

● 全国技工学校教材

● 劳动和社会保障部培训就业司认定



机械基础

山东鲁南化工技校 周仕安 主编

化学工业出版社



TH11-43
Z790:1

全国技工学校教材

劳动和社会保障部培训就业司认定

机 械 基 础

山东鲁南化工技校 周仕安 主编

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础/周仕安主编. —北京: 化学工业出版社,

1999

全国技工学校教材

劳动和社会保障部培训就业司认定

ISBN 7-5025-2523-8

I. 机… II. 周… III. 化工机械-技工学校-教材

IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 20999 号

全国技工学校教材
劳动和社会保障部培训就业司认定

机 械 基 础

山东鲁南化工技校

周仕安 主编

责任编辑: 孙世斌 高 钰

责任校对: 陶燕华

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 18½ 字数 439 千字

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2523-8/G · 690

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

根据原化学工业部 1997 年 12 月批准颁发的《化工检修钳工》工种教学计划和教学大纲要求,全国化工技校教学指导委员会化机专业组于 1997 年开始组织编写《化工检修钳工》工种的专业基础课和专业课教材。

本次教材编写以 1992 年国家颁布的《工人技术等级标准》为依据,将中级工应掌握的技术知识和应具备的专业能力有机结合,组成基础课和专业课教材共 10 种 13 本。

《机械基础》是化机专业及化工检修钳工工种的专业基础课教材之一。本教材共 10 章,分三大部分:一、公差与配合,包括极限与配合、形状和位置公差、表面粗糙度。二、工程力学,包括力学基础知识与物体的受力分析、构件的强度。三、传动,包括常用机构、齿轮传动、其他机械传动、轴系零件和液压传动。教材采用最新国家标准,分析问题详实细致,语言力求通俗、简炼,并图文并茂。每节后还配有习题,便于教学和学习时使用。

本书由山东鲁南化工技校周仕安主编,山西太原化工技校门佃明、上海吴泾化工总厂技校沈泽群参编。其中第一部分公差与配合由门佃明执笔,第二部分工程力学由沈泽群执笔,第三部分传动由周仕安执笔,全书由周仕安统稿。四川省化工技校雷克颐主审,河南省化工技校刘雄、四川省自贡市化工技校梁全成等参加审议。

由于我们的水平有限且时间仓促,故缺点错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

全国化工技校教学指导委员会化机专业组

1999 年 6 月

内 容 提 要

本书是根据原化学工业部 1997 年 12 月批准颁发的《化工检修钳工》工种教学计划和教学大纲编写的,是化工机械维修专业及化工检修钳工工种的专业基础课教材,其内容包括:公差与配合(极限与配合、形状和位置公差、表面粗糙度)、工程力学(力学基础知识与物体受力分析、构件的强度)和传动(常用机构、齿轮传动、其他机械传动、轴系零件和液压传动)三部分。

本书适用于技工学校使用,也可做为职业培训教材及大、中专院校学生和工程技术人员参考用书。

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 公差与配合

第一章 极限与配合	2
第一节 零件的互换性	2
第二节 基本术语和定义	3
第三节 极限与配合国家标准的基本规定	13
第四节 极限与配合标准的选用	26
第二章 形状和位置公差	30
第一节 概述	30
第二节 形位公差特征项目、符号及其标注	32
第三节 形位公差及公差带分析	37
第四节 形位公差和尺寸公差的关系	45
第三章 表面粗糙度	49
第一节 概述	49
第二节 表面粗糙度评定参数及其数值	50
第三节 表面粗糙度代号〔符〕号及其注法	54

第二篇 工程力学

第四章 力学基础知识与物体的受力分析	57
第一节 静力学的基本概念	57
第二节 平面汇交力系	66
第三节 力矩和力偶	73
第四节 平面一般力系	79
第五节 摩擦	87
第六节 刚体的定轴转动	94
第五章 构件的强度	99
第一节 材料力学的基本概念	99
第二节 拉伸和压缩	101
第三节 剪切和挤压	113
第四节 圆轴的扭转	119
第五节 弯曲	126
第六节 组合变形	138
第七节 应力集中、交变应力和压杆稳定	141

第三篇 传 动

概述.....	145
第六章 常用机构	147
第一节 平面连杆机构.....	147
第二节 凸轮机构.....	154
第三节 间歇运动机构.....	160
第七章 齿轮传动	164
第一节 齿轮传动的类型和应用特点.....	164
第二节 渐开线的形成和性质.....	165
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸.....	167
第四节 渐开线齿轮啮合特点.....	170
第五节 斜齿圆柱齿轮传动.....	173
第六节 其他齿轮传动.....	175
第七节 齿厚测量.....	177
第八节 齿轮轮齿的失效形式和齿轮精度.....	180
第九节 蜗杆传动.....	182
第八章 其他传动	187
第一节 摩擦轮传动.....	187
第二节 带传动.....	189
第三节 链传动.....	196
第四节 螺旋传动.....	199
第五节 轮系.....	203
第九章 轴系零件	210
第一节 键和销联接.....	210
第二节 轴.....	216
第三节 滑动轴承.....	220
第四节 滚动轴承.....	223
第五节 摩擦、磨损与润滑.....	230
第十章 液压传动	236
第一节 液压传动的基本概念.....	236
第二节 液压元件.....	244
第三节 液压基本回路和液压系统.....	266
附录一 热轧普通槽钢和热轧普通工字钢	282
附录二 常用液压与气动元件图形符号 (摘自 GB 786.1—93)	284
主要参考资料	289

绪 论

物质资料的生产是人类社会存在和发展的基础。人类在生产活动中创造和发明了各种机械,用以减轻人们的体力劳动,提高生产率,完成各种复杂的工作。现代化的工业生产中,广泛使用高效能的机器设备,大大提高了劳动生产率和产品质量,节约能源和材料,促进人类社会的进步和物质文明的提高。各种动力机械、制造机械、冶金、化工机械等,在工业、农业、国防和科研中发挥着重要作用,促进了我国国民经济各部门的飞速发展。

在化工生产中,化工机器和设备日益复杂。对于化工技术工人,实际工作中经常会遇到各种机器设备的使用、维护、修理等问题,我们必须对机器各组成部分的结构、特点、受力情况以及相互间的关系有所了解,掌握其规律,熟悉其正确的使用方法和维护技能。《机械基础》将在这些方面提供必要的理论知识,它是一门机械类工种的综合性技术基础课。

本课程介绍公差与配合、形位公差、表面粗糙度、物体的受力分析、构件的强度、机械传动和液压传动等基本知识。

公差与配合篇介绍尺寸公差、形位公差、表面粗糙度的基本概念,公差与配合国家标准在机械工业中的重要作用和意义,各项标准的基本规定和表格的使用,正确标注和识读图纸中公差与配合要求的基本方法。

工程力学篇以受力分析为主线,研究物体受力作用时的平衡问题及坚固程度。运用力学规律分析工程中的实际问题,对提高技术水平和应变能力具有重要作用。

传动部分研究机械传动和液压传动的组成、工作原理、运动规律和应用特点,介绍一些常用零部件的标准和应用,为正确使用、维护机械设备提供基础知识。

本课程的任务是为学好专业课打基础。通过学习,要熟悉公差与配合、形位公差国家标准,学会使用公差表格,能在图纸上正确标注和识读公差要求;能运用力学基本知识进行构件的受力分析和计算,正确进行强度校核、许可载荷和合理截面的确定;掌握机械传动和液压传动的基本知识、工作原理和应用特点;懂得分析机械工作原理的基本方法,为学习专业知识打好基础。

本课程是一门综合性课程,所涉及的内容较多,学习中应注意运用以前所学过的基本知识。例如,学习公差与配合时,应建立微观分析概念,熟知各种零件加工制造实例,对这部分的学习会有很大帮助;学习力学基础知识,需要扎实的数学基础和一定的计算能力;传动部分涉及了物理、制图、材料、力学等基本知识的运用,较强的识图能力,使分析零部件的结构特点和原理变得轻而易举;液压传动较为抽象,无形的参数变化会引起有形的运动变化,掌握原理、熟知结构和功能,认清符号是非常重要的。

学习本课程使学生能运用辩证唯物主义观点理解基本概念、定理和公式的意义,并通过必要数量的例题和习题的练习,掌握基本技能;能贯彻理论联系实际的原则,联系化工生产中的具体实例,善于发现问题、提出问题,善于运用已学知识分析问题,培养分析问题和解决问题的能力。使学生学会分析方法比学习具体知识更重要。随着机械工业的不断发展和技术的不断进步,技术更新周期加快,新的知识不断增加,学好本课程,打好基础,逐步提高解决实际问题的能力,对今后的工作和学习必将起到重要作用。

第一篇 公差与配合

第一章 极限与配合

第一节 零件的互换性

在机械和仪器制造业中，零、部件的互换性是指在同一规格的一批零件或部件中，任取其一，不需任何挑选或附加修配（如钳工修理）就能装在机器上，达到规定的功能要求。例如，人们经常使用的自行车、机械手表和汽车等机械上的许多零件，就是按互换性要求生产的。当这些机械零件损坏以后，修理人员用同样规格的零件换上，不需进行任何挑选和机械加工，即可使这些机械功能得以尽快恢复。

在现代生产中，互换性已成为一个普遍遵循的原则，它对机器制造、设计和使用都具有十分重要的意义。

在设计方面，互换性为新产品的不断开发和研制创造了有利的条件。由于产品中采用了具有互换性的零部件，尤其是采用了较多的标准件，使许多零部件不必重新设计，从而大大减少了设计的计算、绘图等的工作量，简化了设计程序，缩短了产品设计和试制的周期，这对促进产品品种的多样化和产品结构性能的不断改进都非常重要。

在制造方面，互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。由于零件具有互换性，故在加工时，同一部机器上的各个零件可以同时分别加工，用量大的零件还可以由专门车间或专业工厂单独生产，各专业厂由于产品单一，产品数量多，分工细，即可采用高效率的专用设备，从而使产品的产量和质量得到提高，成本也必然显著降低。而在装配时，由于不需辅助加工和修配，不仅能减轻装配工人的劳动强度，缩短装配周期，而且还可使装配工作按流水作业方式进行，以至实现自动装配，这就使装配生产率显著提高。

在使用方面，互换性是提高机器使用效能和使用寿命的可靠保证。由于零件具有互换性，可及时更换那些已经磨损或损坏了的零部件，进而保证了机器工作的连续性和持久性，从而提高机器的使用效率和寿命。而且在某些情况下，互换性所起的作用是很难用价值来衡量的。例如：发电厂排除发电设备的故障，保证继续供电；在战场上很快排除武器装备的故障，保证继续战斗。这时实现零部件的互换，显然是极为重要的。

零部件的互换性，按其互换程度，可分为完全互换和不完全互换。完全互换是以装配时无附加选择、修配为条件；不完全互换是在装配时允许有附加选择或调整，但也不允许修配。完全互换在机械制造中应用广泛。但是，在单件生产的机器中（特重型机器，特高精度的仪器）往往采用不完全互换。

机械和仪器制造业中的互换性通常包括几何参数和机械性能的互换，本篇讲述几何参数的互换。

所谓几何参数，一般包括零件的尺寸大小，几何形状（宏观、微观）和相互位置关系等。零件在加工过程中，由于受加工设备、工具以及工作环境和操作者技术水平等条件的限制，加工出的零件不可能与图样上给出的理想几何参数完全相同，零件实际几何参数和理论几何参

数之间的这种差别，称之为加工误差。按零件几何参数的不同形态，加工误差可分为尺寸误差、形状误差、位置误差和表面粗糙度四种类型。零件实际几何参数近似于理论几何参数的程度，则称为零件的几何精度。实质上，几何精度和加工误差是一个问题的两个方面，加工误差小则几何精度高，反之则几何精度低。

从互换性的角度来说，要求零件应具有较高的几何精度（即较小的加工误差），但零件精度的提高，必然会使加工成本成倍增加，因此必须将零件的加工误差限制在一个合理的范围内。我们把合格零件几何数允许误差的最大变动范围称为“公差”，只要零件的各项误差不超过标准所规定的公差，就可以保证其具有互换性。

习 题

- 1-1-1 什么是零部件的互换性？
- 1-1-2 为什么要求零部件具有互换性？
- 1-1-3 什么叫几何精度？
- 1-1-4 按互换程度的不同，互换性分为几种？

第二节 基本术语和定义

一、有关尺寸的术语和定义

1. 尺寸

以特定单位表示线性尺寸值的数字。尺寸表示长度的大小，由数字和长度单位两部分组成。长度是较广泛的概念，它包括直径、长度、宽度、深度、高度、厚度及中心距、圆角半径等，但不包括用角度单位表示的角度。机械工程图样上尺寸的特定单位为毫米（mm），并规定这个单位省略不写。

2. 基本尺寸（ L , l ）

通过它应用上、下偏差可算出极限尺寸的尺寸。基本尺寸是设计时，根据零件的使用要求，通过计算或结构方面的考虑，或根据试验和经验而确定的。基本尺寸用字母“ L 、 l ”表示，大写字母表示孔的有关代号，小写字母表示轴的有关代号（后同）。基本尺寸是计算极限尺寸和偏差的基准尺寸（起始尺寸），它只表示零件尺寸的基本大小，而并非零件的理想尺寸。

为了减少定值刀、量具等的品种和规格，基本尺寸应尽量采用标准尺寸（标准化了的尺寸）。它可以是一个整数或一个小数值，例如 32，15，8，7.5，0.5 等等。

3. 实际尺寸（ L_0 , l_0 ）

实际尺寸是通过测量获得的某一孔、轴的尺寸。由于存在测量误差，所以实际尺寸并非尺寸的真值。零件加工完后，其尺寸的真值是客观存在的，但又是无法获得的，因为任何一种测量手段都存在误差，只是大小不同而已，因此只能以测量的尺寸作为实际尺寸。这说明，在实际尺寸中包含有允许的测量误差的影响，至于允许的测量误差是多少和如何确定等问题，有关“检验”在国标中有具体规定。同时，由于形状误差的影响，零件同一表面不同部位的实际尺寸往往是不等的。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称为局部实际尺寸。

4. 极限尺寸

工件制造时不可能准确地做成所指定的尺寸，因而要规定极限尺寸。极限尺寸是一个孔或轴允许的尺寸的两个极端。实际尺寸应位于其中，也可达到极限尺寸。孔和轴允许的最大

尺寸称为最大极限尺寸,孔和轴允许的最小尺寸称为最小极限尺寸。如图 1-1 所示。孔的最大极限尺寸用 $L_{\max}$ 表示,孔的最小极限尺寸用 $L_{\min}$ 表示,轴的最大极限尺寸为 $l_{\max}$,轴的最小极限尺寸为 $l_{\min}$ 。

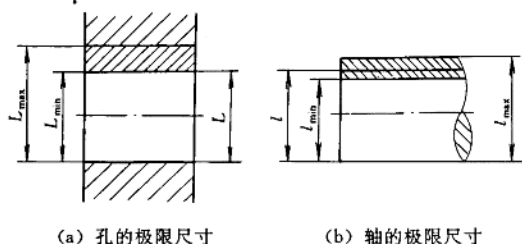


图 1-1 极限尺寸

极限尺寸以基本尺寸为基数来确定。就是说,极限尺寸是在设计确定基本尺寸的同时,为满足某种使用上的要求而选定的。例如,为了使轴能在孔中旋转,则应把孔的极限尺寸规定得大一些,而与之相配的轴的极限尺寸要规定得小一些。

二、尺寸公差与偏差的术语和定义

1. 偏差

偏差是某一尺寸(实际尺寸,极限尺寸等等)减其基本尺寸所得的代数差。最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差,最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差,上偏差和下偏差统称为极限偏差,实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差。合格零件的实际偏差应位于极限偏差范围之内。

由于极限尺寸和实际尺寸均可能大于、小于或等于基本尺寸,所以偏差可以为正值、负值或零值。偏差前面要标明“+”号或“-”号,“0”偏差不能省略不写。

在图样上或技术文件中标注极限偏差数值时,国标规定:上偏差标在基本尺寸右上角,下偏差标在右下角,如 $\phi 40_{-0.020}^{+0.027}$ 、 $\phi 15_{-0.020}^{+0.027}$ 、 $\phi 60_{-0.060}^{+0.030}$ 。当上、下偏差值相等而符号相反时,为简化标注,如基本尺寸为 $\phi 40$,上偏差为 $+0.008$,下偏差为 -0.008 ,可标为 $\phi(40 \pm 0.008)$ 。

国标规定:上偏差的代号,对孔用大写字母“ES”表示,对轴用小写字母“es”表示;下偏差的代号,对孔用大写字母“EI”表示,对轴用小写字母“ei”表示。

根据定义,极限偏差、极限尺寸和基本尺寸三者之间的关系可用下式表示:

$$\begin{aligned} ES &= L_{\max} - L \\ EI &= L_{\min} - L \\ es &= l_{\max} - l \\ ei &= l_{\min} - l \end{aligned} \quad (1-1)$$

应该注意,偏差为代数值,其值可正、可负、亦可为零,计算时,其符号要随偏差值一同代到计算式中运算。

例 1-1 有一孔的直径为 $\phi 30\text{mm}$,最大极限尺寸为 $\phi 30.028\text{mm}$,最小极限尺寸为 $\phi 30.007\text{mm}$ (图 1-2),求孔的上、下偏差。

解: 由式 (1-1) 可知孔的上、下偏差为

$$\begin{aligned} ES &= L_{\max} - L \\ &= 30.028 - 30 \\ &= +0.028 \text{ (mm)} \\ EI &= L_{\min} - L \\ &= 30.007 - 30 \\ &= +0.007 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

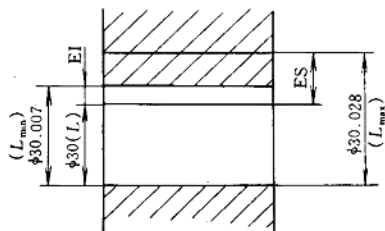


图 1-2 孔

例 1-2 有一根轴上标注的尺寸为 $\phi 30_{-0.033}^{-0.020}$, 求该轴的最大和最小极限尺寸。

解: 由式 (1-1) 变化得

$$l_{\max} = l + es \quad l_{\min} = l + ei$$

所以该轴的最大和最小极限尺寸为

$$l_{\max} = 30 + (-0.020) = 30 - 0.020 = 29.98 \text{ (mm)}$$

$$l_{\min} = 30 + (-0.033) = 30 - 0.033 = 29.967 \text{ (mm)}$$

2. 尺寸公差 (T)

尺寸公差简称公差, 等于最大极限尺寸减最小极限尺寸之差, 也等于上偏差减下偏差之差。它是允许尺寸的变动量。用公式表达为:

孔的公差: $T_h = L_{\max} - L_{\min}$ 或 $T_h = ES - EI$

轴的公差: $T_s = l_{\max} - l_{\min}$ 或 $T_s = es - ei$ (1-2)

公差是设计人员根据零件使用时的精度要求并考虑制造时的经济性, 对尺寸变动范围给定的允许值, 公差只是一个数值, 没有正负之分, 且也不能为零, 任何关于零公差和负公差的说法都是不正确的。

例 1-3 求例 1-1、例 1-2 中孔、轴的公差。

解: 孔的公差

$$T_h = L_{\max} - L_{\min} = 30.028 - 30.007 = 0.021 \text{ (mm)}$$

轴的公差

$$T_s = es - ei = -0.020 - (-0.033) = -0.020 + 0.033 = 0.013 \text{ (mm)}$$

3. 零线和公差带

图 1-3 是公差与配合的一个示意图, 它表明了两个相互结合的孔和轴的基本尺寸、极限尺寸、极限偏差与公差的相互关系。在实际应用中, 为简化起见, 常不画出孔和轴, 只画出其放大的有关部分来分析问题, 这就是极限与配合的图解, 简称公差带图解, 如图 1-4 就是图 1-3 的公差带图解。通过该图可以看出, 公差带图由零线和公差带两部分组成。

(1) 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。

(2) 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。它是由公差大小和其相对零线的位置 (如基本偏差) 来确定。图 1-4 中, 代表 ES 和 EI 的两条直线所限定的区域是孔公差带; 代表 es 和 ei 的两条直线所限定的区域是轴公差带。

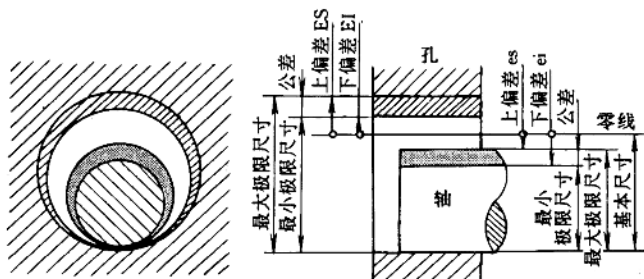


图 1-3 公差与配合示意图

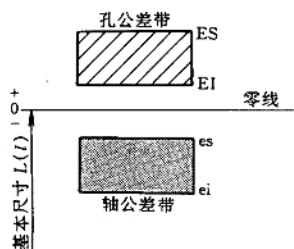


图 1-4 公差带图

在绘制公差带图时,先画一条水平线段代表零线,并在其左端标上符号“0”,在其左下方画上带单向箭头的基本尺寸线并标注基本尺寸,然后以适当的比例绘制出孔或(和)轴公差带并标注上、下偏差的数值或代号,同时应注意用不同的方式区分孔、轴公差带。

例 1-4 已知孔、轴基本尺寸为 $\phi 25\text{mm}$, $L_{\max} = \phi 25.021\text{mm}$, $L_{\min} = \phi 25.000\text{mm}$, $l_{\max} = \phi 24.980\text{mm}$, $l_{\min} = \phi 24.967\text{mm}$, 求孔与轴的极限偏差和公差,并注明孔与轴的极限偏差在图样上的标注,画出公差带图。

解: 孔的上偏差

$$ES = L_{\max} - L = 25.021 - 25 = +0.021 \text{ (mm)}$$

孔的下偏差

$$EI = L_{\min} - L = 25 - 25 = 0$$

轴的上偏差

$$es = l_{\max} - l = 24.980 - 25 = -0.020 \text{ (mm)}$$

轴的下偏差

$$ei = l_{\min} - l = 24.967 - 25 = -0.033 \text{ (mm)}$$

孔的公差

$$T_h = L_{\max} - L_{\min} = 25.021 - 25 = 0.021 \text{ (mm)}$$

或

$$T_h = ES - EI = +0.021 - 0 = 0.021 \text{ (mm)}$$

轴的公差

$$T_s = l_{\max} - l_{\min} = 24.980 - 24.967 = 0.013 \text{ (mm)}$$

或

$$T_s = es - ei = -0.020 - (-0.033) = 0.013 \text{ (mm)}$$

在图样上的标注,孔为 $\phi 25^{+0.021}_0$, 轴为 $\phi 25^{-0.020}_{-0.033}$ 。

尺寸公差带图如图 1-5 所示。

三、配合的术语和定义

1. 孔和轴

在极限与配合标准中,孔和轴这两个基本术语,有其特殊的含义,它涉及到极限与配合国标的应用范围。

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),如图 1-6 所示。

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),如图 1-6 所示。

由定义可知,孔和轴并不一定是圆柱形的,它们也可以是非圆柱形,如图 1-6 所示,方孔、

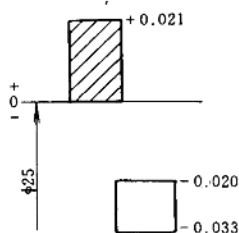


图 1-5 例 1-4 图的尺寸公差带图

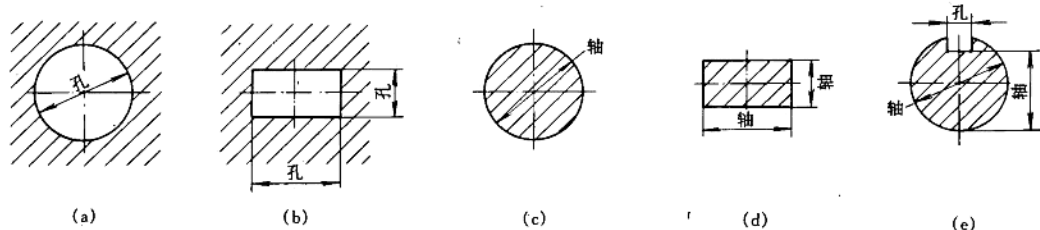


图 1-6 孔与轴

键槽的宽度,如图 1-6 (e),都可视为孔。方轴等,如图 1-6 (e) 都可视为轴。

对于孔和轴的含义可以从以下三方面来理解。

(1) 孔、轴是由单一尺寸确定的。由于尺寸公差是一种最基本的单一尺寸,所以,对如图 1-6 (a)、(c) 所示的圆孔、圆轴来说,因只需一个尺寸即可确定,所以只需给定一个相应的尺寸公差。而对于图 1-6 (b)、(d) 所示的方孔、方轴,当用尺寸公差限制时,必须将它分解为两个单一尺寸,即长度和宽度,并分别给定公差,即长度公差和宽度公差。所以,对于非圆形孔、轴必须是指由二平行平面或切面所形成的部分,即由单一尺寸确定的部分。

(2) 从装配角度看,零件装配后孔和轴的关系表现为包容和被包容的关系,孔是起包容作用的表面,轴是被包容的表面。

(3) 从加工过程来看,随着切削过程的进行,加工余量的被切除,孔的尺寸由小变大,而轴的尺寸由大变小。

2. 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称为配合。配合的实质是反映组成机器的零件之间的关系。由定义可知,要形成配合,必须具备两个基本条件:一是孔、轴的基本尺寸必须相同,二是孔和轴形成相互结合的关系,即一个零件的表面将另一个零件的表面包围住(即具有包容与被包容的关系)。同时,配合是通过孔和轴公差带相互位置来体现的,这是因为极限与配合所指的配合是指用同一图纸加工的一批孔和用同一图纸加工的一批轴的装配关系,而不是指一个具体的孔和一个具体的轴的相配关系。这一点对理解配合的确切含义尤为重要。

根据孔、轴公差带配合的情况,配合可分为三类,或者说孔公差带和轴公差带的组合有三种类型,即间隙配合、过盈配合和过渡配合如图 1-7 所示。

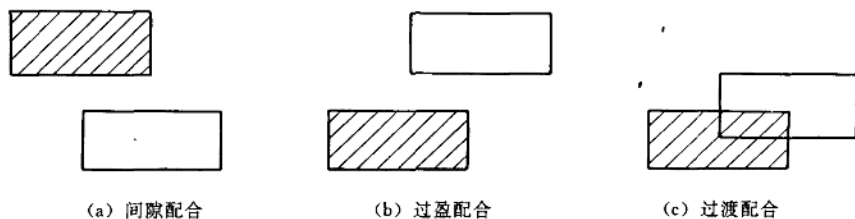


图 1-7 配合种类

3. 间隙与间隙配合

(1) 间隙(X) 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为正,此差值称为间隙。计算时间隙数值前面应标“+”号,如 $+0.03\text{mm}$ 。而谈及间隙量时,则应用绝对值,如间隙量为 0.03mm 。

在孔与轴的配合中,间隙的存在是孔与轴能相对运动的基本条件。

(2) 间隙配合 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 1-8 所示。

在间隙配合中,间隙的极限为最小间隙和最大间隙。

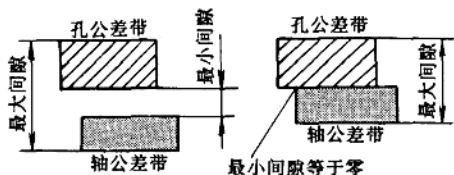


图 1-8 间隙配合

(3) 最小间隙 ($X_{\min}$) 和最大间隙 ($X_{\max}$) 在间隙配合中, 孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸之差称为最小间隙, 孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸之差为最大间隙。如图 1-8 所示。用公式表示为:

$$\begin{aligned} X_{\min} &= L_{\min} - l_{\max} \\ X_{\max} &= L_{\max} - l_{\min} \end{aligned} \quad (1-3)$$

又因 $L_{\min} = L + EI$ $L_{\max} = L + ES$ $l_{\min} = l + ei$ $l_{\max} = l + es$ $L = l$

可得:

$$\begin{aligned} X_{\min} &= EI - es \\ X_{\max} &= ES - ei \end{aligned} \quad (1-4)$$

这说明最小间隙在数值上也等于孔的下偏差减轴的上偏差, 最大间隙在数值上也等于孔的上偏差减轴的下偏差。

最小间隙是间隙配合中处于最紧状态时的间隙; 最大间隙是处于最松状态时的间隙。二者统称为极限间隙, 它们表示间隙配合中允许间隙变动的两个界限值。

工程中也常使用平均间隙 $\bar{X}$ 的概念:

$$\bar{X} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} \quad (1-5)$$

在间隙配合中, 对某一对具体的孔和轴而言, 出现最大间隙、最小间隙或平均间隙的可能性都有, 但对于相互配合的大批孔和轴来说, 其配合间隙绝大多数接近于平均间隙, 而出现极限间隙的机会则很少。

(4) 间隙配合计算举例。

例 1-5 试计算孔 $\phi 50^{+0.025}_{-0.036}$ 与轴 $\phi 50^{+0.020}_{-0.036}$ 配合的极限间隙和平均间隙。

解: 通过绘制其公差带图, 如图 1-9 所示, 可知此配合属间隙配合, 由公式 (1-4) 得

$$\begin{aligned} X_{\max} &= ES - ei \\ &= +0.025 - (-0.036) \\ &= +0.061 \text{ (mm)} \\ X_{\min} &= EI - es \\ &= 0 - (-0.020) \\ &= +0.020 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

由公式 (1-5) 得

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} \\ &= \frac{(+0.061) + (+0.020)}{2} \\ &= +0.0405 = +0.041 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

4. 过盈与过盈配合

(1) 过盈 (Y) 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为负, 此差值称为过盈。同间隙一样, 计算时过盈数值前应标注 “-” 号 (如 -0.03mm), 而谈及过盈量时, 则应用绝对值 (如过盈量为 0.03mm)。

由于过盈的存在, 孔和轴配合后, 可使零件之间传递载荷或固定位置。

(2) 过盈配合 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 1-10 所示。

在过盈配合中, 过盈的极限为最小过盈和最大过盈。

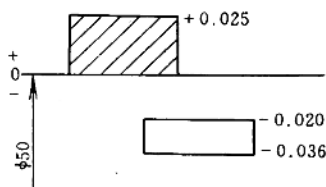


图 1-9 例 1-5 的公差带图

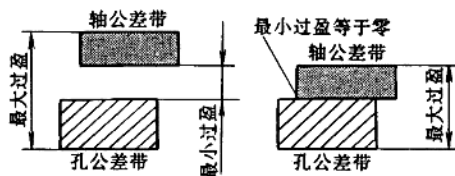


图 1-10 过盈配合

(3) 最小过盈 ($Y_{\min}$) 和最大过盈 ($Y_{\max}$) 在过盈配合中, 孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸之差称为最小过盈, 孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸之差为最大过盈。如图 1-10 所示, 用公式表示为:

$$\begin{aligned} Y_{\min} &= L_{\max} - l_{\min} \\ Y_{\max} &= L_{\min} - l_{\max} \end{aligned} \quad (1-6)$$

又因 $L_{\max} = L + ES$ $L_{\min} = L + EI$ $l_{\max} = l + es$ $l_{\min} = l + ei$ $L = l$

$$\begin{aligned} \text{从而可得:} \quad Y_{\min} &= ES - ei \\ Y_{\max} &= EI - es \end{aligned} \quad (1-7)$$

这说明最小过盈在数值上也等于孔的上偏差减轴的下偏差, 最大过盈在数值上也等于孔的下偏差减轴的上偏差。

最小过盈是过盈配合中处于最松状态时的过盈, 最大过盈是处于最紧状态时的过盈。二者统称为极限过盈, 它们表示过盈配合中允许过盈变动的两个极限值。而平均过盈 ($\bar{Y}$) 则为:

$$\bar{Y} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2} \quad (1-8)$$

同间隙配合一样, 对一大批具有互换性的孔、轴的过盈配合, 其过盈量绝大多数都接近于平均过盈, 而出现极限过盈的情况则很少。

(4) 过盈配合计算举例。

例 1-6 $\phi 50^{+0.025}_{-0.020}$ mm 的孔与 $\phi 50^{+0.059}_{-0.043}$ mm 的轴相配是过盈配合, 求极限过盈和平均过盈。

解: 绘制公差带图, 如图 1-11 所示, 由公式 (1-7) 得

$$\begin{aligned} Y_{\min} &= ES - ei = +0.025 - (+0.043) \\ &= -0.018 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{\max} &= EI - es = 0 - (+0.059) \\ &= -0.059 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

由公式 (1-8) 得

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2} \\ &= \frac{(-0.059) + (-0.018)}{2} \\ &= -0.0385 \approx -0.039 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

所以 $\phi 50^{+0.025}_{-0.020}$ mm 的孔和 $\phi 50^{+0.059}_{-0.043}$ mm 的轴相配合的最小过盈量为 0.018 mm, 最大过盈量为 0.059 mm, 平均过盈量为 0.039 mm。

5. 过渡配合

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相互交叠。如图 1-12 所示。

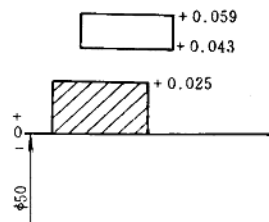


图 1-11 例 1-6 的公差带图

过渡配合时,在孔和轴的公差带范围内,当孔的尺寸大于轴的尺寸时,具有间隙;反之则具有过盈。当孔为最大极限尺寸而轴为最小极限尺寸时,将会出现最大间隙 $X_{\max}$

$$X_{\max} = L_{\max} - l_{\min} = ES - ei \quad (1-9)$$

当孔为最小极限尺寸而轴为最大极限尺寸时,则会出现最大过盈 $Y_{\max}$

$$Y_{\max} = l_{\min} - L_{\max} = EI - es \quad (1-10)$$

最大间隙是过渡配合最松的状态,最大过盈是配合最紧的状态,它们是过渡配合时允许间隙或过盈变动的两个界限值。

在生产中有时也用平均间隙 $\bar{X}$ 或平均过盈 $\bar{Y}$ 来表示,

$$\text{当 } |X_{\max}| \geq |Y_{\max}| \text{ 时, 有 } \bar{X} = \frac{X_{\max} + Y_{\max}}{2}$$

$$\text{当 } |X_{\max}| \leq |Y_{\max}| \text{ 时, 有 } \bar{Y} = \frac{X_{\max} + Y_{\max}}{2}$$

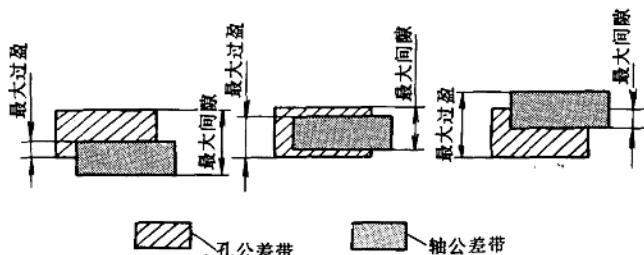


图 1-12 过渡配合

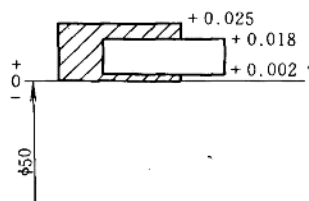


图 1-13 例 1-7 的公差带图

例 1-7 $\phi 50^{+0.025}_{+0.002}$ 的孔与 $\phi 50^{+0.018}_{+0.002}$ 的轴的相配是过渡配合,求最大间隙和最大过盈及平均间隙或过盈。

解: 绘制公差带图如图 1-13 所示,

$$\begin{aligned} X_{\max} &= ES - ei = +0.025 - (+0.002) \\ &= +0.023 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{\max} &= EI - es = 0 - (+0.018) \\ &= -0.018 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

因为 $|X_{\max}| > |Y_{\max}|$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \bar{X} &= \frac{X_{\max} + Y_{\max}}{2} \\ &= \frac{(+0.023) + (-0.018)}{2} \\ &= +0.0025 = +0.003 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

6. 配合公差 (T_f)

组成配合的孔、轴公差之和称为配合公差。配合公差是一个没有符号的绝对值。配合公差用公式表示为:

$$\begin{aligned} T_f &= T_h + T_s \\ &= ES - EI + es - ei = (ES - ei) - (EI - es) \end{aligned} \quad (1-11)$$