




高等职业技术教育试用教材

公差配合 与技术测量

第2版

徐茂功 主编
桂定一



 机械工业出版社
China Machine Press

高等职业技术教育试用教材

公差配合与技术测量

第2版

主编 徐茂功 桂定一
参编 陈育荣 王平嶂
主审 吴东生



机械工业出版社

本书是根据中国机械工程学会职工高等教育学会推荐的教学计划和大纲组织编写的，是高等职业院校机电一体化专业试用教材。

本书共 12 章，由公差配合与技术测量两部分组成，内容包括极限与配合、形位公差、表面粗糙度、螺纹公差及滚珠丝杠副的公差、齿轮传动的公差及测量、尺寸链等。全书采用最新国家标准。

本书不仅可供高等职业院校机电专业师生使用，而且也可作为高等院校机械类各专业的教材，并可供厂矿工程技术人员、计量检验人员及生产工人参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

公差配合与技术测量/徐茂功, 桂定一主编, 一2版. -北京: 机械工业出版社, 2000.8

高等职业技术教育试用教材

ISBN 7-111-04710-9

I. 公… II. ①徐…②桂… III. ①公差-高等学校: 技术学校-教材
②配合-高等学校: 技术学校-教材③技术测量-高等学校: 技术学校-教材
IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 05527 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王世刚 版式设计: 张世琴 责任校对: 孙志筠

封面设计: 李雨桥 责任印制: 闫焱

北京第二外国语学院印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 1 月第 2 版·第 5 次印刷

787mm×1092mm 1/16·12 印张·285 千字

49001 - 55000 册

定价: 16.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

第 1 版前言

本书是根据中国机械工程学会职工高等教育学会机电一体化专业教学计划和大纲编写的，可作为职工高校机电专业和高等院校机械类各专业的教材。

本书在编写中贯彻少而精原则，兼顾设计、工艺类及应用、技艺型不同的教学要求。内容上，在注意讲清基本概念和原理的同时，突出实用性。所举实例较多，力求理论与实践相结合。

本书共分十二章，第一章、第十一章由济南机械职工大学徐茂功编写；第二章由兰州石油化工机器总厂职工大学张春宁编写；第三章、第七章由湖北汽车工业学院陈育荣编写；第四章由湖北汽车工业学院桂定一编写；第五、六、十章由济南汽车制造总厂职工大学杨福斗编写；第八章由南京梅山冶金公司职工大学谈理、济南机械职工大学徐茂功编写；第九章由苏州业余职工大学吴亦佳、济南机械职工大学徐茂功编写；第十二章由湖北汽车工业学院桂定一、济南机械职工大学徐茂功编写。

本书由徐茂功副教授任主编，桂定一、张春宁任副主编，山东工业大学俞惠芬教授、上海机床总公司职工大学薛彦成副教授任主审。

在编写过程中，曾得到济南机械职工大学、山东工业大学、上海机床总公司职工大学领导的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于水平有限，经验不多，时间仓促，敬请广大读者对本书提出宝贵意见。

编者

1995 年 2 月

第 2 版前言

本书是根据中国机械工程学会职工高等教育学会机电一体化专业教学计划和大纲编写的，可作为高等职业院校机电专业和普通高校相应专业的教材。

本书第 2 版是按照机电一体化专业教材修订工作会议精神进行修订的。在编写中贯彻少而精原则，兼顾设计、工艺类及应用、技艺型等教学要求。

随着标准化的深入，标准的产生和更新日益加快。本书第 1 版出版到现在已五年，被更替的相关标准已达十多个，这是促使我们重新编写全书的重要原因之一。

在本书编写中，注重在讲清基本概念和原理的同时突出实用性。所示图、例较多，力求理论与实践相结合；注意宣传新标准和推荐新技术资料；表达力求通俗、新颖，利于讲授和自学；采用最新国家标准。

本书共分十二章。徐茂功编写第一、二、八、十一章。王平嶂编写第九章。桂定一编写第四、五、十二章。陈育荣编写第三、六、七、十章。

本书由徐茂功、桂定一主编，山东轻工业学院吴东生教授主审。

在编写过程中，得到湖北汽车工业学院和济南机械职工大学领导和同事的大力支持，得到使用过本书的各院校师生的良好评价和赐教，在此表示衷心感谢。

敬请广大读者继续对本书提出宝贵意见。

编者

2000 年 3 月

目 录

第2版前言		
第1版前言		
第一章 绪论	1	
第一节 本课程的作用和任务	1	
第二节 互换性的概念及在机械 制造中的作用	1	
第三节 标准化与计量工作	2	
第四节 优先数和优先数系	3	
第五节 零件的加工误差与公差	4	
习题一	5	
第二章 极限与配合 基础 (GB/T1800)	6	
第一节 概述	6	
第二节 极限与配合的基本术语和 定义	6	
第三节 极限与配合的应用原则	25	
第四节 一般公差 线性尺寸的未注公差 (GB/T1804—92)	32	
习题二	36	
第三章 测量技术基础	37	
第一节 测量技术的基本概念	37	
第二节 计量器具和测量方法的分类	39	
第三节 新技术在长度计量中的应用	41	
第四节 测量误差和数据处理	45	
第五节 光滑工件尺寸的检验 (GB/T3177—1997)	51	
习题三	55	
第四章 形状和位置公差 (GB/T1182—1996)	56	
第一节 概述	56	
第二节 形状公差	58	
第三节 位置公差	61	
第四节 公差原则	66	
第五节 形位公差值的选择	71	
第六节 形位误差的检测原则	73	
习题四	75	
第五章 表面粗糙度及测量	78	
第一节 概述	78	
第二节 表面粗糙度的评定参数	78	
第三节 表面特征代号及标注	82	
第四节 表面粗糙度数值的选择	84	
第五节 表面粗糙度的测量	85	
习题五	86	
第六章 光滑极限量规	87	
第一节 概述	87	
第二节 量规尺寸公差带	87	
第三节 量规设计	88	
习题六	91	
第七章 圆锥的公差配合及测量	92	
第一节 基本术语及定义	92	
第二节 圆锥公差	96	
第三节 圆锥角和锥度的测量	100	
习题七	100	
第八章 轴承的公差与配合	102	
第一节 滚动轴承的公差等级及应用	102	
第二节 滚动轴承公差及其特点	104	
第三节 滚动轴承与轴及外壳孔的配合	105	
习题八	112	
第九章 螺纹的公差配合与测量	113	
第一节 概述	113	
第二节 普通螺纹各参数对互换性的 影响	114	
第三节 普通螺纹的公差与配合	119	
第四节 梯形螺纹丝杠、螺母技术 标准简介	122	
第五节 滚珠丝杠副	128	
第六节 螺纹测量简述	132	
习题九	134	
第十章 键与花键的公差配合及测量	135	
第一节 单键联接	135	
第二节 花键联接	138	
第三节 花键的标注及检测	141	
习题十	142	

第十一章 圆柱齿轮传动的公差及测量	143	习题十一	170
第一节 圆柱齿轮传动的要求	143	第十二章 尺寸链	171
第二节 齿轮加工误差简述	143	第一节 尺寸链的基本概念	171
第三节 圆柱齿轮的误差项目及检测	144	第二节 装配尺寸链的解算	175
第四节 渐开线圆柱齿轮精度标准 (GB10095—88)	158	第三节 工艺尺寸链	180
		习题十二	181
		参考文献	183

第一章 绪 论

第一节 本课程的作用和任务

本课程是机械类各专业的一门技术基础课，起着连接基础课及其它技术基础课和专业课的桥梁作用。同时也起着联系设计类课程和制造工艺类课程的纽带作用。

本课程的任务是：通过讲课、作业、实验等教学环节，了解互换性与标准化的重要性；熟悉极限与配合的基本概念；掌握某些极限配合标准的主要内容；初步掌握确定公差的原则和方法；一般了解技术测量的工具和方法；初步建立测量误差的概念及尺寸链的概念和它们的计算方法，为正确地理解和绘制设计图样及正确地表达设计思想打下基础。

机械设计过程，从总体设计到零件设计，是研究机构运动学问题，即完成对机器的功能、结构、形状、尺寸的设计过程。

为了保证实现从零、部件的加工到装配成机器，实现要求的功能，正常运转，还必须对零、部件和机器进行精度设计。本课程就是研究精度设计及机械加工误差的有关问题和几何量测量中的一些问题。所以，这也是一门实践性很强的课程。

学习本课程，是为了获得机械工程技术人员必备的公差配合与检测方面的基本知识、基本技能。随着后续课程的学习和实践知识的丰富，将会加深对本课程的内容的理解。

第二节 互换性的概念及在机械制造中的作用

一、互换性的意义

互换性是广泛用于机械制造、军品生产、机电一体化产品的设计和制造过程中的重要原则，并且能取得巨大的经济和社会效益。

在机械制造业中，零件的互换性是指在同一规格的一批零、部件中，可以不经选择、修配或调整，任取一件都能装配在机器上，并能达到规定的使用性能要求。零部件具有的这种性能称为互换性。能够保证产品具有互换性的生产，称为遵守互换性原则的生产。

汽车、摩托车、拖拉机行业就是运用互换性原理，形成规模经济，取得最佳技术经济效益的。

二、互换性的分类

互换性按其互换程度可分为完全互换与不完全互换。

完全互换是指一批零、部件装配前不经选择，装配时也不需修配和调整，装配后即可满足预定的使用要求。如螺栓、圆柱销等标准件的装配大都属此类情况。

当装配精度要求很高时，若采用完全互换将使零件的尺寸公差很小，加工困难，成本很高，甚至无法加工。可将其制造公差适当放大，以便于加工。在完工后，再用量仪将零件按实际尺寸大小分组，按组进行装配。如此，既保证装配精度与使用要求，又降低成本。此

时，仅是组内零件可以互换，组与组之间不可互换，因此，叫不完全互换。

有时用加工或调整某一特定零件的尺寸，以达到其装配精度要求，称为调整法，也属不完全互换。

不完全互换只限于部件或机构在制造厂内装配时使用。对厂外协作，则往往要求完全互换。究竟采用哪种方式为宜，要由产品精度、产品复杂程度、生产规模、设备条件及技术水平等一系列因素决定。

一般大量生产和成批生产，如汽车、拖拉机厂大都采用完全互换法生产。精度要求很高如轴承工业，常采用分组装配，即不完全互换法生产。而小批和单件生产，如矿山、冶金等重型机器业，则常采用修配法或调整法生产。

三、互换性生产在机械制造业中的作用

按互换性原则组织生产，是现代化生产的重要技术原则之一，其优点如下：

(1) 在加工制造过程中，可合理地进行生产分工和专业化协作。便于采用高效专用设备，尤其对计算机辅助制造（CAM）的产品，不但产量和质量高，且加工灵活性大，生产周期缩短，成本低，便于装配自动化。

武器的零、部件具有互换性，在战场上更显示出特殊意义。

(2) 在产品设计中，按互换性要求设计的产品，最便于采用三化（标准化、系列化、通用化）设计和计算机辅助设计（CAD）。

由上可知，互换性原则是用来发展现代化机械工业、提高生产率、保证产品质量、降低成本的重要技术经济原则，是工业发展的必然趋势。

第三节 标准化与计量工作

生产中要实现互换性原则，搞好标准化与计量工作是前提，是基础。

一、标准化的意义与分类

(1) 标准化的意义 它是组织现代化大生产的重要手段，是实行科学管理的基础，也是对产品的基本要求之一。通过对标准化的实施，以获得最佳的社会经济成效。标准化是个总称，它包括系列化和通用化的内容。

所谓标准，就是由一定的权威组织对经济、技术和科学中重复出现的共同的技术语言和技术事项等方面规定出来的统一技术准则。它是各方面共同遵守的技术依据。简言之即是技术法规。

标准化是指以制定标准和贯彻标准为主要内容的全部活动过程，标准化程度的高低是评定产品的指标之一，是我国很重要的一项技术政策。

标准一经颁布，即成为技术法规。标准是为标准化而规定的技术文件。

(2) 根据标准法规定，我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级。

按照标准的适用领域、有效作用范围和发布权力不同，一般分为：国际标准如 ISO、IEC 各为国际标准化组织和国际电工委员会制定的标准；区域标准（或国家集团标准）如 EN、ANST、DIN 各为欧共体、美国、德国制定的标准；国家标准为 GB；行业标准（或协会、学会标准）如 JB、YB 为原机械部和冶金部标准；地方标准和企业（或公司）标准。

二、计量工作

我国的计量工作，自解放后逐步统一计量制度，建立了各种计量器具的传递系统，颁布了计量条例和计量法，使机械制造业的基础工作沿着科学、先进的方向迅速发展，促进了企业计量管理和产品质量水平的不断提高。

目前计量测试仪器制造工业已有长足的进步和发展，其产品不仅满足国内工业发展的需要，而且还出口到国际市场。我国已能生产机电一体化测试仪器产品，如激光丝杠动态检查仪、三坐标测量机、齿轮整体误差检查仪等一批达到或接近世界先进水平的精密测量仪器。

第四节 优先数和优先数系

在产品设计中，为了满足不同要求，同一品种的某一参数，从大到小取不同值时（形成不同规格的产品系列），应该采用的一种科学的数值分级制度，或称人们由此总结了一种科学的统一的数值标准，即为优先数和优先数系。

如机床主轴转速的分级间距，钻头直径尺寸的分类均符合某一优先数系。

优先数系中的任一个数值均称为优先数。

优先数系是国际上统一的数值分级制度，是一种无量纲的分级数系，适用于各种量值的分级。在确定产品的参数或参数系列时，应最大限度地采用优先数和优先数系。

产品（或零件）的主要参数（或主要尺寸）按优先数形成系列，可使产品（或零件）走上系列化，便于分析参数间的关系，可减轻设计计算的工作量。

优先数系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 代表 5、10、20、40 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。如 R_5 ：设首项为 a ，其依次各项为 aq_5 、 $a(q_5)^2$ 、 $a(q_5)^3$ 、 $a(q_5)^4$ 、 $a(q_5)^5$ ，则 $a(q_5)^5/a = 10$ ，故 $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$ 。

相应各系列的公比为： $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ， $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$ ， $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$ ，及补充系列的公比 $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。优先数系的基本系列列于表 1-1。

表 1-1 优先数基本系列

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
1.00	1.00	1.00	1.00	2.50	2.50	2.24	2.24	6.30	6.30	6.30	5.00
			1.06			2.36	5.60				
			1.12			2.50	6.00				
			1.18			2.65	6.30				
1.25	1.25	1.25	1.25	3.15	3.15	2.80	2.80	8.00	8.00	8.00	6.30
			1.32			3.00	7.10				
			1.40			3.15	7.50				
			1.50			3.35	8.00				
1.60	1.60	1.60	1.60	4.00	4.00	3.55	3.55	10.0	10.0	10.0	8.00
			1.70			3.75	9.00				
			1.80			4.00	9.50				
			1.90			4.25	10.0				
2.00	2.00	2.00	2.00	4.50	4.50	4.50	4.50	10.0	10.0	10.0	10.0
			2.12			4.75	10.0				

优先数的主要优点是：相邻两项的相对差均匀，疏密适中，运算方便，简单易记。在同一系列中，优先数的积、商、整数乘方仍为优先数。因此，数系得到广泛应用。

第五节 零件的加工误差与公差

一、加工误差

工件加工时，任何一种加工方法都不可能把工件做得绝对准确，一批完工工件的尺寸之间存在着不同程度的差异。由于工艺系统误差和其它因素的影响，甚至说，即使在相同的加工条件下，一批完工工件的尺寸也是各不相同的。通常，我们称一批工件的尺寸变动为尺寸误差。制造技术水平的提高，可以减小尺寸误差，但永远不可能消除尺寸误差。

从满足产品使用性能要求来看，也不要求一批相同规格的零件尺寸完全相同，而是根据使用要求的高低，允许存在一定的误差。

加工误差可分为下列几种，见图 1-1。

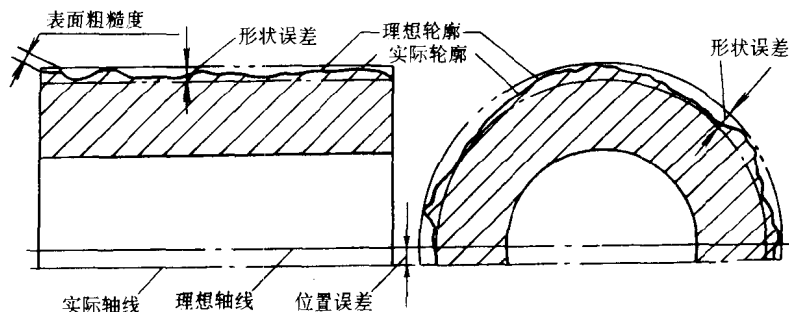


图 1-1 圆柱表面几何参数误差

1. 尺寸误差 指一批工件的尺寸变动，即加工后零件的实际尺寸和理想尺寸之差，如直径误差、孔距误差等。

2. 形状误差 指加工后零件的实际表面形状对于其理想形状的差异（或偏离程度），如圆度、直线度等。

3. 位置误差 指加工后零件的表面、轴线或对称平面之间的相互位置对于其理想位置的差异（或偏离程度），如同轴度、位置度等。

4. 表面粗糙度 指零件加工表面上具有的较小间距和峰谷所形成的微观几何形状误差。

二、公差

公差是指允许尺寸、几何形状和相互位置误差变动的范围，用以限制加工误差。它是由设计人员根据产品使用性能要求给定的。规定公差的原则是在保证满足产品使用性能的前提下，给出尽可能大的公差。它反映了一批工件对制造精度的要求、经济性要求，并体现加工难易程度。公差越小，加工越困难，生产成本就越高。所以，公差值不能为零，应是绝对值。

规定公差值 T 的大小顺序，应为：

$$T_{\text{尺寸}} > T_{\text{位置}} > T_{\text{形状}} > \text{表面粗糙度公差}$$

习 题 一

- 1-1 完全互换与不完全互换的区别是什么？各应用于何种场合？
- 1-2 什么是优先数和优先数系？主要优点是什么？R5，R40 系列各表示什么意义？
- 1-3 加工误差、公差、互换性三者的关系是什么？

第二章 极限与配合基础 (GB/T1800)

第一节 概 述

圆柱体的结合(配合),是孔、轴最基本和普遍的形式。为了经济地满足使用要求,保证互换性,应对尺寸公差与配合进行标准化。

尺寸公差与配合的标准化是一项综合性的技术基础工作,是推行科学管理、推动企业技术进步和提高企业管理水平的重要手段。它不仅可防止产品尺寸设计中的混乱,有利于工艺过程的经济性、产品的使用和维修,还利于刀具、量具的标准化。机械基础国家标准已成为机械工程中应用最广、涉及面最大的主要基础标准。

随着我国科技的进步,为了满足国际技术交流和贸易的需要,已逐步与国际标准(ISO)接轨。国家技术监督局不断发布实施新标准,同时代替旧标准。我国目前已初步建立并形成了与国际标准相适应的基础公差体系,可以基本满足经济发展和对外交流的需要。

第二节 极限与配合的基本术语和定义

为了正确理解和贯彻实施标准,必须深入地、正确地理解以下各术语的含义以及它们之间的区别和联系。

一、极限与配合 基础 (GB/T1800)

(一) 词汇 (GB/T1800)

国家标准中,规定了有关尺寸、偏差、公差、配合的各基本术语和定义。

1. 有关尺寸的术语

(1) 尺寸 尺寸是以特定单位表示线性尺寸值的数值。如直径、半径、宽度、深度、中心距等。在机械制造中,常用(mm、 μm)作为特定单位。

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) 孔和轴

孔:通常,指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(由两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)。

从装配关系讲,孔为包容面,在它之内无材料,且越加工越大;轴为被包容面,在它之外无材料,且越加工越小。

由此可见,孔、轴具有广泛的含义。不仅表示通常理解的概念,即圆柱形的内、外表面,而且也包括由二平行平面或切面形成的包容面和被包容面。图 2-1 所示的各表面,如 D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 各尺寸确定的各组平行平面或切面所形成的包容面都称为孔;如 d_1 、

d_2 、 d_3 、和 d_4 各尺寸确定的圆柱形外表面和各组平行平面或切平面所形成的被包容面都称为轴。因而孔、轴分别具有包容和被包容的功能。

如果二平行平面或切平面既不能形成包容面，也不能形成被包容面，则它们既不是孔，也不是轴，如图 2-1 中由 L_1 、 L_2 和 L_3 各尺寸确定的各组平行平面或切面。

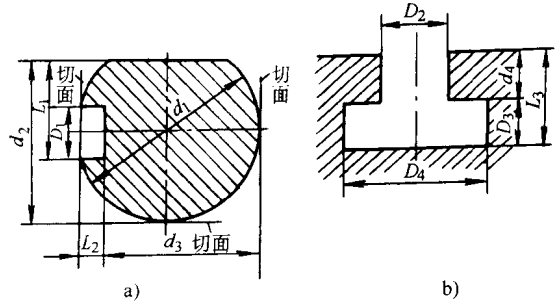


图 2-1 孔和轴

(3) 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，是设计给定的尺寸。孔的基本尺寸用 D 表示，轴的基本尺寸用 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。它只表示尺寸的基本大小，并不一定是在实际加工中要求得到的尺寸。

(4) 实际尺寸 实际尺寸是通过测量获得的某一孔、轴的尺寸。孔的实际尺寸以 D_a 表示，轴的实际尺寸以 d_a 表示。

由于存在测量器具、方式、人员和环境等因素造成的测量误差，所以实际尺寸并非尺寸的真值。通常把任何两相对点之间测得的尺寸，即一个孔或轴的任意横截面中的任一距离，称为“局部实际尺寸”（或“实际局部尺寸”）。除特别指明，所谓实际尺寸均指局部实际尺寸，即用两点法测得的尺寸。

同时，由于工件存在形状误差，使测量器具与被测工件接触状态不同，即使是同一表面，不同部位的实际尺寸也不相同。

(5) 极限尺寸 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。实际尺寸应位于其中，也可达到极限尺寸。

设计时规定极限尺寸是为了限制工件尺寸的变动，以满足使用要求。在一般情况下，完工零件的尺寸合格条件是任一局部实际尺寸均不得超出最大和最小极限尺寸，表示式如下：

$$\text{对于孔： } D_{\max} \geq D_a \geq D_{\min}$$

$$\text{对于轴： } d_{\max} \geq d_a \geq d_{\min}$$

(6) 最大实体状态和最大实体尺寸 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 (MMC)。在最大实体下的极限尺寸，称为最大实体尺寸 (MMS) 或最大实体极限 (MML)。它是孔的最小极限尺寸 (D_{\min}) 和轴的最大极限尺寸 (d_{\max}) 的统称。

(7) 最小实体状态和最小实体尺寸 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 (LMC)。在最小实体下的极限尺寸，称为最小实体尺寸 (LMS) 或最小实体极限 (LML)。它是孔的最大极限尺寸 (D_{\max}) 和轴的最小极限尺寸 (d_{\min}) 的统称。

最大实体状态是对装配最不利的状态，即可能获得最紧的装配结果的状态，也是工件强度最高的状态；最小实体状态是对装配最有利的状态，即可能获得最松的装配结果的状态，也是工件强度最低的状态。

总之，最大和最小实体状态都是设计规定的合格工件的材料量所具有的两个极限状态，见图 2-2。

2. 有关偏差与公差术语

(1) 偏差 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称为偏差。偏差可以为正、负或零。

偏差还分为实际偏差和极限偏差。

1) 实际偏差 即实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。以公式表示如下：

$$\text{孔的实际偏差 } E_a = D_a - D$$

$$\text{轴的实际偏差 } e_a = d_a - d$$

2) 极限偏差 即极限尺寸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。以公式表示如下：

$$\text{孔的上偏差 } ES = D_{\max} - D$$

$$\text{轴的上偏差 } es = d_{\max} - d$$

最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差。以公式表示如下：

$$\text{孔的下偏差 } EI = D_{\min} - D$$

$$\text{轴的下偏差 } ei = d_{\min} - d$$

完工零件尺寸合格性的条件也常用偏差的关系表示如下：

$$\text{对于孔 } ES \geq E_a \geq EI$$

$$\text{对于轴 } es \geq e_a \geq ei$$

极限偏差与极限尺寸的关系见图 2-3 所示。

(2) 尺寸公差（简称公差）指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。公差是允许尺寸的变动量。以公式表示如下：

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

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

公差系表示尺寸允许的变动范围，即某种区域大小的数量指标。是无符号的绝对值，不允许为零。尺寸公差是允许的误差。

尺寸误差是一批零件的实际尺寸相对于理想尺寸的偏离范围。当加工条件一定时，尺寸误差表征了加工方法的精度。尺寸公差则是设计规定的误差允许值，体现了设计者对加工方法精度的要求。通过对一批零件的测量，可以估算出其尺寸误差，而公差是设计给定的，不能通过测量得到。

总之，公差与极限偏差既有区别，又有联系，它们都是由设计规定的。公差表示对一批工件尺寸均匀程度的要求，即其尺寸允许的变动范围。它是工件尺寸精度指标，但不能根据公差来逐一判断工件的合格性。极限偏差表示工件尺寸允许变动的极限值，它原则上与工件尺寸无关，但上、下偏差（公差）又与精度有关。极限偏差是判断工件尺寸是否合格的依据。

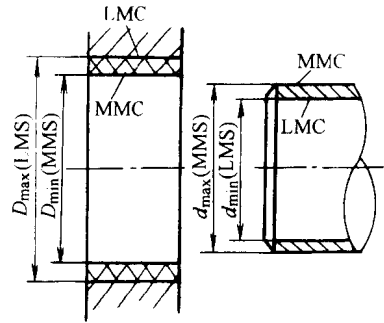


图 2-2 最大实体状态和最小实体状态

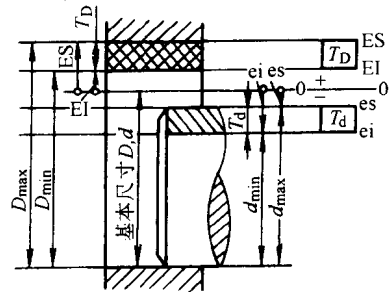


图 2-3 极限尺寸、公差与偏差

(3) 零线与公差带

由于公差与偏差的数值与尺寸数值相比，差别很大，不使用同一比例尺表示，故采用公差与配合图解（简称公差带图）来表示，如图 2-4 所示。

以基本尺寸为零线（零偏差线），用适当的比例画出两极限偏差，以表示尺寸允许变动的界限及范围，称为公差带图。

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（见图 2-4）。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。

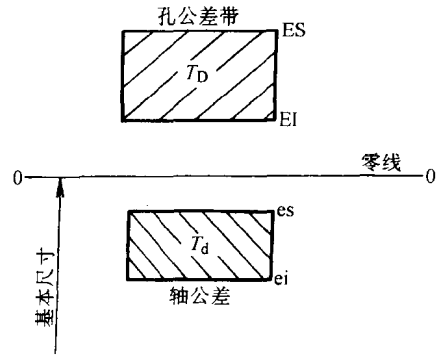


图 2-4 公差带图

偏差数值多以微米 (μm) 为单位进行标注。

2) 公差带 在公差带图中，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区域，称为公差带。

在国家标准中，公差带包括了“公差带大小”与“公差带位置”两个参数。公差带的大小取决于公差数值的大小，公差带相对于零线的位置取决于极限偏差的大小。大小相同而位置不同的公差带，它们对工件的精度要求相同，而对尺寸大小的要求不同。因此，必须既给定公差数值以确定公差带大小，又给定一个极限偏差（上偏差或下偏差）以确定公差带位置，才能完整地描述公差带，表达对工件尺寸的设计要求。

公差带图是学习本课程的一个极为重要的概念和工具，必须熟练掌握。

3. 有关配合的术语

(1) 间隙与过盈

1) 间隙 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为正时，此差值为间隙，以 S 表示。

2) 过盈 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为负时，此差值为过盈，以 δ 表示。

因此，过盈就是负间隙，间隙也就是负过盈。

孔的实际尺寸 D_a 减去相配合的轴的实际尺寸 d_a ，称为实际间隙 S_a 或实际过盈 δ_a ，即

$$S_a (-\delta_a) = D_a - d_a$$

当设计给定了相互配合的孔、轴的极限尺寸（或极限偏差）以后，即可相应地确定了间隙或过盈允许变动的界限，此称为极限间隙或极限过盈。

极限间隙有最大间隙 S_{\max} 和最小间隙 S_{\min} ；

极限过盈有最大过盈 δ_{\max} 和最小过盈 δ_{\min} 。

与相配孔、轴的极限尺寸或极限偏差的关系为：

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

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

(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。

根据相互结合的孔、轴公差带不同的相对位置关系，可以把配合分为三大类：

1) 间隙配合 保证具有间隙（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 2-5 所示。

当孔的公差带在轴的公差带之上时, $D_{\min} \geq d_{\max}$ 或 $EI \geq es$, 则形成间隙配合。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} 表示。

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

表示对间隙配合松紧均匀程度要求的特征值是间隙公差 T_f 。它是最大间隙与最小间隙之差, 即间隙的允许变动量。间隙公差还等于孔、轴尺寸公差之和, 即

$$T_f = S_{\max} - S_{\min} = T_D + T_d$$

2) 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, 孔的公差带在轴的公差带之下, 如图 2-6 所示。

当孔的公差带在轴的公差带之下时, $D_{\max} \leq d_{\min}$ 或 $ES \leq ei$, 则形成过盈配合。表示对过盈配合松紧程度要求的特征值是最大过盈 δ_{\max} 和最小过盈 δ_{\min} 。有时, 也用平均过盈 δ_{av} 表示。

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

表示对过盈配合松紧均匀程度要求的特征值是过盈公差 T_f 。它是最大过盈与最小过盈之差, 即过盈的允许变动量。过盈公差还等于孔、轴尺寸公差之和, 即

$$T_f = \delta_{\max} - \delta_{\min} = T_D + T_d$$

3) 过渡配合 可能具有间隙也可能具有过盈的配合, 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 2-7 所示。

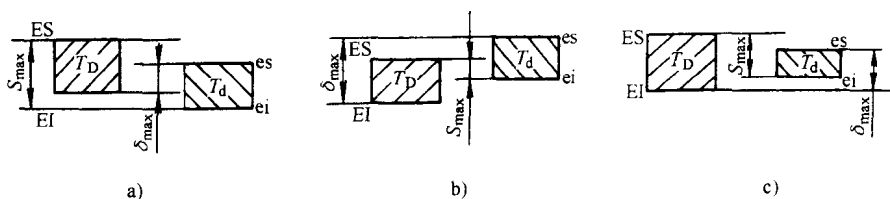


图 2-5 间隙配合

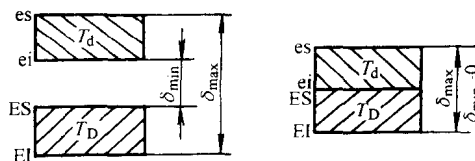


图 2-6 过盈配合

图 2-7 过渡配合

当孔的公差带与轴的公差带相互交叠时, $D_{\max} > d_{\min}$, 且 $D_{\min} < d_{\max}$, 即 $ES > ei$, 且 $EI < es$, 则形成过渡配合。表示对过渡配合松紧均匀程度要求的特征值是配合公差 T_f , 它等于最大间隙与最大过盈之和, 亦等于相配孔、轴尺寸公差之和。

$$T_f = S_{\max} + \delta_{\max} = T_D + T_d$$

由上可见, 配合公差 T_f 都等于相配孔的公差和轴的公差之和。它是允许间隙或过盈的变动量。

这一结论说明了配合件的装配精度与零件的加工精度有关。若要提高装配精度, 使配合后间隙或过盈的变化范围减小, 则应减小零件的公差, 即需要提高零件的加工精度。

配合公差的大小是设计者按使用要求确定的, 配合公差反映配合精度。配合种类反映配