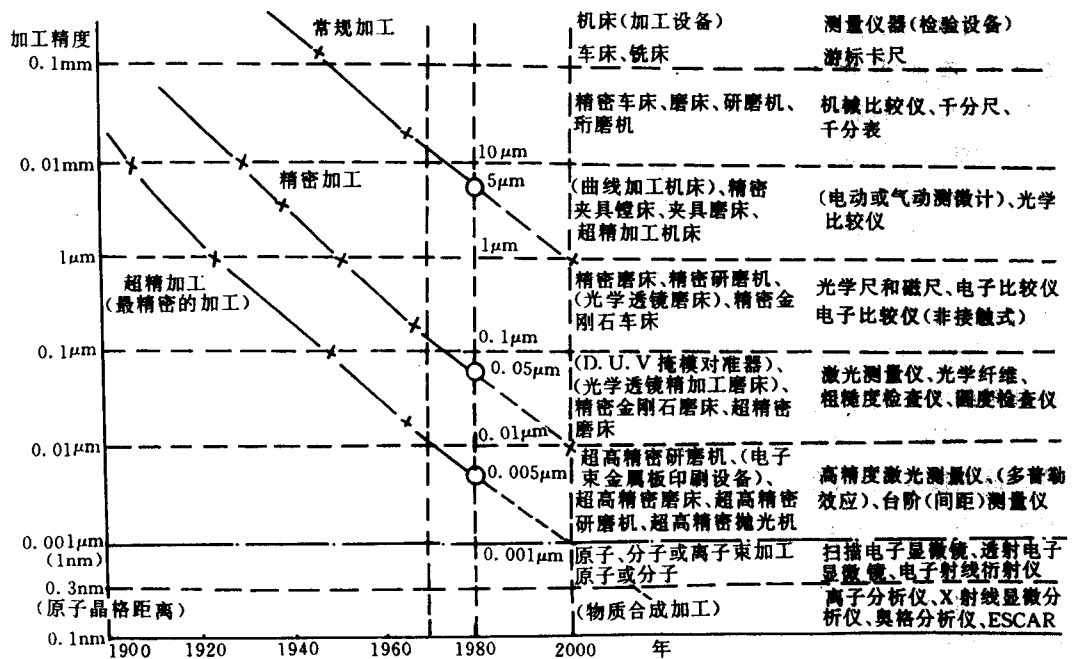


图 1.1 加工精度的发展及仪器设备

2 光滑圆柱体公差与配合

2.1 概述

机械工业是我国的支柱产业之一,光滑圆柱体结合是机械产品用得最多的一种结合。尺寸精度和配合要求是最基本的要求,它影响使用性能和寿命。因此圆柱公差与配合国家标准对我国国民经济的发展有着重要意义。我国发布的圆柱公差与配合标准有:GB/T 1800.1—1996《极限与配合 基础 第1部分:词汇》、GB 1801—79《尺寸至500 mm 孔、轴公差带与配合》、GB 1802—79《尺寸大于500至3 150 mm 常用孔、轴公差带》、GB 1803—79《尺寸至18 mm 孔、轴公差带》和 GB/T 1804—92《一般公差 线性尺寸的未注公差》。

2.2 基本术语及定义

GB/T 1800.1—1996 规定了有关尺寸、偏差、公差、配合的基本术语和定义。

2.2.1 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。广义地说,尺寸还可以包括以角度单位表示角度尺寸的数值。

(2)基本尺寸:基本尺寸是用来与上、下偏差计算出最大、最小极限尺寸的尺寸。孔和轴的基本尺寸分别以 D 和 d 表示。

基本尺寸可以在设计中根据强度、刚度、运动、工艺、结构、造型等不同要求来确定。它可以是一个整数或一个小数值。

(3)实际尺寸(actual size):测量所得的尺寸。由于存在测量误差,它并非尺寸的真值。孔和轴的实际尺寸分别以 D_a 和 d_a 表示。

(4)极限尺寸:是一个孔或轴允许的尺寸变化的两个极端值。孔或轴允许的最大尺寸称为最大极限尺寸,孔或轴允许的最小尺寸称为最小极限尺寸。孔的最大和最小极限尺寸分别以 D_{\max} 和 D_{\min} 表示;轴的最大和最小极限尺寸分别以 d_{\max} 和 d_{\min} 表示,如图 2.1a 所示。

(5)最大实体状态(MMC)与最大实体尺寸(MMS):孔或轴具有允许的材料量为最多时的状态称为最大实体状态(maximum material condition),在最大实体状态下的极限尺寸称为最大实体尺寸(maximum material size)。因此,最大实体尺寸是孔的最小极限尺寸和轴的最大极限尺寸的统称。孔和轴的最大实体尺寸分别以 D_M 和 d_M 表示。

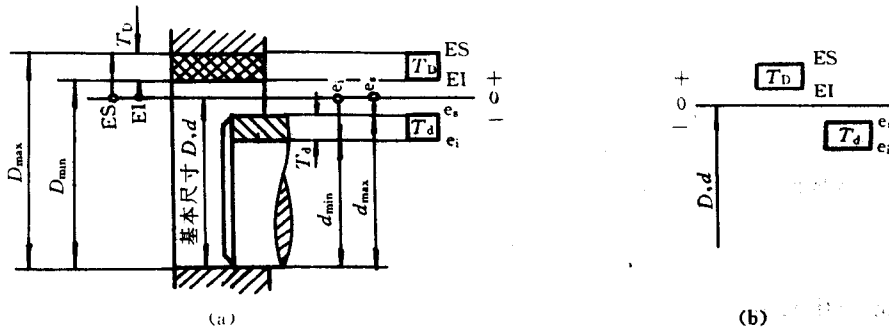


图 2.1 极限尺寸、公差与偏差

(6) 最小实体状态(LMC)与最小实体尺寸(LMS):孔或轴具有允许的材料量为最少时的状态称为最小实体状态(least material condition),在最小实体状态下的极限尺寸称为最小实体尺寸(least material size)。因此,最小实体尺寸是孔的最大极限尺寸和轴的最小极限尺寸的统称。孔和轴的最小实体尺寸分别以 D_L 和 d_L 表示。

2.2.2 有关“偏差”与“公差”的术语及定义

(1) 偏差:某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。因此偏差可以为正值、负值或零。偏差分有:

(a) 实际偏差:实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。以公式表示如下:

$$\text{孔的实际偏差} \quad E_a = D_a - D \quad (2.1)$$

$$\text{轴的实际偏差} \quad e_a = d_a - d \quad (2.2)$$

(b) 极限偏差:极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差。极限尺寸有两个,所以极限偏差也有两个,即上偏差和下偏差。以公式表示如下:

$$\text{孔的上偏差} \quad ES = D_{\max} - D \quad (2.3)$$

$$\text{孔的下偏差} \quad EI = D_{\min} - D \quad (2.4)$$

$$\text{轴的上偏差} \quad es = d_{\max} - d \quad (2.5)$$

$$\text{轴的下偏差} \quad ei = d_{\min} - d \quad (2.6)$$

(2) 尺寸公差,简称公差(tolerance):允许尺寸的变动量。公差等于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。以公式表示如下:

$$\text{孔公差} \quad T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI \quad (2.7)$$

$$\text{轴公差} \quad T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei \quad (2.8)$$

(3) 公差带图:由于公差与偏差的数值与尺寸数值相差很大,不使用同一比例表示,所以常用公差带图来表示,如图 2.1b 所示。它由零线和公差带组成。零线(零偏差线)是代表基本尺寸所在的线。当零线水平安置时,其上方为正偏差,下方为负偏差。偏差数值多以微米为单位进行标注。公差带是由代表上、下偏差的两条直线所限定的区域。因此,尺寸公差带有两个要素:一是公差带的大小,它取决于公差数值的大小;二是公差带的位置,即公差带相对于零线的位置。

2.2.3 有关“配合”的术语及定义

(1) 间隙与过盈:孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得之差为正值时,此差值称为间

隙,以 S 表示;为负值时,其差值称为过盈,以 δ 表示。因此,负间隙就是过盈,负过盈就是间隙。

当孔、轴的配合确定之后,便相应地确定了间隙或过盈允许变动的界限,即称之为极限间隙(最大间隙 S_{\max} 与最小间隙 S_{\min})或极限过盈(最大过盈 δ_{\max} 与最小过盈 δ_{\min})。它们与极限尺寸或极限偏差的关系以公式表示如下:

$$S_{\max}(-\delta_{\min}) = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2.9)$$

$$S_{\min}(-\delta_{\max}) = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2.10)$$

(2) 配合 (fit): 指基本尺寸相同的相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

相配合的孔和轴的基本尺寸必须相同。配合是指一批孔、轴的装配关系(即孔和轴公差带之间的关系)而不是指一对特定孔、轴的相配关系。因此反映配合性质差异的因素有两个:一是孔和轴公差带的相对位置,它反映配合的松紧程度;二是孔和轴公差带的大小,它反映配合松紧程度的一致性。

根据孔、轴公差带之间的关系不同,配合分有:

(a) 间隙配合: 保证具有间隙(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 2.2a 所示。

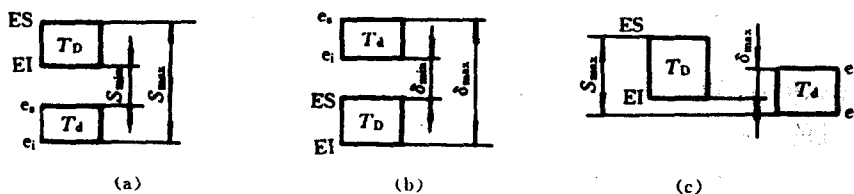


图 2.2 配合的种类

表示对间隙配合松紧程度要求的特征值是最大间隙 S_{\max} 和最小间隙 S_{\min} 。有时也用平均间隙 S_{av} , 它是最大间隙与最小间隙的平均值, 即

$$S_{av} = (S_{\max} + S_{\min}) / 2 \quad (2.11)$$

(b) 过盈配合: 保证具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合, 称为过盈配合。此时, 孔的公差带在轴公差带之下, 如图 2.2b 所示。

表示对过盈配合松紧程度要求的特征值是最大过盈 δ_{\max} 与最小过盈 δ_{\min} 。有时也用平均过盈 δ_{av} , 它是最大过盈与最小过盈的平均值, 即

$$\delta_{av} = (\delta_{\max} + \delta_{\min}) / 2 \quad (2.12)$$

(c) 过渡配合: 可能具有间隙也可能具有过盈的配合。此时, 孔的公差带与轴的公差带相互交叠, 如图 2.2c 所示。

表示对过渡配合松紧程度要求的特征值是最大间隙 S_{\max} 与最大过盈 δ_{\max} 。

配合公差是允许间隙或过盈的变动量, 以 T_f 表示。它是反映配合松紧程度一致性要求的特征值。用公式表示如下:

$$\text{间隙配合} \quad T_f = S_{\max} - S_{\min} = T_D + T_d \quad (2.13)$$

$$\text{过盈配合} \quad T_f = \delta_{\max} - \delta_{\min} = T_D + T_d \quad (2.14)$$

$$\text{过渡配合} \quad T_f = \delta_{\max} - \delta_{\min} = T_D + T_d \quad (2.15)$$

由上可知,无论哪一类配合,配合公差都等于孔、轴公差之和,即

$$T_f = T_D + T_d \quad (2.16)$$

等式左边是设计要求,从性能角度看, T_f 越小,则配合松紧程度的一致性越好;等式右边是工艺要求,从加工角度看, T_D, T_d 越大,则加工越容易。两者是矛盾的。几何精度的设计实质上就是经济、合理地处理好这一设计与工艺之间的矛盾。

(3) 配合公差带:与尺寸公差带相似,由代表极限间隙或极限过盈的两条直线所限定的区域,称为配合公差带。

配合公差带图就是以零间隙(或零过盈)为零线,用适当比例画出极限间隙或极限过盈,以表示间隙或过盈允许变动范围的图形。如图 2.3 所示。通常,零线水平安置,零线以上表示间隙,零线以下表示过盈。

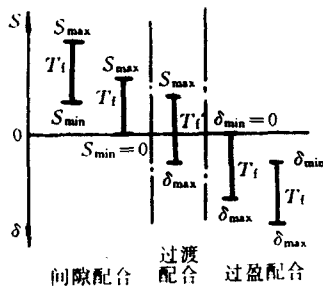


图 2.3 配合公差带图

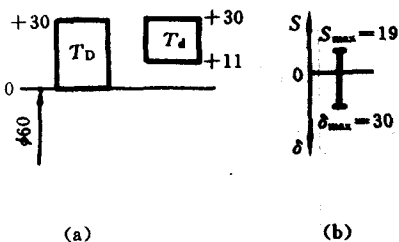


图 2.4 例 2.1 的尺寸公差带图和配合公差带图

配合公差带的大小取决于配合公差的大小,配合公差带相对于零线的位置取决于极限间隙或极限过盈的大小。前者表示配合的精度,后者表示配合的松紧。

【例 2.1】 若已知某配合的基本尺寸为 $\phi 60$ mm,配合公差 $T_f = 49 \mu\text{m}$,最大间隙 $S_{\max} = 19 \mu\text{m}$,孔的公差 $T_D = 30 \mu\text{m}$,轴的下偏差 $ei = +11 \mu\text{m}$,试画出该配合的尺寸公差带图和配合公差带图。

解 1. 求孔和轴的极限偏差,

由 $T_f = T_D + T_d$ 和 $T_D = 30 \mu\text{m}, T_f = 49 \mu\text{m}$ 得

$$T_d = T_f - T_D = 49 - 30 = 19(\mu\text{m}),$$

由 $T_d = es - ei$ 和 $ei = +11 \mu\text{m}$ 得

$$es = T_d + ei = 19 + 11 = +30(\mu\text{m}),$$

又由 $S_{\max} = ES - ei$ 和 $S_{\max} = 19 \mu\text{m}, T_D = 30 \mu\text{m}$ 得

$$ES = S_{\max} + ei = 19 + 11 = +30(\mu\text{m}),$$

$$EI = ES - T_D = (+30) - 30 = 0;$$

2. 求最大过盈

由 $ES > ei$, 且 $EI < es$ 可知,此配合为过渡配合。则由 $T_f = S_{\max} + \delta_{\max}$ 得

$$\delta_{\max} = T_f - S_{\max} = 49 - 19 = 30(\mu\text{m});$$

3. 画出尺寸公差带图和配合公差带图(见图 2.4)。

2.3 公差带的标准化

公差带的标准化是指公差带大小和位置的标准化,是公差与配合标准的核心内容。本

节仅以常用尺寸段(即尺寸至 500 mm)为例,介绍公差带的标准化。

经标准化的公差与偏差制度称为极限制。它是一系列标准的孔、轴公差数值和极限偏差数值。配合制则是同一极限制的孔和轴组成配合的一种制度。

2.3.1 标准公差系列

(1)标准公差:指本标准极限与配合制中所规定的任一公差,以 IT 表示。表 2.1 列出了基本尺寸至 500 mm 的标准公差数值。

(2)公差等级及其数目:公差等级是指确定尺寸精确程度的等级。为了满足零件对尺寸精度的不同要求,标准规定了 20 个等级,按公差增大的顺序分别为 IT01, IT0, IT1~IT18。IT 表示国际公差,阿拉伯数字表示公差等级代号。

表 2.1 标准公差数值(摘自 GB 1800-79)

| 基本尺寸 /mm | 公差等级 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | /μm | | | | | | | | | | /mm | | | | | | | | | |
| | IT01 | IT0 | IT1 | IT2 | IT3 | IT4 | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 | IT15 | IT16 | IT17 | IT18 |
| ≤3 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 2 | 3 | 4 | 6 | 10 | 14 | 25 | 40 | 60 | 0.10 | 0.14 | 0.25 | 0.40 | 0.60 | 1.0 | 1.4 |
| >3~6 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1.5 | 2.5 | 4 | 5 | 8 | 12 | 18 | 30 | 48 | 75 | 0.12 | 0.18 | 0.30 | 0.48 | 0.75 | 1.2 | 1.8 |
| >6~10 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1.5 | 2.5 | 4 | 6 | 9 | 15 | 22 | 36 | 58 | 90 | 0.15 | 0.22 | 0.36 | 0.58 | 0.90 | 1.5 | 2.2 |
| >10~18 | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 2 | 3 | 5 | 8 | 11 | 18 | 27 | 43 | 70 | 110 | 0.18 | 0.27 | 0.43 | 0.70 | 1.10 | 1.8 | 2.7 |
| >18~30 | 0.6 | 1 | 1.5 | 2.5 | 4 | 6 | 9 | 13 | 21 | 33 | 52 | 84 | 130 | 0.21 | 0.33 | 0.52 | 0.84 | 1.30 | 2.1 | 3.3 |
| >30~50 | 0.6 | 1 | 1.5 | 2.5 | 4 | 7 | 11 | 16 | 25 | 39 | 62 | 100 | 160 | 0.25 | 0.39 | 0.62 | 1.00 | 1.60 | 2.5 | 3.9 |
| >50~80 | 0.8 | 1.2 | 2 | 3 | 5 | 8 | 13 | 19 | 30 | 46 | 74 | 120 | 190 | 0.30 | 0.46 | 0.74 | 1.20 | 1.90 | 3.0 | 4.6 |
| >80~120 | 1 | 1.5 | 2.5 | 4 | 6 | 10 | 15 | 22 | 35 | 54 | 87 | 140 | 220 | 0.35 | 0.54 | 0.87 | 1.40 | 2.20 | 3.5 | 5.4 |
| >120~180 | 1.2 | 2 | 3.5 | 5 | 8 | 12 | 18 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 0.40 | 0.63 | 1.00 | 1.60 | 2.50 | 4.0 | 6.3 |
| >180~250 | 2 | 3 | 4.5 | 7 | 10 | 14 | 20 | 29 | 46 | 72 | 115 | 185 | 290 | 0.46 | 0.72 | 1.15 | 1.85 | 2.90 | 4.6 | 7.2 |
| >250~315 | 2.5 | 4 | 6 | 8 | 12 | 16 | 23 | 32 | 52 | 81 | 130 | 210 | 320 | 0.52 | 0.81 | 1.30 | 2.10 | 3.20 | 5.2 | 8.1 |
| >315~400 | 3 | 5 | 7 | 9 | 13 | 18 | 25 | 36 | 57 | 89 | 140 | 230 | 360 | 0.57 | 0.89 | 1.40 | 2.30 | 3.60 | 5.7 | 8.9 |
| >400~500 | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 | 27 | 40 | 63 | 97 | 155 | 250 | 400 | 0.63 | 0.97 | 1.55 | 2.50 | 4.00 | 6.3 | 9.7 |

注:基本尺寸小于 1 mm 时,无 IT14 至 IT18。

(3)标准公差数值的确定方法:标准公差数值是通过确定的公式进行计算并按尾数化整规则的规定化整得到的。使用时必须按表列的标准公差数值选用。尺寸至 500 mm, IT5~IT18 的标准公差计算公式为公差等级系数 a 与公差因子 i 的乘积(见表 2.2), IT01, IT0, IT1~IT4 的计算公式从略。公差因子,是计算标准公差的基本单位。它是通过科学实验和分析得到的,按下式计算:

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D \quad (\mu\text{m}) \quad (2.17)$$

式中 D 为基本尺寸的计算值(mm), 并按下式计算:

$$D = \sqrt{D_1 \cdot D_2} \quad (2.18)$$

式中 D_1 和 D_2 分别是同一尺寸段落(参见表 2.1)的首端尺寸和尾端尺寸。进行尺寸分段的目的是减少标准公差数值的数量以简化公差表格。同一公差等级、同一尺寸段落内的各基本尺寸的标准公差数值相同。

表 2.2 尺寸至 500 mm, IT5~IT18 的标准公差计算公式

| 公差等级 | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 | IT15 | IT16 | IT17 | IT18 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 计算公式 | 7i | 10i | 16i | 25i | 40i | 64i | 100i | 160i | 250i | 400i | 640i | 1000i | 1600i | 2500i |

由公差因子计算式看出, 公差因子 i 是幂函数和线性函数的叠加, 前者主要反映加工误差, 后者是用于补偿和直径成正比的误差, 主要是由于测量时温度不稳定和对标准温度(20°C)有偏差所引起的测量误差。

2.3.2 基本偏差系列

(1) 基本偏差: 指本标准极限与配合制中所规定的, 用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差, 一般为靠近零线的那个偏差, 如图 2.5 所示。

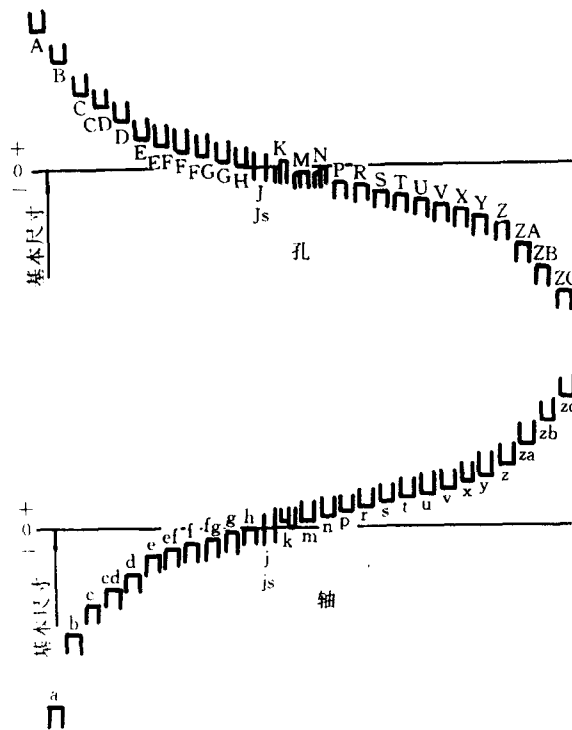


图 2.5 基本偏差系列

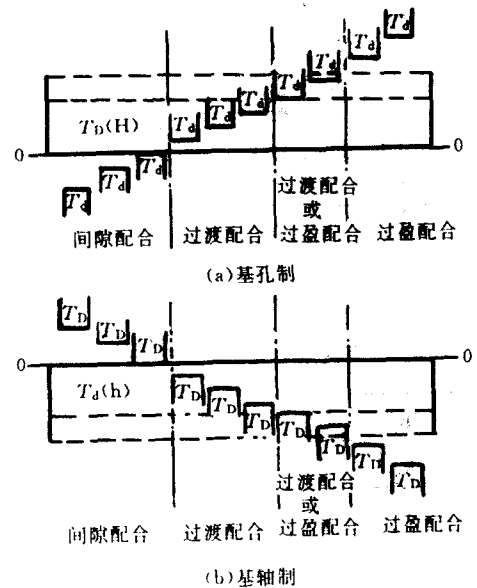


图 2.6 配合制

(2)基本偏差的数目:为了满足孔和轴配合松紧程度的不同要求,标准对孔和轴各规定了28种基本偏差,孔的基本偏差以A~ZC表示,轴的基本偏差以a~zc表示(图2.5)。由图2.5看出基本偏差有如下规律:

(a)a~h的基本偏差为上偏差es,j~zc的基本偏差为下偏差ei;A~H的基本偏差为下偏差EI,J~ZC的基本偏差为上偏差ES。

(b)由于js和Js所形成的公差带相对于零线对称分布,因此其基本偏差可以是上偏差(+IT/2)或下偏差(-IT/2)。

(3)基本偏差的确定方法:配合制是确定基本偏差系列的基础,同时又是为了以尽可能少的标准公差带形成最多种类的配合。为此国标规定了如下两种配合制。

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所形成各种配合的一种制度(图2.6a)。基孔制配合的孔称为基准孔,代号为H,并规定EI=0。

基轴制配合: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所形成各种配合的一种制度(图2.6b)。基轴制配合的轴称为基准轴,代号为h,并规定es=0。

(a)轴的基本偏差的确定方法:表2.3列出了基本尺寸至500mm的轴的基本偏差计

表 2.3 基本尺寸≤500 mm 轴的基本偏差计算公式 (单位:μm)

| 代 号 | 适用范围 | 基本偏差为上偏差 es | 代 号 | 适用范围 | 基本偏差为下偏差 ei |
|-----|-------------------------|---------------------|-------------------|------------------------|------------------------------|
| a | $D \leq 120 \text{ mm}$ | $-(265 + 1.3D)$ | j | IT5~IT8 | 经验数据 |
| | $D > 120 \text{ mm}$ | $-3.5D$ | k | $\leq \text{IT}3$ | 0 |
| b | $D \leq 160 \text{ mm}$ | $-(140 + 0.85D)$ | | IT4~IT7 | $+0.6 \sqrt[3]{D}$ |
| | $D > 160 \text{ mm}$ | $-1.8D$ | $\geq \text{IT}8$ | 0 | |
| c | $D \leq 40 \text{ mm}$ | $-52D^{0.2}$ | m | | $+(\text{IT}7 - \text{IT}6)$ |
| | $D > 40 \text{ mm}$ | $-(95 + 0.8D)$ | n | | $+5D^{0.34}$ |
| cd | | $-\sqrt{c \cdot d}$ | p | | $+\text{IT}7 + (0 \sim 5)$ |
| d | | $-16D^{0.44}$ | r | | $+\sqrt{p \cdot s}$ |
| e | | $-11D^{0.41}$ | s | $D \leq 50 \text{ mm}$ | $+\text{IT}8 + (1 \sim 4)$ |
| ef | | $-\sqrt{e \cdot f}$ | | $D > 50 \text{ mm}$ | $+\text{IT}7 + 0.4D$ |
| f | | $-5.5D^{0.41}$ | t | | $+\text{IT}7 + 0.63D$ |
| fg | | $-\sqrt{f \cdot g}$ | u | | $+\text{IT}7 + D$ |
| g | | $-2.5D^{0.34}$ | v | | $+\text{IT}7 + 1.25D$ |
| h | | 0 | x | | $+\text{IT}7 + 1.6D$ |
| | | | y | | $+\text{IT}7 + 2D$ |
| | | | z | | $+\text{IT}7 + 2.5D$ |
| | | | za | | $+\text{IT}8 + 3.15D$ |
| | | | zb | | $+\text{IT}9 + 4D$ |
| | | | zc | | $+\text{IT}10 + 5D$ |

js: $\pm \text{IT}/2$

注:①式中D为基本尺寸的分段计算值,单位为毫米;

②除j和js外,表中所列公式与公差等级无关。