

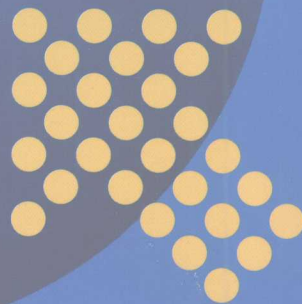
21世纪高等学校规划教材



HUHUANKING YU CELIANG JISHU JICHU

互换性与测量技术基础

孙京平 魏 伟 主 编
郭培培 刘 瑛 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

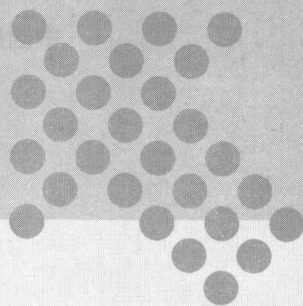
21世纪高等学校规划教材



HUHUANXING YU CELIANG JISHU JICHU

互换性与测量技术基础

主 编	孙京平	魏 伟	
副主编	郭培培	刘 瑛	
编 写	张 宇	段 虹	罗陆锋
主 审	孙 爽		



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是 21 世纪高等学校规划教材。全书共分十一章，主要包括极限与配合，测量技术基础，形位公差，表面粗糙度，圆锥连接的互换性，滚动轴承的公差与配合，键、花键连接的互换性，螺纹连接的互换性，圆柱齿轮的互换性，尺寸链等。本书采用最新的国家标准，注重标准与实际的联系。各章后附有习题，以供学生巩固、练习。

本书可作为高等院校机械类和近机类专业教材，也可作为高职高专院校相关专业教材，还可作为机械工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

互换性与测量技术基础/孙京平，魏伟主编. —北京：中国电力出版社，2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8391 - 0

I. 互… II. ①孙…②魏… III. ①零部件—互换性—高等学校—教材②零部件—测量—技术—高等学校—教材
IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 009761 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 313 千字

定价 21.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书为 21 世纪高等学校规划教材,是根据教育部审定的机械设计制造类专业主干课程的教学大纲编写而成的,可作为高等工科院校和高等职业院校机械制造专业和近机类专业教学用书。

本书体现了高等学校教育的性质、任务和培养目标;符合高等工科教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学的适应性;符合工科教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色;符合国家有关部门颁发的技术标准。本书既可作为学历教育教学用书,也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书是结合多年教育教学实践经验,在分析同类教材和最新国家标准的基础上,组织内容,为满足高等教育目标编写而成。针对目前高等教育以能力为本,突出技能培养的特点,力求使教材编写具有以下特点:

(1) 基础理论贯彻了以“实用为主,够用为度”的原则,筛选并精选内容和标准,删除了不必要的教学推导过程。

(2) 根据学科体系是由基础标准、测量和检测以及标准应用三大模块构成,将长度测量基础与光滑工件的检测合并为一章,这样使学科体系脉络更清晰,同时,也加强了常用几何量检测基本技能的培养。

(3) 为使学生能正确理解图样上表达的精度要求,学会标准的查阅并能根据零件图正确的检测零件,教材充实了形位精度和表面粗糙度标注及检测的内容;充实了尺寸精度设计的内容。

(4) 本书全部采用最新的国家标准,并注重标准与实际的联系。为了使新旧标准更好地衔接,书中将新旧标准用表格的形式进行对比,一目了然。为了便于自学、教学和应用能力的提高,书中增加了针对性强的实例,并且各章后附有复习题,以供学生巩固、练习。

本书由孙京平、魏伟主编,郭培培、刘瑛副主编。第一章、第五章、第十章由孙京平编写;第二章由魏伟编写;第四章、第八章、第十一章由郭培培编写;第六章由张宇编写;第三章由刘瑛编写;第九章由魏伟、孙京平编写;第七章由罗陆锋、段虹编写。

本书由天津工程师范学院的孙爽副教授审阅,并提出了很多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中欠妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2008 年 12 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
复习题	4
第二章 极限与配合	5
第一节 基本术语及定义	5
第二节 公差带的标准化	10
第三节 极限与配合的选择	24
复习题	31
第三章 测量技术基础	33
第一节 概述	33
第二节 计量器具和测量方法分类	35
第三节 测量误差	37
第四节 用通用测量器具测量	39
第五节 用光滑极限量规检验	43
复习题	49
第四章 形位公差	51
第一节 基本概念	51
第二节 形位公差的标注	52
第三节 形位误差和形位公差	59
第四节 公差原则	74
第五节 形位误差的检测	85
复习题	93
第五章 表面粗糙度	100
第一节 概述	100
第二节 表面粗糙度的评定	101
第三节 表面粗糙度的符号、代号及标注	105
第四节 表面粗糙度参数值的选择及检测	110
复习题	115
第六章 圆锥连接的互换性	116
第一节 圆锥连接的主要参数	116
第二节 圆锥公差	117
第三节 圆锥配合	120
第四节 圆锥的检测	122
复习题	122

第七章 滚动轴承的公差与配合	123
第一节 滚动轴承的公差等级及其应用	123
第二节 滚动轴承公差带及其特点	124
第三节 滚动轴承与轴及壳体孔的配合	126
复习题	133
第八章 键、花键连接的互换性	135
第一节 键连接.....	135
第二节 花键连接	138
复习题	141
第九章 螺纹连接的互换性	143
第一节 概述	143
第二节 普通螺纹几何参数误差对互换性的影响	145
第三节 普通螺纹的公差与配合	147
第四节 机床丝杠、螺母公差	153
第五节 螺纹的检测	154
复习题	155
第十章 圆柱齿轮的互换性	156
第一节 概述	156
第二节 圆柱齿轮精度的评定参数	160
第三节 渐开线圆柱齿轮的精度等级及其应用	167
第四节 齿轮副的精度检验项目和公差	176
第五节 齿轮旧国标 (GB/T 10095—1988) 的评定指标	186
复习题	188
第十一章 尺寸链	189
第一节 基本概念	189
第二节 尺寸链的计算	191
第三节 尺寸链的其他解法	197
复习题	199
参考文献	200

第一章 绪 论

一、课程作用与任务

本课程由互换性与测量技术两个密切联系的部分组成，是一门技术基础课。目前涉及的范围，只限于几何参数的互换性和检测。前者主要是学习研究公差与配合的标准及其初步应用，是从精度的角度去分析研究机械零件及结构的几何参数，属精度设计的范畴；后者是学习测量技术的基本知识与技能，属计量学范畴。这两方面的知识，都是机械类和仪器仪表类专业的学生所必须掌握的。

与本课程密切相关的前导课程有“机械制图”、“金属工艺学”、“机械原理”等，后续课程有“机械设计”及有关专业的设计课和工艺课。特别是公差与配合选用这一部分内容，更有待后续课程和课程设计及毕业设计去实践提高。

本课程术语代号及具体规定较多，实践性及实用性强。对刚学完系统性较强的理论基础课的同学，学习时要抓住几何精度这一关键概念，不断归纳、对比和总结，掌握其内在联系和规律。

二、机械产品的几何精度

现代机械产品的质量，包括工作精度、耐用性、可靠性、效率等，与产品的几何精度（尺寸、形状、相互位置、表面粗糙度等精度）密切相关。在合理设计结构和正确选用材料的前提下，零部件和整机的几何精度，就是产品质量的决定性因素。

当前，随着科学技术的发展和生产水平的提高，对机械产品几何精度的要求也越来越高。例如，车间用的精度等级最低的 $630 \times 400\text{mm}$ 的 3 级划线平板，其平面度误差，即工作面的不平整，不得超过 $70\mu\text{m}$ ，与一般人的头发直径差不多。而 0 级千分尺测砧测量面的平面度，要求不大于 $0.6\mu\text{m}$ 。又如作为尺寸传递媒介的量块（见第三章），尺寸精度要求更高， 10mm 的 0 级量块，其长度的极限偏差不得大于 $\pm 0.12\mu\text{m}$ 。体现现代科技水平的大规模集成电路，要在 1mm^2 的硅片面积上集成数以万计的元件，其上的线条宽度约为 $1\mu\text{m}$ ，形状和位置误差要小于 $0.05\mu\text{m}$ 。

当两个或多个零件相互配合组装在一起时，还要进一步考虑装配后的配合精度要求。例如，一般磨床的主轴与滑动轴承装配后的间隙要求为几个微米，过小将旋转不灵活，甚至烧伤卡死，过大则旋转精度不能满足要求。

对传动件，如齿轮副、蜗轮副、丝杠副等，还有运动准确性、平稳性、可靠性、承载能力等要求。高精度的丝杠，其螺距误差也只允许几个微米。

对部件和整机，也同样有几何精度要求。例如，一般精度的 CA6140 车床两顶尖的同轴度，即两顶尖轴心线的重合程度，最大偏差不得超过 $10\mu\text{m}$ ；0 级千分尺两侧砧测量面的平行度误差要求不大于 $1\mu\text{m}$ ，否则不能满足加工精度和测量精度的要求。

三、互换性在机械制造中的应用

1. 互换性的概念及其作用

现代化的机械产品生产，是建立在互换性原则基础之上的。所谓互换性，是指按规定的

技术条件和要求（主要是几何精度要求）来分别制造机械产品的各组成部分和零件，使其在装配和更换时，不需任何挑选、辅助加工和修配，就能顺利地装入整机中的预定位置，并能满足使用性能要求。例如汽车、拖拉机……以至人们日常使用的自行车、手表等产品，都是按互换性要求生产的。如果有零件损坏，修理时可很快地用同样规格的备件换上，并能恢复原有的使用性能。当然，这样的零部件都具有互换性。

按互换性原则组织生产，可实行大规模的分工协作，尽可能多地采用标准化的刀、夹、量具和高效率的专用设备，组织专业化的流水生产线，从而有利于提高产品质量和生产效率，并降低成本。装配时不用修配，效率也得到明显的提高和改善。

从设计的角度看，可大量采用按互换性原则设计的经过实践考验的标准零部件，以大幅度减少设计工作量；可采用标准化的计算方法和程序，进行高效率的优化设计。

从使用角度看，不仅修配方便，而且有利于获得物美价廉的产品。在许多情况下，还有更明显的效益。例如，拖拉机等农用机械迅速更换易损零件，可保证不误农时；发电设备的立即修复，可保障连续供电；战场上武器弹药的互换性，可保证不贻误战机等。

由上述可知，互换性是机械制造中的重要生产原则和效果显著的技术经济措施。

互换性是伴随近代大规模生产特别是军火生产而出现的，但互换性原则并不是仅限于大批量生产。近年发展起来的被称为机械工业生产重大改革的柔性生产系统（FMS），可迅速在生产线上改变产品的规格和品种，以适应小批量的多品种生产。但它对产品零部件以及生产线本身的互换性和标准化程度，要求更高。

2. 保证互换性生产的技术措施

为使零件具有互换性，最理想的是使同一规格零件的功能参数（包括几何参数、材质等）完全相同。但这是办不到的，且无必要如此要求。在实际生产中，是将零件的有关参数（主要是几何参数）的量值，限制在一定的能满足使用性能要求的范围之内，这个允许参数量值的变动范围，称为“公差”。

公差的大小，应按产品和零件的使用性能要求设计给定。例如，前面讲到的磨床主轴与滑动轴承装配后的间隙，有的要求为 $4\sim 5\mu\text{m}$ ，它取决于主轴和轴承直径的尺寸公差。0 级千分尺测量面的平面度误差要求不大于 $0.6\mu\text{m}$ ，这就是它的形状公差；装配后两测量面的平行度误差不大于 $1\mu\text{m}$ ，是其位置公差。

规定公差，是保证互换性生产的一项基本技术措施。在设计机械产品时，合理地规定公差十分重要。公差过大，则不能保证产品质量；公差过小，则加工困难，且成本增加。所以在精度设计规定公差时，要力求获得技术经济最佳综合效益。

至于生产出来的零件和产品是否都满足公差要求，就需要靠正确的测量检验来保证，所以测量检验是保证互换性生产的又一基本技术措施。

实现互换性生产，还要求广泛的标准化。产品的品种规格要标准化、系列化；各种尺寸、参数要标准化；各种零件的公差与配合以及一些检验方式方法也都要标准化。在满足使用要求的前提下，产品的规格、品种、参数以及公差与配合的种类，应尽可能减少，以利于互换性生产。

由上述可知，合理规定公差、正确的测量检验和广泛的标准化，都是保证互换性生产的基本技术措施。

四、标准化与优先数系

标准化的意义在于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。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技术语言、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。

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 分别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;我国国家标准为 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。

在产品设计或生产中,为了满足不同要求,同一品种的某一参数,从大到小取不同数值,形成不同规格的产品系列。例如,机床主轴转速的分级间距,钻头直径尺寸的分类等。我国目前采用的数值分级标准为优先数和优先数系。

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 $q_r = \sqrt[r]{10}$, 其含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 $a q_5$ 、 $a (q_5)^2$ 、 $a (q_5)^3$ 、 $a (q_5)^4$ 、 $a (q_5)^5$, 则 $a (q_5)^5 / a = 10$, 故 $q_5 \approx 1.6$ 。其他各系列的公比分别为: $q_{10} \approx 1.25$, $q_{20} \approx 1.12$, $q_{40} \approx 1.06$, 补充系列的公比 $q_{80} \approx 1.03$ 。优先数系的基本系列见表 1-1。

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。

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			2.24	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			3.55	3.55		8.00	8.00	8.00
1.60			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				

复 习 题

1. 互换性在机器制造业中有什么作用？
2. 何谓标准？何谓标准化？互换性生产与标准化的关系是什么？
3. 试写出基本系列 R5 中 0.1 ~ 100 的优先数。
4. 自 3 级开始至 9 级，普通螺纹公差等系数为 0.50、0.63、0.80、1.00、1.25、1.60、2.00。试判断它们属于哪个优先数系列。

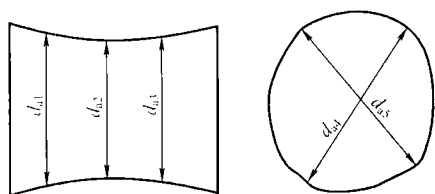


图 2-2 实际尺寸

较大的一个；孔或轴允许的最小尺寸为最小极限尺寸，即两个极限值中较小的一个。孔的最大、最小极限尺寸分别用 $D_{\max}$ 、 $D_{\min}$ 表示，轴的最大、最小极限尺寸分别用 $d_{\max}$ 、 $d_{\min}$ 表示。

上述尺寸中，基本尺寸和极限尺寸是设计者确定的尺寸，而实际尺寸是加工后对零件进行测量得到的尺寸。为了保证使用要求，零件的实际尺寸一

定要控制在极限尺寸范围内，而基本尺寸却不一定。

三、偏差与公差

1. 偏差 (deviation)

某一尺寸（极限尺寸、实际尺寸等）减其基本尺寸所得的代数差。根据某一尺寸的不同，偏差可分为极限偏差和实际偏差两种。

(1) 极限偏差 (limit deviation)。极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差。由于极限尺寸有最大极限尺寸和最小极限尺寸两种，因而极限偏差有上偏差和下偏差之分，如图 2-3 所示。

1) 上偏差 (upper deviation)。最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差。孔和轴的上偏差分别用符号 ES 和 es 表示，用公式表示为 $ES = D_{\max} - D$ ， $es = d_{\max} - d$ 。

2) 下偏差 (lower deviation)。最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差。孔和轴的下偏差分别用符号 EI 和 ei 表示，用公式表示为 $EI = D_{\min} - D$ ， $ei = d_{\min} - d$ 。

标注极限偏差时，上偏差应注在基本尺寸的右上方，下偏差注在基本尺寸的右下方，且上偏差必须大于下偏差，偏差数字的字体比尺寸数字的字体小一号，小数点必须对齐，小数点后的位数也必须相同，如 $\phi 20^{+0.068}_{-0.065}$ mm、 $\phi 40^{-0.031}_{-0.060}$ mm；若上偏差或下偏差为零，也必须标注在相应的位置上，不可省略，并与上偏差或下偏差的小数点前的个位数对齐，如 $\phi 100^{+0.087}_{-0.087}$ mm、 $\phi 50^{+0.025}_{-0}$ mm；当上、下偏差数值相同符号相反时，需简化标注，偏差数字的字体高度与尺寸数字的字体相同，如 $\phi 80 \pm 0.023$ mm。

由于极限偏差是用代数差来定义的，极限尺寸可能大于、小于、等于基本尺寸，所以极限偏差可以为正、负或零值。偏差使用时，除零外，前面必须标上相应的“+”号或“-”号。

(2) 实际偏差 (actual deviation)。实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。合格零件的实际偏差应在规定的极限偏差范围内。

2. 尺寸公差 (tolerance)

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，简称公差，如图 2-4 所示。它是允许尺寸的变动量。

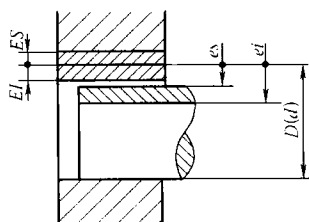


图 2-3 极限偏差

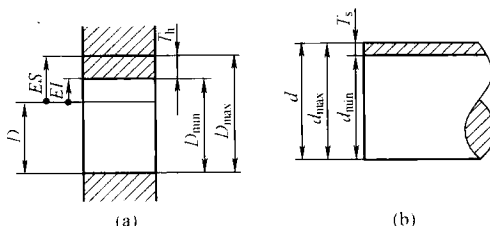


图 2-4 公差

(a) 孔的公差；(b) 轴的公差

零件的实际尺寸若想合格,它只有在最大极限尺寸与最小极限尺寸之间的范围内变动。变动仅涉及大小,因此用绝对值定义,所以公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值,或等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。孔和轴的公差分别用 T_h 和 T_s 表示,其计算方式为

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI|$$

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei|$$

应当指出,公差与偏差是两个不同的概念,公差是用绝对值来定义的,没有正、负,所以前面不能标“+”号或“-”号;而且零件在加工时不可避免地存在着各种误差,其实际尺寸的大小总是变动的,所以公差不能为零。

【例 2-1】 求孔 $\phi 30^{+0.075}_{+0.050}$ mm 的公差。

$$\text{解 } T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |30.075 - 30.050| = 0.025 \text{ (mm)}$$

$$\text{或 } T_h = |ES - EI| = | +0.075 - (+0.050) | = 0.025 \text{ (mm)}$$

图 2-5 所示为极限与配合的示意图,它表明了两个相互结合的孔、轴的基本尺寸,极限尺寸、极限偏差与公差的相互关系。

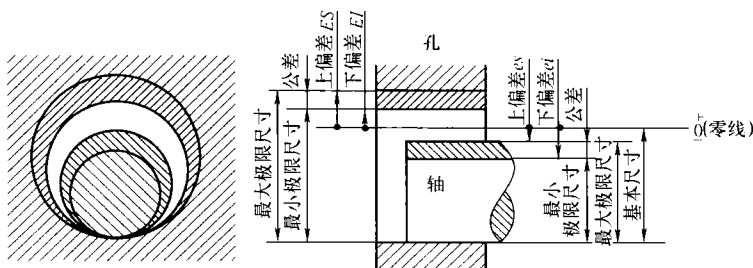


图 2-5 极限与配合示意图

3. 极限与配合图解

由于公差和偏差的数值比基本尺寸数值小得太多,不便于用同一比例表示,为此可只将公差值按规定放大画出,这种图称为极限与配合图解,简称公差带图,如图 2-6 所示。公差带图由零线和公差带组成。

(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,公差带图的零线水平放置,正偏差位于零线的上方,负偏差位于零线的下方,零偏差与零线重合。偏差数值以 mm 为单位时可省略标注,而以 μm 为单位时,则必须注明。

(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带状区域。公差带由公差带大小和公差带位置两个要素组成,前者指公差带在零线垂直方向上的宽度,由标准公差决定;后者指公差带相对于零线的位置,由基本偏差确定。画公差带图时,注意孔、轴公差带剖面线方向及疏密程度应予以区别。

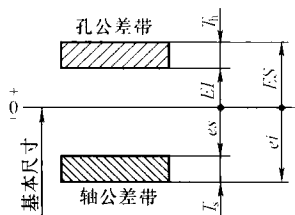


图 2-6 公差带图

【例 2-2】 画出孔 $\phi 50^{+0.025}_0$ mm、轴 $\phi 50^{+0.025}_{-0.041}$ mm 的公差带图。

解 1) 画零线,标注出“0”、“+”、“-”,用箭头指在零线的左侧,注出基本尺

寸 $\phi 50\text{mm}$ 。

2) 选适当比例, 画出孔、轴公差带, 并将极限偏差数值标注出来, 如图 2-7 所示。

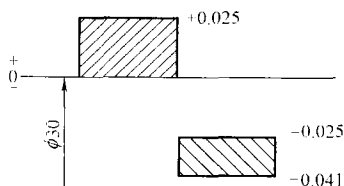


图 2-7 [例 2-2] 公差带图

4. 极限制

经标准化的公差与偏差制度。为了使公差带标准化, GB/T 1800.1-1997 相应提出了标准公差和基本偏差两个术语, 后面将详细介绍。

四、配合

1. 配合的概念

(1) 配合 (fit)。基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。由于配合是指一批孔、轴的装配关系, 而不是指单个孔和单个轴的相配关系, 所以用公差带关系来反映配合就比较确切。

(2) 间隙 (clearance) 或过盈 (interference)。孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差。此差值为正时是间隙, 用 X 表示; 为负时是过盈, 用 Y 表示。间隙的大小决定两相配件相对运动的活动程度, 过盈大小则决定两相配件连接的牢固程度。

2. 配合的类别

根据孔、轴公差带相对位置关系不同, 可把配合分成三类:

(1) 间隙配合 (clearance fit)。具有间隙 (包括最小间隙等于零) 的配合。间隙配合, 必须保证同一规格的一批孔的直径大于或等于相互配合的一批轴的直径。其配合特点是: 孔的公差带在轴的公差带之上, 如图 2-8 所示。

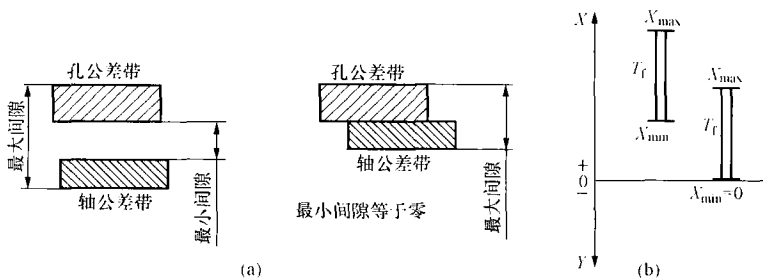


图 2-8 间隙配合

(a) 间隙配合孔、轴公差带图; (b) 间隙配合公差带图

由于孔、轴的实际尺寸允许在最大极限尺寸和最小极限尺寸之间变动, 因此配合后形成的实际间隙也是变动的。当孔为最大极限尺寸、轴为最小极限尺寸时, 配合处于最松状态, 此时的间隙称为最大间隙, 用 $X_{\max}$ 表示。当孔为最小极限尺寸、轴为最大极限尺寸时, 配合处于最紧状态, 此时的间隙称为最小间隙, 用 $X_{\min}$ 表示。最大间隙和最小间隙用下列公式确定:

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = (D + ES) - (d + ei) = ES - ei$$

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = (D + EI) - (d + es) = EI - es$$

最大间隙和最小间隙统称为极限间隙。

任何间隙配合, 若孔、轴加工合格, 其实际间隙 X 应该满足关系式 $X_{\min} \leq X \leq X_{\max}$ 。

【例 2-3】 试确定孔 $\phi 30^{+0.021}_0 \text{mm}$ 与轴 $\phi 30^{-0.020}_{-0.033} \text{mm}$ 配合的极限间隙。

解 $X_{\max} = ES - ei = +0.021 - (-0.033) = +0.054(\text{mm})$

$X_{\min} = EI - es = EI - es = 0 - (-0.020) = +0.020(\text{mm})$

(2) 过盈配合 (interference fit)。具有过盈 (包括最小过盈等于零) 的配合。过盈配合, 必须保证同一规格的一批孔的直径小于或等于相互配合的一批轴的直径。其配合特点是: 孔的公差带在轴的公差带之下, 如图 2-9 所示。

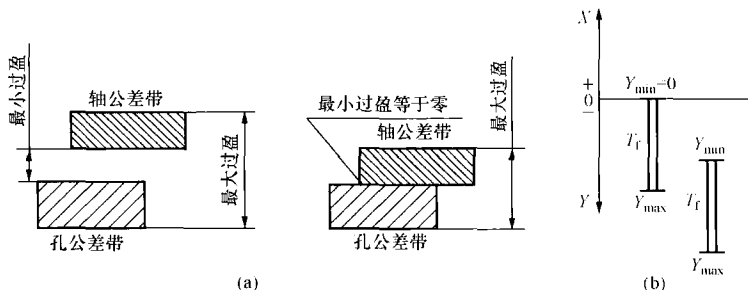


图 2-9 过盈配合

(a) 过盈配合孔、轴公差带图; (b) 过盈配合公差带图

由于孔、轴的实际尺寸允许在最大极限尺寸和最小极限尺寸之间变动, 因此配合后形成的实际过盈也是变动的。当孔为最小极限尺寸、轴为最大极限尺寸时, 配合处于最紧状态, 此时的过盈为最大过盈, 用 $Y_{\max}$ 表示。当孔为最大极限尺寸、轴为最小极限尺寸时, 配合处于最松状态, 此时的过盈为最小过盈, 用 $Y_{\min}$ 表示。最大过盈和最小过盈用下列公式确定:

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = (D + EI) - (d + es) = EI - es$$

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = (D + ES) - (d + ei) = ES - ei$$

最大过盈和最小过盈统称为极限过盈。任何过盈配合, 若孔、轴加工合格, 其实际过盈 Y 应该满足关系式 $Y_{\max} \leq Y \leq Y_{\min}$ 。

间隙配合中的零间隙和过盈配合中的零过盈, 都是孔的尺寸减轴的尺寸所得的代数差等于零, 那么实际工作中如何判断它们是零间隙还是零过盈呢? 若 $EI = es$, 且 $ES > ei$, 则是间隙配合的零间隙; 若 $ES = ei$, 且 $EI < es$, 则是过盈配合的零过盈。零间隙是间隙配合中最小间隙等于零, 孔、轴处于最紧的配合状态; 零过盈是过盈配合中最小过盈等于零, 孔、轴处于最松的配合状态。

【例 2-4】 试确定孔 $\phi 25^{+0.033}_{-0}$ mm 与轴 $\phi 25^{+0.069}_{-0.048}$ mm 配合的极限过盈。

解 $Y_{\max} = EI - es = 0 - (+0.069) = -0.069(\text{mm})$

$Y_{\min} = ES - ei = +0.033 - (+0.048) = -0.015(\text{mm})$

(3) 过渡配合 (transition fit)。可能具有间隙或过盈的配合。过渡配合, 同一规格的一批孔的直径可能大于、小于或等于相互配合的一批轴的直径。其配合特点是: 孔的公差带与轴的公差带相互交叠, 如图 2-10 所示。

过渡配合中, 若孔的尺寸大于轴的尺寸时则形成间隙, 反之形成过盈, 若孔的尺寸和轴的尺寸相等时形成零间隙或零过盈, 但它不能代表过渡配合的性质特征。过渡配合松紧程度的特征值是最大间隙和最大过盈。

任何过渡配合, 若孔、轴加工合格, 其实际间隙或实际过盈均应该满足 $Y_{\max} \leq Y$ 或 $X \leq X_{\max}$ 。

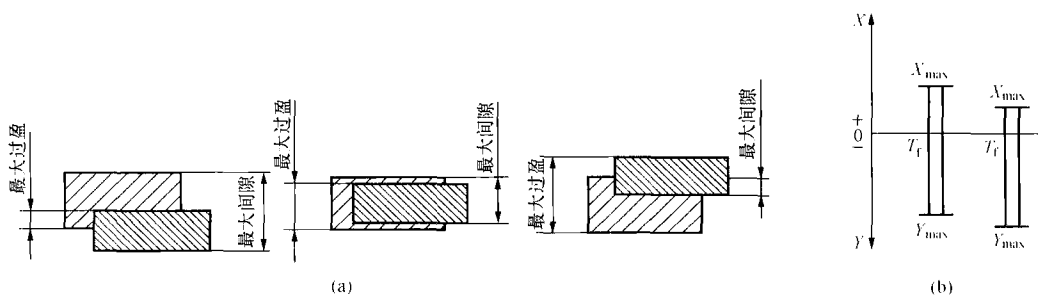


图 2-10 过渡配合

(a) 过渡配合孔、轴公差带图; (b) 过渡配合公差带图

3. 配合公差 (fit tolerance)

配合公差定组成配合的孔、轴公差之和,它是允许间隙或过盈的变动量,用 T_f 表示。

对于间隙配合,配合公差等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值;对于过盈配合,配合公差等于最大过盈与最小过盈之代数差的绝对值;对于过渡配合,配合公差等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值。计算公式如下:

$$\text{间隙配合} \quad T_f = |X_{\max} - X_{\min}|$$

$$\text{过盈配合} \quad T_f = |Y_{\max} - Y_{\min}|$$

$$\text{过渡配合} \quad T_f = |X_{\max} - Y_{\max}|$$

若将以上三式中的极限间隙或极限过盈分别用孔和轴的极限尺寸代入,可得出

$$T_f = T_h + T_s$$

当基本尺寸一定时,配合公差 T_f 表示配合松紧的变化范围,即配合的精确程度,是功能要求(即设计要求);而孔公差 T_h 和轴公差 T_s 分别表示孔和轴加工的精确程度,是制造要求(即工艺要求)。通过关系式 $T_f = T_h + T_s$,将这两方面的要求联系在一起。若功能要求或设计要求提高,即 T_f 减小,则 $(T_h + T_s)$ 也要减小,加工更困难,成本也将提高。因此,这个关系式正好说明“公差”的实质,反映出零件的功能要求与制造要求的矛盾或设计与工艺的矛盾。

【例 2-5】 计算孔 $\phi 50^{+0.025}_0$ mm 与轴 $\phi 50^{+0.018}_{+0.002}$ mm 配合的最大间隙、最大过盈及配合公差。

$$\text{解} \quad X_{\max} = ES - ei = +0.025 - (+0.002) = +0.023(\text{mm})$$

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

$$T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = |(+0.023) - (-0.018)| = 0.041(\text{mm})$$

4. 配合制

配合制指同一极限制的孔和轴组成配合的一种制度。极限制和配合制,统称为“极限与配合制”。

第二节 公差带的标准化

公差带的标准化是指公差带大小和公差带位置的标准化,这是极限与配合标准的核心内容。

一、标准公差系列

标准公差 (ISO Tolerance, IT) 是指标准极限与配合制中表列的用以确定公差带大小的任一公差。由若干标准公差所组成的系列称为标准公差系列, 它以表格的形式列出, 称为标准公差数值表, 见表 2-1。由此表可以看出标准公差的数值大小与两个因素有关: 标准公差等级和基本尺寸分段。

表 2-1

标准公差数值

基本尺寸 (mm)		标准公差等级																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm											mm						
0	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	0.12	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 1. 基本尺寸大于 500mm 的 IT1 至 IT5 的标准公差数值为试行的。

2. 基本尺寸小于或等于 1mm 时, 无 IT14 至 IT18。

1. 标准公差等级 (standard tolerance grades)

确定尺寸精确程度的等级。同一公差等级对所有基本尺寸的一组公差被认为具有同等精确程度。其划分通常以加工方法在一般条件下所能达到的经济精度为依据, 并满足广泛且不同的使用要求。

标准公差等级用字母 IT 加阿拉伯数字表示。IT 表示标准公差, 阿拉伯数字表示标准公差等级数。GB/T 1800.3--1998 在基本尺寸至 500mm 内, 规定了 IT01、IT0、IT1、…、IT18 共 20 个标准公差等级, 但 IT01 和 IT0 在工业上很少用到, 因而将其数值列入了附录中, 见表 2-2。从 IT01 至 IT18, 公差等级依次降低, 而相应的标准公差值依次增大。IT01 精度最高, IT18 精度最低。国家标准规定的标准公差是由公差等级系数 a 和标准公差因子 i 的乘积值来决定的。

(1) 标准公差因子 (standard tolerance factor)。

零件的制造误差不仅与加工方法有关, 而且与基本尺寸的大小有关, 为了便于评定零件尺寸公差等级的高低, 规定了标准公差因子。