

工程材料与 与 机械制造基础

(下册)

主 编 周根然 副主编 石崇刚 王永青



航空工业出版社

工程材料与机械制造基础

(下 册)

主 编	周 根 然
副主编	石 崇 刚
	王 永 青

航空工业出版社

1997

内 容 提 要

本套教程分上、下两册,是在第一版的基础上,结合近年来的教学经验和最新发展,经修订再版的。其中,上册的内容包括金属材料的性能、金属材料的结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、金属材料、非金属材料、工程材料的选择、铸造(液态成形)、锻造(塑变成形)、焊接(连接成形)及毛坯的选择;下册的内容包括互换性原理、切削加工基础知识、切削加工、特种加工、机械加工工艺原理及机械制造现代化。

为使学生获得“材料、工艺、设计、质量控制及管理”的综合知识,在修订中力图将上述内容有机地结合起来,并力求体现综合、实用、系统、全新的特点。

为培养学生选择材料及工艺的初步能力,本书突出了常用工程材料的特性、加工方法的工艺特点及其经济性分析等内容,又适当增加了新材料、新工艺、新技术与新概念方面的内容。为满足设计工作的需求,还加强了零件设计结构工艺性的内容。

本书可作为高等工科院校(包括电大、函大、职工大学等)机械类与近机械类专业的教材,也可作为生产及科研部门有关科技人员的参考书或自学读物。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与机械制造基础(下册)/周根然主编.--北京:

航空工业出版社,1997.5

ISBN 7-80134-147-3

I. 工… II. 周… III. ①工程材料-高等学校-教材

②金属加工-工艺-高等学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 06493 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

北京环球印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

1997 年 5 月第 2 版

1997 年 5 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:13.75

字数:315 千字

印数:1-4000

定价:14.00 元

前 言

本书是根据国家教委课程指导小组制定的机械类专业《工程材料及机械制造基础》课程教学基本要求,结合工程技术与管理的发展,在总结近年来教学经验基础上,对现有教材进行全面修订后重新出版的。

本套教程分上、下两册。上册包括工程材料和热加工工艺两部分。内容有金属材料、非金属材料、金属热处理、材料选择以及铸造、锻压、焊接及毛坯选择等。下册包括互换性原理和切削加工两部分。内容有互换性原理、切削加工基础知识、切削加工、特种加工、机械加工工艺原理等。

本册的修订基本保持了原有内容与结构体系。改动的部分有:第十二章删去了形位误差及其评定;第十五章增加了磁性磨料研磨加工;第十六章增加了工艺过程方案的技术经济分析;原教材第十四章的数控加工、第十六章的成组技术置于新版的第十七章中,该章中同时新增了生产现代化的内容。其余章节的内容也作了文字等方面的调整工作。

参加本册编写工作的有石崇刚(第十二章)、王永青(第十三章、第十五章及 17.1)、周根然(第十四章及 17.3)和张卓(第十六章及 17.2)。本册仍由周根然担任主编,石崇刚、王永青担任副主编,在修订中还参阅了多方面的书刊资料。值此教材出版之际,谨向支持、帮助过本书出版的有关人士致谢。

由于编者水平有限和时间仓促,本书仍难免出现不足之处,敬请专家、学者和读者批评指正。

编 者

1997 年 5 月

目 录

第十二章 互换性原理

12.1 互换性与优先数	(1)
12.1.1 互换性概念.....	(1)
12.1.2 互换性与标准化.....	(1)
12.1.3 优先数与优先数系.....	(2)
12.2 公差与配合	(3)
12.2.1 公差与配合的基本概念.....	(3)
12.2.2 标准公差.....	(9)
12.2.3 基本偏差系列	(11)
12.2.4 公差带与配合的代号及标注	(16)
12.2.5 未注公差尺寸的极限偏差	(19)
12.2.6 公差与配合的选择	(20)
12.3 形状和位置公差	(27)
12.3.1 术语、定义.....	(27)
12.3.2 形位公差标注方法	(30)
12.3.3 形状公差及其应用	(35)
12.3.4 位置公差及其应用	(38)
12.3.5 公差原则	(44)
12.3.6 形状和位置公差值的选择	(47)
12.3.7 未注公差规定	(50)
12.4 表面粗糙度	(51)
12.4.1 表面粗糙度对零件使用性能的影响	(51)
12.4.2 表面粗糙度的评定参数及其数值	(52)
12.4.3 表面粗糙度的标注	(56)
12.4.4 表面粗糙度的选择	(57)

第十三章 切削加工基础知识

13.1 零件表面分类及其成形原理	(60)
13.1.1 零件表面分类	(60)
13.1.2 零件表面切削成形原理	(61)
13.2 切削运动与切削用量	(62)
13.2.1 加工中的工件表面	(62)
13.2.2 切削运动	(63)
13.2.3 切削用量	(63)

13.3 车刀几何结构及刀具材料	(65)
13.3.1 车刀几何结构	(65)
13.3.2 刀具材料	(67)
13.4 金属切削过程	(69)
13.4.1 切屑的形成及形态	(69)
13.4.2 积屑瘤	(70)
13.4.3 加工硬化	(71)
13.4.4 切削力	(71)
13.4.5 切削热	(72)
13.4.6 刀具的磨损和刀具寿命	(72)
13.5 常用工程材料的切削加工性	(74)
13.5.1 衡量工件材料切削加工性的指标	(74)
13.5.2 材料的相对加工性	(74)
13.5.3 常用金属材料的切削加工性	(74)

第十四章 切削加工

14.1 基本表面加工	(77)
14.1.1 基本表面加工方法	(77)
14.1.2 精加工方法	(77)
14.1.3 光整加工和精密加工方法	(85)
14.1.4 基本表面加工方案	(89)
14.2 型面加工	(95)
14.2.1 沟槽加工	(95)
14.2.2 型面加工	(96)
14.3 螺纹加工	(99)
14.3.1 车削螺纹	(99)
14.3.2 铣削螺纹	(100)
14.3.3 攻丝与套丝	(101)
14.3.4 滚压螺纹	(101)
14.3.5 磨螺纹	(102)
14.3.6 研磨螺纹	(103)
14.4 齿轮加工	(103)
14.4.1 铣 齿	(103)
14.4.2 滚 齿	(104)
14.4.3 插 齿	(105)
14.4.4 刨 齿	(106)
14.4.5 弧齿铣	(107)
14.4.6 剃 齿	(108)
14.4.7 磨 齿	(109)

14.4.8 珩 齿	(110)
14.4.9 研 齿	(111)
14.5 结构工艺性	(111)
14.5.1 零件的结构工艺性	(111)
14.5.2 装配的结构工艺性	(115)

第十五章 特种加工

15.1 电火花加工	(118)
15.1.1 原理、特点和应用	(118)
15.1.2 电火花线切割加工	(119)
15.2 电化学加工	(120)
15.2.1 电解加工	(121)
15.2.2 电解磨削	(121)
15.2.3 电 铸	(122)
15.3 高能束流加工	(122)
15.3.1 激光加工	(122)
15.3.2 电子束加工	(123)
15.3.3 离子束加工	(123)
15.4 超声加工	(124)
15.5 其他特种加工	(125)
15.5.1 等离子弧加工	(125)
15.5.2 磨料喷射加工	(126)
15.5.3 水射流切割	(126)
15.5.4 磁性磨料研磨加工	(127)
15.5.5 化学铣削	(127)
15.5.6 光化学加工	(128)

第十六章 机械加工工艺原理

16.1 工艺过程概述	(129)
16.1.1 生产过程和工艺过程	(129)
16.1.2 工艺过程的组成	(129)
16.1.3 生产类型	(129)
16.2 加工误差及表面完整性分析	(131)
16.2.1 加工误差分析	(131)
16.2.2 表面完整性分析	(132)
16.3 基准及基准间的关系	(134)
16.3.1 基准的基本概念	(134)
16.3.2 基准间的关系	(135)

16.4 定位与夹紧	(137)
16.4.1 定位原理.....	(137)
16.4.2 定基误差.....	(138)
16.4.3 定位基准的选择.....	(138)
16.4.4 夹 具.....	(139)
16.5 尺寸换算	(141)
16.5.1 尺寸链.....	(141)
16.5.2 解尺寸链的方法.....	(141)
16.5.3 尺寸换算应用实例.....	(142)
16.6 热处理工序在工艺过程中的安排	(144)
16.7 工艺过程方案的技术经济分析	(145)
16.7.1 概述.....	(145)
16.7.2 工艺过程方案的技术经济分析.....	(145)
16.8 工艺过程设计	(146)
16.8.1 工艺过程设计的意义.....	(146)
16.8.2 工艺过程设计的步骤与方法.....	(147)
16.8.3 工艺过程设计实例.....	(149)

第十七章 机械制造现代化

17.1 成组技术	(152)
17.1.1 基本原理.....	(152)
17.1.2 零件分类编码系统.....	(152)
17.1.3 成组技术的应用.....	(156)
17.2 数控加工	(157)
17.2.1 概 述.....	(157)
17.2.2 数控装置.....	(158)
17.2.3 数控编程.....	(158)
17.2.4 数控发展趋向.....	(158)
17.3 生产现代化	(161)
17.3.1 敏捷制造.....	(162)
17.3.2 并行工程.....	(163)
17.3.3 精益生产.....	(164)
习题与思考题	(167)
参考文献	(181)

第十二章 互换性原理

12.1 互换性与优先数

12.1.1 互换性概念

随着现代生产技术、管理技术的进步和生产力的发展,产品的复杂程度及其质量要求日益提高。为适应这种社会化大生产的需要,提高生产效率,降低成本,保证产品质量,必须按照专业化协作的原则进行生产。例如,我国一辆东风牌汽车,有上万个零件及部件组成,由百家工厂协作生产。又如美国阿波罗登月的十年规划中,加入的总人员有42万,他们分属二万家公司和120所大学。现代化生产的分工协作要求遵循互换性原则。

互换性是指零件的装配性质,对于相同规格的零件或部件,不经选择、修配或调整,任取其一,装配后就能满足预定的使用性能指标;产品经使用后,由于磨损等原因而需更换某一零部件时,只要将相同规格的零、备件换上即可,这种性质称作完全互换。

由于产品的某些部位的特殊要求,分组装配、选配或修配也是保证产品使用性能的重要手段,这是完全互换的必要补充,但在现代化生产中,其数量是受到严格限制的。

如仅满足装配要求,称作几何要素的互换性;对于零部件的物理、化学、电学、机械性能等当然亦有相应的要求,这是更为广泛的互换性,可称作广义互换性。

对标准的部件,互换性还可分为内互换与外互换:组成标准部件的零件的互换称内互换,标准部件与其它零、部件的互换称外互换。

互换原则是现代化生产所必须遵循的基本原则之一。

应用这一原则,使管理更简化、更科学,产品质量也更容易保证。

应用这一原则具有重大的经济意义,它缩小了生产规模,减少了不必要的厂房、设备、设施和相应的管理、技术、操作人员;它缩短了生产周期,它也可使已淘汰的产品中的某些零件、组件、部件得以复生。

互换程度的提高也为零部件的生产过程带来极大方便。由于简化了工、刀、夹、量、模具的准备和更换过程,因而提高了生产率,降低了成本。

具有高度互换性的产品是其具有较强市场竞争能力的必要条件之一,尤其是中、高档产品,其维修与零、组、部件的更换是否方便是购买者必须认真考虑的问题。

在某些特殊场合,互换性还有其独特的意义,例如在战场上是不能应用没有互换性的武器的。

互换性对于产品的设计、制造、管理、市场营销等过程无疑是十分重要的。

12.1.2 互换性与标准化

在机械制造中,标准化是广泛实现互换性生产的前提,而公差与配合等互换性标准都是重要的基础标准。

标准是指为了取得国民经济最佳效果,在总结实践经验和充分协商的基础上,有计划地对人类生活和生产活动中具有多样性和重复性的事物,在一定范围内做出统一规定,并经一定的标准程序,以特定的形式颁发的技术法规。标准是评定一切产品质量好坏的技术依据。

我国标准按行政体系分为三级：国家标准、部标准（专业标准）和企业标准。

国家标准是指对全国经济、技术发展有重大意义而必须在全国范围内统一的标准；部颁标准是指对一个部门或行业的经济、技术发展有重大意义，而必须在部门或行业范围内统一的标准；企业标准是指部门或行业总会以下的机构制定发布或不必发布的标准。

标准化是指制订标准、贯彻标准，以促进经济全面发展的整个过程。

标准化的目的是要通过制定标准来体现的，所以制定标准与修订标准是标准化的最基本的任务。

标准化的工作与作用是多方面的，其最基本的是产品、部件、零件的标准化，进而是将产品系列化，以满足各个不同层次、各个不同范围、各个不同目的的要求。再进一步发展将是寻求世界范围的通用化。标准化、系列化、通用化三者既相互制约，又相互促进，“三化”是世界各国工业产品的发展方向。

12.1.3 优先数与优先数系

工程上各种技术参数的协调、简化和统一是标准化的重要内容。

优先数与优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值制度。

优先数系是由一些十进制等比数列构成，其代号为 R_r （ R 是优先数系创始人 Renard 的第一个字母， r 是代表 5、10、20、40 和 80 等项数）。等比数列的公比为 $q_r = \sqrt[r]{10}$ ，其涵义是在同一个等比数列中，每隔 r 项的后项与前项的比值增大为 10 倍。

我国标准 GB321-80 采用的优先数系与国际标准 ISO3-1973 相同，用 $R5$ 、 $R10$ 、 $R20$ 、 $R40$ 和 $R80$ 表示。其中 $R5$ 、 $R10$ 、 $R20$ 和 $R40$ 是常用数列，作为基本系列， $R80$ 则作为补充系列。根据生产需要，还有派生数列和复合数列。表 12-1 是优先数的基本系列。优先数中每一个数值即为优先数。

表 12-1 优先数的基本系列

$R5$	$R10$	$R20$	$R40$	$R5$	$R10$	$R20$	$R40$	$R5$	$R10$	$R20$	$R40$
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	10.0	10.0	10.0	10.0
			2.12				4.75				

由表 12-1 可知，优先数系中公比数值小的某一系列包含公比数值大的数系中所有数

值。例如, $R20$ 系列的数值包含了 $R10$ 、 $R5$ 系列的数值。优先数疏密适中, 选用方便。

优先数可以以十进制延伸的方式向大、小两个方向任意扩展, 具有明显的规律性。同一系列优先数的商、积和整数幂运算结果仍为优先数。

按优先数的理论公比计算所得到的数值为优先数的理论值, 该值为无理数, 不便于实际应用; 取理论值的五位有效数字的近似值为计算值, 其相对误差小于 $1/20\,000$, 主要用于精度要求高的计算; 对计算值再作圆整, 保留三位有效数字的数值称为常用值, 其对计算值的最大相对误差为 $+1.26\% \sim -1.01\%$; 对部分常用值作进一步的圆整, 称为化整值。我国“标准尺寸”GB2822-81 就是依据优先数的常用值和部分化整值而制定的。

总之, 优先数系有许多优点, 诸如其相对差均匀, 能经济合理地满足数值分级的需要, 简单、易记、使用运算方便, 具有广泛的适应性, 是国际上统一的用于标准化的数系, 是对各种技术参数进行协调、简化、统一的基础。

12.2 公差与配合

零件的制造尺寸或部件的某些安装尺寸既不可能, 也没有必要制造得十分准确以满足完全互换的要求, 通常总是把尺寸控制在一定范围内以满足装配要求, 从而实现互换的目的。因此, 合理地规定零件的几何参数所允许的最大变动范围, 并把零件的加工误差控制在这个范围内, 正是科学、合理地运用了互换性概念。

国家标准总局根据国际标准化组织(ISO)的推荐, 结合我国具体情况, 制定和颁发了我国的《公差与配合》国家标准。它是实现机械零件(或部件)几何参数互换性的基础标准。在机器制造业的现代化生产中, 它不仅是产品设计、工艺设计和制定各项技术标准的基础, 而且直接影响到刀、夹、量具的品种、规格, 又是生产、检验等各个环节的重要依据。它不仅用于孔与轴的结合, 也用于其它结合中由单一尺寸确定的部分。例如, 键联结中的键与槽宽, 花键联结中的外径、内径及键与槽宽等。

公差与配合国家标准为 GB1800~1804-79, 自 1980 年 7 月 1 日起开始实施。《公差与配合》国家标准包括五个标准:

- (1)《总论 标准公差与基本偏差》(GB1800-79);
- (2)《尺寸小于 500mm 孔、轴公差带与配合》(GB1801-79);
- (3)《尺寸大于 500~3150mm 常用孔、轴公差带》(GB1802-79);
- (4)《尺寸至 18mm 孔、轴公差带》(GB1803-79);
- (5)《未注公差尺寸的极限偏差》(GB1804-79)。

本章主要介绍 GB1800-79, 以说明公差与配合国家标准的构成规律, 以及 GB1801-79 中对常用尺寸段(尺寸至 500mm)的孔、轴公差带与配合的选用原则和方法。简要介绍未注公差尺寸精度规定等问题。

《公差与配合》包括公差与配合和测量与检验两大部分。其中公差与配合的核心内容就是两大标准化: 公差值大小标准化和公差带位置标准化。分别称为标准公差系列和基本偏差系列。其中基本偏差系列由轴的基本偏差系列和孔的基本偏差系列组成。

测量与检验从略。

12.2.1 公差与配合的基本概念

为了正确掌握公差与配合标准及其应用, 统一设计、工艺、检验等人员对公差与配合标

准的理解,应明确规定有关公差与配合的基本概念、术语与定义。基本概念、术语和定义的统一也是国际标准化的重要内容之一。

公差与配合的基本概念如图 12-1 所示。有关术语和定义如下:

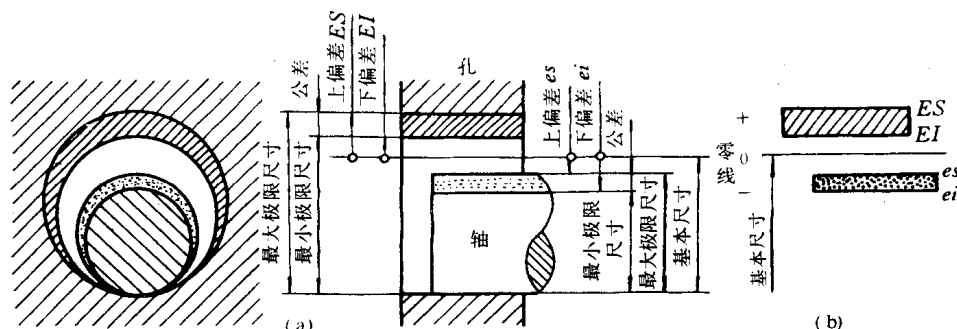


图 12-1 公差与配合示意图

1. 孔与轴的定义

在机器中最基本的装配关系是由一个零件的内表面包容另一个零件的外表面所形成的。规定圆柱形的内表面称为孔,也指其它内表面中由单一尺寸确定的部分。圆柱形外表面称为轴,也指其它外表面中由单一尺寸确定的部分。在花键与键槽的结合中,键槽相当于孔,键相当于轴。

从装配关系看,孔是包容表面,轴是被包容表面。从加工过程看,随着对加工余量的切除,孔的尺寸由小变大,轴的尺寸则由大变小。

2. 尺寸的术语与定义

尺寸是用特定单位表示长度的数字。从尺寸的定义可知,尺寸指的是长度的值,由数字和特定单位两部分组成,如 20mm。特定单位是“米”及其相应的换算单位。机械工程应用规定以毫米(mm)为单位。1983 年国际计量大会定义:“米”是光在真空中在 1/299 792 458 秒时间间隔内所行进的路线的长度。

基本尺寸 设计给定的尺寸称为基本尺寸。它是根据强度、刚度或结构需要计算,并按标准尺寸(GB2822-81)选取的。它并不是实际加工中所要求得到的尺寸。孔、轴的基本尺寸分别以 D 、 d 表示。基本尺寸的标准化可减少定值刀具、量具、夹具等的规格数量。

实际尺寸 通过测量所得的尺寸称为实际尺寸。孔、轴的实际尺寸分别以 D_0 、 d_0 表示。由于存在器具、方法、人员和环境等因素所造成的测量误差,所以实际尺寸不一定是被测尺寸客观存在的真值。

在生产实际中,应该以在具有多大测量误差的条件下测量所得的结果,作为被测尺寸的实际尺寸,才符合经济合理的原则,将由相应的标准根据被测尺寸要求的高低作出适当的规定。

局部实际尺寸 把测量器具与被测要素实现两点接触的测量方法称为两点法。两点法测量所得的尺寸,称为局部实际尺寸。

作用尺寸 在结合面的全长上,与实际孔内接的最大理想轴的尺寸,称为孔的作用尺寸,如图 12-2(a)示。孔的作用尺寸以 D_m 表示。

在结合面的全长上,与实际轴外接的最小理想孔的尺寸,称为轴的作用尺寸,如图 12-2(b)示。轴的作用尺寸以 d_m 表示。

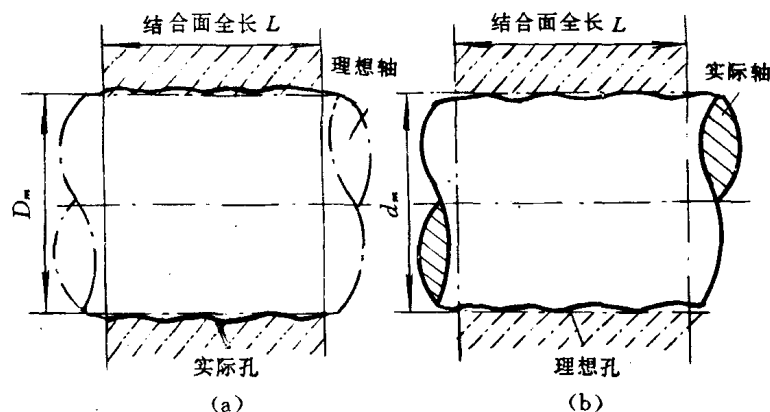


图 12-2 作用尺寸示意图

作用尺寸是根据孔、轴的实际形状定义的理想参数。所以,即使是相同规格的同批零件的同一基本尺寸,其作用尺寸一般是不相同的,但某一实际孔或轴的作用尺寸却是唯一的。

极限尺寸 允许尺寸变化的两个界限值称为极限尺寸。其中较大的界限值称最大极限尺寸,孔、轴的最大极限尺寸分别以 $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$ 表示;较小的界限值称为最小极限尺寸,孔、轴的最小极限尺寸分别以 $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$ 表示。

最大实体尺寸和最小实体尺寸: 孔、轴具有允许的材料量为最多时的状态,称为最大实体状态(MMC);孔、轴具有允许的材料量为最少量的状态,称为最小实体状态(LMC)。

孔、轴处于最大实体状态时的尺寸,称为最大实体尺寸(MMS),即孔的最小极限尺寸 $D_{\min}$ 或轴的最大极限尺寸 $d_{\max}$;孔、轴处于最小实体状态时的尺寸,称为最小实体尺寸(LMS),即孔的最大极限尺寸 $D_{\max}$ 或轴的最小极限尺寸 $d_{\min}$,见图 12-3。

3. 公差与偏差的术语与定义

尺寸偏差(简称偏差) 某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差,称为尺寸偏差,见图 12-1 (b)。“某一尺寸”包含极限尺寸和实际尺寸等意思,所以尺寸偏差有极限偏差与实际偏差之分。

实际偏差 实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差,称为实际偏差。以公式表示为

$$\text{孔的实际偏差 } E_0 = D_0 - D$$

$$\text{轴的实际偏差 } e_0 = d_0 - d$$

实际偏差具有与实际尺寸相同的性质。由于实际尺寸可能大于、小于或等于其基本尺寸,所以实际偏差可以为正值、负值,也可以为零。在利用实际偏差进行计算时,必须带有正、负号。

极限偏差 极限尺寸减其基本尺寸所得的代数值,称为极限偏差。其中最大极限尺寸减其基本尺寸的代数差称为上极限偏差,常称作上偏差。例如

$$\text{孔的上偏差 } ES = D_{\max} - D$$

$$\text{轴的上偏差 } es = d_{\max} - d$$

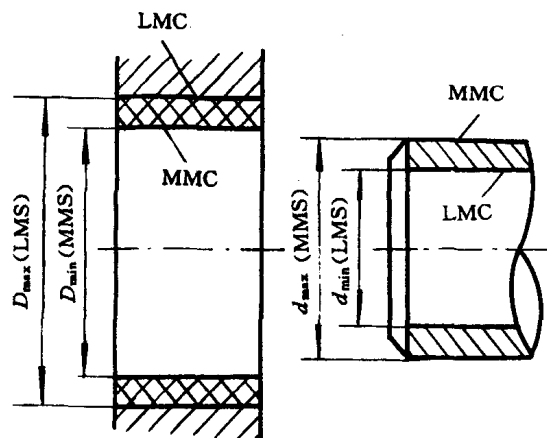


图 12-3 极限尺寸示意图

最小极限尺寸减其基本尺寸的代数差称为下极限偏差,常称作下偏差。例如

$$\text{孔的下偏差 } EI = D_{\min} - D$$

$$\text{轴的下偏差 } ei = d_{\min} - d$$

根据极限尺寸和基本尺寸的关系不同,极限偏差可以为正、负或零。

基本偏差 用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差,称为基本偏差。标准规定,一般以靠近零线的那个极限偏差作为基本偏差。以图 12-4 中孔的公差带为例,当孔的公差带在零线上方时,其下偏差(EI)为基本偏差;孔的公差带在零线下方时,上偏差(ES)为基本偏差;孔的公差带对称地分布在零线上时,上、下偏差均可作为基本偏差。

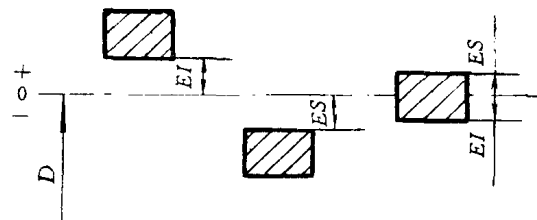


图 12-4 基本偏差示意图

尺寸公差(简称公差) 允许尺寸的变动量称为尺寸公差,简称公差,以 T 表示之。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差,也等于上偏差与下偏差之代数差,公式表示为

$$\text{孔的公差 } T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI$$

$$\text{轴的公差 } T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei$$

因为公差仅表示尺寸允许变动的范围,所以恒为正值。

公差带与公差带图 由代表两极限偏差或两极限尺寸的两平行直线所限定的区域,称为尺寸公差带,简称公差带。公差带的大小取决于公差的大小。公差带相对于零线的位置取决于基本偏差的大小,相同大小的公差带可以随基本偏差的不同而具有不同的位置,它们对零件的精度要求相同,而对尺寸大小的要求不同,只有既给定公差带大小,又给定一个基本偏差(上偏差或下偏差),以确定公差带的位置,才能完整地描述一个公差带,表达设计要求。公差带的大小和公差带相对零线的位置是构成公差带的两个参数。

图 12-1 中,由图(a)抽象出来的图(b)称为公差带图(公差与配合图解的简称),其方法是:取基本尺寸作为零线,以适当的比例画出用两极限偏差表示的公差带。通常,零线水平安置,规定零线以上为正偏差,零线以下为负偏差。极限偏差以微米(μm)为单位标注。

公差带图既表示了公差值的大小,也表示了公差带的位置,还可表达一对装配件间的配合关系。因而公差带图反映了很重要的基本概念,也是学习及理解有关内容的有力工具。

4. 配合的术语与定义

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。

根据孔、轴公差带之间的相互位置关系,配合性质分为间隙配合、过渡配合和过盈配合三大类,参见图 12-5、图 12-6。

间隙或过盈 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差,结果为正时是间隙,用 X 表示,规定间隙数值的前面必须标上“+”号;结果为负时是过盈,用 Y 表示,规定在过盈数值的前面必须标上“-”号。

间隙配合 具有间隙(包括最小间隙为零)的配合。公差带图中的特征是:孔的公差带完全位于轴的公差带的上方。

最小间隙 对于间隙配合,孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸所得的代数差,称为最小间隙,以 $X_{\min}$ 表示。最小间隙是间隙配合中处于最紧状态时的间隙。公式表示为

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

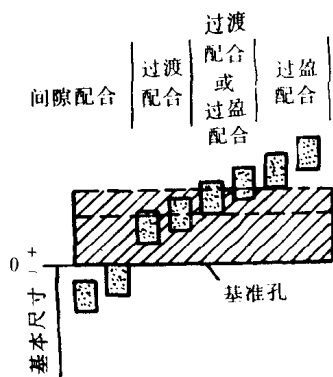


图 12-5 基孔制与配合性质

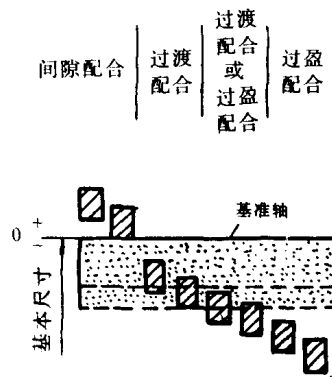


图 12-6 基轴制与配合性质

最大间隙 对于间隙配合,孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸所得的代数差,称为最大间隙,以 $X_{\max}$ 表示。最大间隙是间隙配合中处于最松状态时的间隙,公式表示为

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

最大间隙和最小间隙统称为极限间隙,它是表示间隙配合松紧程度的两个特征值。有时也用平均间隙 X_{av} 来表示间隙配合的松紧程度。

平均间隙 是最大间隙和最小间隙的平均值。即

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

间隙的存在是相配合的孔与轴之间允许发生相对运动的基本条件。

过盈配合 具有过盈(包括最小过盈为零)的配合。公差带图中的特征是:孔的公差带完全位于轴的公差带的下方。

最小过盈 对于过盈配合,孔的最小极限尺寸减去轴的最大极限尺寸所得的代数差,称为最小过盈,以 $Y_{\min}$ 表示。最小过盈是过盈配合中处于最松状态时的过盈。公式表示为

$$Y_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = ES - ei$$

最大过盈 对于过盈配合,孔的最大极限尺寸减去轴的最小极限尺寸所得的代数差,称为最大过盈,以 $Y_{\max}$ 表示,最大过盈是过盈配合中处于最紧状态时的过盈。公式表示为

$$Y_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = EI - es$$

最大过盈和最小过盈统称为极限过盈,是表示过盈配合松紧程度的两个特征值。有时也用平均过盈来表示过盈配合的松紧程度。

平均过盈 Y_{av} 是最大过盈和最小过盈的平均值。即

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

过渡配合 可能具有间隙或过盈的配合。在公差带图中的特征是:孔、轴公差带相互交叉。

过渡配合是相对于待装配件的公差带而言的,对于具体的一对装配结合件,则仅具有间隙或过盈二者状态之一。

最大间隙表示在过渡配合中最松的状态;最大过盈表示在过渡配合中最紧的状态。最大间隙和最大过盈是表示过渡配合松紧程度的两个特征值。

由于最大过盈等于负的最小间隙,最小过盈等于负的最大间隙。所以过渡配合的平均松紧程度可能表示为平均间隙,也可能表示为平均过盈。即

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

$$Y_{av} = \frac{X_{max} + Y_{max}}{2} = (-)$$

判别一批零件的配合性质类别,可用孔的极限尺寸(或极限偏差)减去轴的极限尺寸(或极限偏差),若结果均为“正”,则为间隙配合;若均为“负”,则为过盈配合;若有“正”有“负”,则为过渡配合(极限偏差需要带“+”、“-”号参加运算)。

对于具体的一对装配件,可用孔的实际尺寸(或实际偏差)减去轴的实际尺寸(或实际偏差),其结果为“正”是间隙,若为“负”,则为过盈。

上述概念可参阅图 12-7、12-8、12-9。

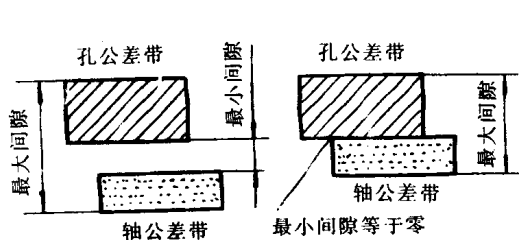


图 12-7 间隙配合的最大间隙与最小间隙

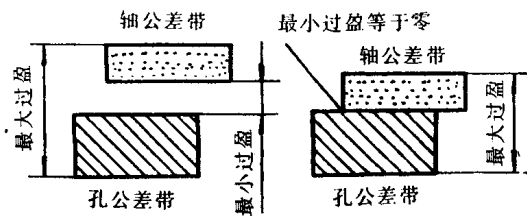


图 12-8 过盈配合的最大过盈与最小过盈

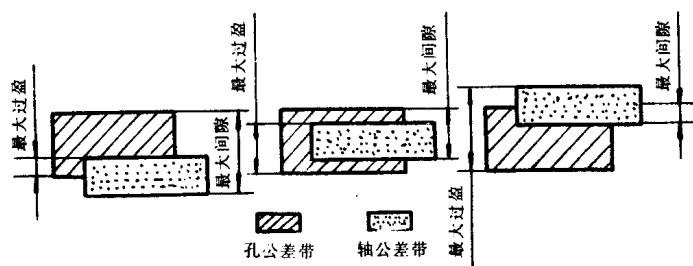


图 12-9 过渡配合的最大间隙与最大过盈

配合公差 允许间隙或过盈的变动量称为配合公差,以 T_f 表示。配合公差是反映装配精度的特征值。配合公差等于相配合孔、轴的公差之和。

$$\text{配合公差 } T_f = T_D + T_d$$

上式可换算成 $T_f = X_{max} - X_{min}$ (间隙配合)

$$T_f = Y_{max} - Y_{min} \text{ (过盈配合)}$$

$$T_f = X_{max} - Y_{max} \text{ (过渡配合)}$$

配合公差说明了装配精度的高低。配合公差是设计时体现机器配合部位使用性能的要求。而孔和轴的公差是制造时允许尺寸变动范围大小,也就是体现加工难易的程度。所以装配精度要求越高,孔和轴的加工越困难,其制造成本也越高。

4. 基准制的术语与定义

国标对配合规定了二种基准制,即基孔制和基轴制。此外,也允许选用非基准制配合。

基孔制 在基本尺寸相同,公差等级一定的前提下,将孔的公差带位置固定,且使下偏差在零线上,称为基准孔,代号为 H。改变轴的公差带位置而获得各种不同所需配合的方法,称为基孔制(参阅图 12-5)。

当轴的基本偏差为上偏差,且为负值或零值时,是间隙配合;当轴的基本偏差为下偏差,且为正值时,若孔与轴公差带相交叠为过渡配合;若轴的公差带完全位于基准孔的公差带之

上,为过盈配合。由于孔的另一极限偏差的位置将随公差带大小而变化,这样,在过渡配合和过盈配合之间,出现了配合类别不确定的“过渡配合或过盈配合”区。

基轴制 在基本尺寸相同,公差等级一定的前提下,将轴的公差带位置固定,且使其上偏差在零线上,称作基准轴,代号为h。改变孔的公差带位置而获得各种不同所需配合的方法,称为基轴制,参见图 12-6。与基孔制相似,随着基准轴与相配孔的公差带之间相互关系不同,可形成不同松紧程度的间隙配合、过渡配合和过盈配合。

非基准制配合 为了满足配合的特殊需要,可采用既不含基准孔,又不含基准轴的公差带组成的配合,称作非基准制配合(参见图 12-1)。

12.2.2 标准公差

标准公差是国家标准表列的,用以确定公差带大小的任一公差,如表 12-2 所示。

规定标准公差的目的是将公差带的大小加以标准化。由于公差带大小反映了零件尺寸的精确程度,所以也可以说是将尺寸的精确程度加以标准化。

标准公差由公差单位、尺寸分段和公差等级系数这三部分相互联系的内容组成。此外,也运用了几何级数、不均匀递增数列及尾数圆整规则等概念,作为制定标准公差的必要补充。

公差单位 为了便于评定零件“公差等级”的高低,合理规定公差数值,需要建立公差单位。公差单位是计算标准公差的基本单位。公差单位*i*是随基本尺寸变化而呈一定规律变化的,它是基本尺寸的函数,其普遍关系式可表达为

$$i=f(D)$$

式中 *i* 为公差单位 μm ; *D* 为基本尺寸 mm。

在长期实践和大量实验的基础上,对实际尺寸进行了统计分析。结果表明:加工误差具有随基本尺寸增加而呈立方抛物线分布的规律。根据这一客观规律,国家标准规定:当基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$,且公差等级在 IT5~IT18 范围内时,公差单位*i*的表达式为

$$i=0.45\sqrt[3]{D}+0.001D$$

等式右端前项是与加工误差相吻合的,后项则是考虑了测量时的温度变化、量具制造误差以及测量操作的正确程度对测量结果的影响。

尺寸分段 不同的基本尺寸便存在不同的公差单位,如不加以限制,势必大大增加公差单位的计算量,尺寸分段的目的在于减少其计算量并使之标准化。

国标规定:基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的尺寸分为 13 段,在公差表格中使用主段落,见表 12-2。其中 $\leq 180\text{mm}$ 的各段采用不均匀递增数列;大于 180mm 的各段,采用 R10 系列优先数进行分段。

对于同一尺寸段中的所有基本尺寸,其公差单位均相同。在计算公差单位时,基本尺寸取相应段落的首尾两尺寸的几何平均值。例如,基本尺寸 $D>30\sim 50\text{mm}$ 段的计算基本尺寸为

$$D_{\text{中}}=\sqrt{30\times 50}\approx 38.73$$

相应段落的公差单位为