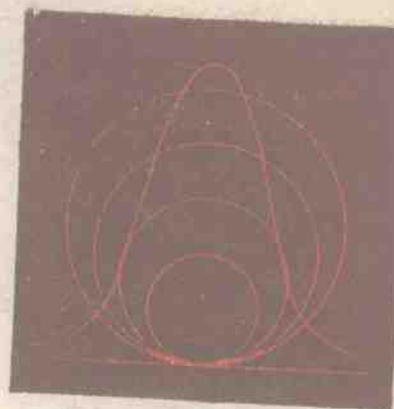


INTERCHANGEABILITY & TECHNICAL MEASUREMENT



互换性与技术测量

修订版○

李任 席宏卓 谢铁邦 主编
华中理工大学出版社

CHIEF EDITOR:

Prof. LI Zhu

Prof. XI Hongzuo

Instructor XIE Tiebang

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE

AND TECHNOLOGY PRESS

WUHAN, CHINA

互 换 性 与 技 术 测 量

(修 订 版)

HUHUANXING YU JISHU CELIANG

李 柱 席宏阜 谢铁邦 主编

华中理工大学出版社

1988

内 容 提 要

本书是在1982年4月第一版的基础上,考虑教学改革和学科发展形势的需要,全面修改编写而成的。原十二章归并为六章,另增编二章。修改的指导思想是力求提高理论水平与应用价值,并与微机应用相结合。

本书包括:概论,尺寸公差与圆柱结合的互换性,形状和位置公差及表面粗糙度,典型件结合的互换性,圆柱齿轮传动的互换性,尺寸链与统计尺寸公差,质量控制,以及测量结果处理的数学方法等八章。

本书可供大专院校用作机械类各专业“互换性与测量技术基础”课程的教材,并可供工程技术人员参考。

互换性与技术测量

(修订版)

李 柱 席宏卓 谢铁邦 主编

责任编辑 黄声江

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:441 000

1982年4月第1版 1988年8月第2版 1995年8月第8次印刷

印数:134 001—137 000

ISBN 7-5609-0198-0/TH·24

定价:12.50元

(鄂)新登字第10号

修 订 版 说 明

本书第一版于1982年4月和1983年2月两次共印刷9万册,受到全国许多院校的关注和广大读者的欢迎。近几年来,随着教学改革的深化,我们深感必须努力提高本课程的理论水平与应用价值。为此,我们广泛征求了使用本教材的有关院校教师的意见,并由湖北省高等学校互换性与测量技术基础研究会组织部分院校教师,自1985年开始,对本书第一版原有的内容分工进行了第一次修改。在此基础上,考虑到学科的发展及学生水平的提高,又于1987年组织部分教师对书稿进行了第二次修改,将原十二章的内容加以删节、修改、补充,归并为第一至六章,另增编了第七章质量控制及第八章测量结果处理的数学方法。此外,还将微机应用编入本教材。为了节省篇幅,只列入了部分程序与框图,另附程序目录清单,备有磁盘,供选购,以配合本书教学。

参加本书第一版编写的有:李柱、席宏卓、李光瀛、江天一、范治渊、葛梦周、凌兆伦、梁伊珍、程德云等同志,由李柱、席宏卓任主编。

参加本书修订版第一次修改的部分同志有:李义方(原第二章,技术测量基础),许大全、范治渊(原第三章,圆柱体的公差与配合),余培元(原第四章,形状和位置公差),葛梦周(原第五章,表面光洁度),凌兆伦(原第六章,光滑工件尺寸的检测),罗镜冰(原第七章,滚动轴承的公差与配合),管鄂(原第十章,螺纹的公差与配合及检测),霍明理(原第十一章,圆柱齿轮传动的公差及齿轮测量),萧元德(原第十二章,尺寸链)。

参加本书修订版第二次修改的主要有以下同志:许大全、范治渊、谢铁邦、席宏卓、李柱。由李柱、席宏卓及谢铁邦任主编。此外,熊有伦同志参与了第八章的审校工作。

本书编入的程序及附录所列的程序由海军工程学院许大全、旷家林、程永榕、郭顺洪、唐立本等同志研制。

本书修订版的内容及章节编排,与第一版比较,变动较大。既补充了一些结合当前机械工业实际的应用性参考内容,也补充了若干本学科发展前沿和动向方面的内容,既重视基本知识的阐述,也重视分析计算方法的应用,既重视加强基础,也注意拓宽知识面。我们希望这样做有利于培养学生分析解决实际问题的能力和创造才能,使他们不仅能适应当前经济建设的需要,同时具有一定的知识储备与独立发展的后劲。显然,要达到这个培养目标,不是一本教材能办到的,这在很大程度上要取决于教师的教导与学生的学习过程及方法,若本教材能为此提供部分条件,我们将感到欣慰。

本书主要按全日制机制专业本科学生的要求编写,对于其他专业或专科生,若使用本教材,第七、八两章可以不讲。即使对全日制本科学生,若受学时所限,这两章也可不讲,而由学生自学参考;也可考虑讲这两章,而对第一至六章,指定其中部分章节由学生自学。但是,不论教学上如何处理,编者认为这两章的内容应列入本学科的范畴。

编著者热忱欢迎对本书的评论与指正。

编著者

1988年5月

目 录

第一章 概论	(1)
1-1 互换性的意义与发展	(1)
1-2 有关公差与配合的基本术语及定义	(3)
1-3 标准化	(10)
1-4 技术测量的基本知识	(13)
1-5 测量误差	(18)
1-6 技术测量中的基本原则	(26)
1-7 被测的量在测量过程中的变换	(28)
第二章 尺寸公差与圆柱结合的互换性	(35)
2-1 概述	(35)
2-2 公差值 (公差带大小) 的标准化	(36)
2-3 极限偏差 (公差带位置) 的标准化	(39)
2-4 公差带与配合的标准化	(48)
2-5 公差与配合选择综合分析	(50)
2-6 间隙配合的选择与计算	(60)
2-7 过盈配合的选择与计算	(75)
2-8 过渡配合的选择	(83)
2-9 光滑极限量规	(86)
2-10 测量器具的选择	(92)
第三章 形状和位置公差及表面粗糙度	(97)
3-1 形状和位置公差	(97)
3-2 表面粗糙度	(111)
3-3 形状和位置误差的测量	(120)
3-4 表面粗糙度的测量	(127)
第四章 典型件结合的互换性	(132)
4-1 滚动轴承的公差与配合	(132)
4-2 键和花键的公差与配合	(142)

4-3	圆锥结合的公差与配合	(147)
4-4	螺纹的公差与配合	(156)
第五章	圆柱齿轮传动的互换性	(177)
5-1	概述	(177)
5-2	齿轮精度的评定指标	(181)
5-3	圆柱齿轮传动公差标准	(188)
5-4	齿轮测量	(198)
第六章	尺寸链与统计尺寸公差	(210)
6-1	尺寸链的基本概念	(210)
6-2	封闭环与组成环的基本关系	(215)
6-3	直线尺寸链的计算	(219)
6-4	统计尺寸公差	(228)
第七章	质量控制	(234)
7-1	概述	(234)
7-2	直方图法与数据分层法	(235)
7-3	排列图法、因果图法及统计分析表法	(238)
7-4	散布图法	(240)
7-5	工序控制图法	(245)
第八章	测量结果处理的数学方法	(258)
8-1	等精度单次、多次测量的数据处理	(258)
8-2	间接测量的数据处理	(259)
8-3	最小二乘法	(261)
8-4	带约束条件的最小二乘法	(269)
8-5	线性极差极小化法	(271)
附录	公差与配合、互换性基础标准及测量技术软件系(T、F、S)	(278)
	主要参考文献	(283)

第一章 概 论

1-1 互换性的意义与发展

一、互换性含义

什么叫“互换性”？从日常生活中，就可找到回答。例如，规格相同的任何一个灯泡和任何一个灯头，不管它们分别由哪一个工厂制成，都可装在一起；自行车、手表和缝纫机等零件坏了，也可以迅速换上一个新的，并且在装配或更换后，能很好地满足使用要求。其所以能这样方便，就因为灯泡、灯头以及自行车、手表和缝纫机等零件都具有互换性。

怎样才能使零件具有互换性？假如制成的一批零件的实际参数（尺寸、形状等几何参数及强度、硬度等其他物理参数）的数值都等于其理论值，即这些零件完全相同，那末，在装配时，从其中任取一件，效果都是一样的。也就是说，这些零件具有互换性。但是，要获得这样绝对准确和完全一致的零件不仅是不可能的，也是不必要的。现代机器制造业可以制造出高度准确的零件，但仍然有误差。而另一方面，从机器的使用和互换性生产要求看，只要制成零件的实际参数值变动不大，保证零件充分近似即可。所以，要使零件具有互换性，就应按“公差”来制造。公差就是实际参数值允许的最大变动量。

至此，可将互换性（interchangeability）的定义阐述如下：“机器制造中的互换性，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辅助加工及修配，便能很好地满足使用和生产上的要求。”这个定义既概括了各种参数、各种程度及各种范围的互换性（包括零件、部件等的互换性和机器制造及使用过程的互换性），又明确了互换性不仅是零部件等机械组成部分的一种技术属性，更重要的，互换性是具有重要技术—经济意义的生产原则与生产技术基础。

二、互换性分类

1. 按决定参数分

按决定参数的不同，互换性可分为几何参数互换性与功能互换性。

几何参数互换性，是指规定几何参数公差以保证成品的几何参数充分近似所达到的互换性。此为狭义互换性，即通常所讲的互换性，有时也局限于指保证配合要求或装配要求的互换性。

功能互换性，是指规定功能参数的公差所达到的互换性。功能参数当然包括几何参数，但还包括其他一些参数，如材料机械性能参数，化学、光学、电学、流体力学等参数。此为广义互换性，往往着重于保证除配合要求或装配要求以外的其他使用功能要求。

2. 按方法及程度分

按实现方法及互换程度的不同，互换性可分为完全互换、概率互换（大数互换）、分组互换、调整互换及修配互换。

完全互换的特点是：零件（或部件）在装配或更换时，不仅不需辅助加工与修配，而且不需选择，即可保证百分之百地满足使用要求。

概率互换与完全互换不同之点是：零件（或部件）仅能以接近于1的概率 $1-\alpha$ 断定能

够满足使用要求,例如 $1 - \alpha = 0.95$ 或 0.99 等,此处 α 即危率。

分组互换的特点是:在装配前对所有零件必须进行分组检测。通过检测,按实际尺寸大小将零件分为若干组,按组进行装配,此时,仅组内零件可以互换,组与组之间不可互换。例如,滚动轴承内、外圈及滚珠(滚柱)在装配前,通常要分十几组甚至几十组;活塞销与活塞及连杆装配前,往往分为三、四组。

调整互换与修配互换的共同特点是:在机构或机器进行装配时,为达到总装精度等使用要求,必须改变某一零件的实际大小(actual dimension),以补偿其他零件的累积误差,此零件称为调节环。调整互换与修配互换的不同是:前者用更换零件或改变零件的位置来改变调节环的实际大小;后者用去掉多余材料的修配方法来改变调节环的实际大小。此时,组成机构或机器的所有零件仍然是按互换性原则制成的,装配过程也遵循互换性原则,但必须对调节环进行调整或修配才能达到总装精度要求。显然,在进行这样的调整或修配后,装成的机构或机器的组成零件之间,不能再随意更换;或者说,若要更换的话,则必须对调节环重新进行调整或修配。

若在装配时,必须对所有组成零件进行补充加工或修配,才能达到装配使用要求,则零件不具有互换性。

3. 按部位或范围分

对独立部件或机构来讲,其互换性可分为外互换与内互换。

外互换是指部件或机构与其相配件间的互换性。例如,滚动轴承内圈内径与轴的配合,外圈外径与轴承座孔的配合。

内互换是指部件或机构内部组成零件间的互换性。例如,滚动轴承内、外圈滚道表面与滚珠(滚柱)表面间的互换性。

为使用方便,滚动轴承的外互换为完全互换;至于其内互换则因装配精度要求高而采用分组互换。

三、互换性的作用

互换性在机械制造中的作用,可从机器的使用、制造及设计等方面去分析。

从使用看,若零部件具有互换性,则在磨损或损坏后,可用另一新的备件代替。例如,各种内燃发动机的活塞、活塞环、活塞销,各种滚动轴承等都是这样的备件。由于备件具有互换性,使机器维修的时间和费用显著减少,保证了机器工作的连续性和持久性,从而大大提高了机器的使用价值。

从制造看,互换性是提高生产水平和文明程度的有力手段。装配时,由于零部件具有互换性,能显著减轻装配劳动量,缩短装配周期,并且可以使装配工作按流水作业方式进行,乃至采用装配自动线或机器人进行自动装配,从而使装配生产率大大提高。加工时,由于遵循互换性的原则,同一部机器上的各个零件可以同时分别制造。用得极多的标准件还可集中由专门车间或工厂单独生产。由于产品单一、数量多、分工细,可采用高效率的专用加工设备,乃至采用计算机辅助制造。这样,产量和质量必然会显著提高,成本也将大大降低。

从设计看,由于按互换性原理进行设计,尽量采用具有互换性的零件、部件、独立机构及总成,因而可简化计算、绘图等工作,缩短设计周期,有利于采用计算机辅助设计。这对保证产品品种的多样化和产品结构性能的及时改进,都有重大作用。

综上所述,在机械制造中遵循互换性原则,不仅能显著地提高劳动生产率,而且能有效

地保证产品质量和降低成本。因此,互换性是机械制造发展的重要技术基础。从根本上讲,按互换性原则组织生产,实质上就是按分工协作的原则组织生产,而“分工与协作造成的生产力不费资本分文”,因此可以获得巨大的经济效益。

四、本学科的发展

在许多国家,规模比较大的互换性生产都开始于兵器制造业,然后扩大到其他行业。例如,苏联关于互换性生产的最早记载,是在1760年至1770年的土里斯基兵工厂;美国关于按互换性原理大量生产步枪的记载是在1798年。

在我国,互换性原理用于现代机器制造业也主要开始于兵器制造,如1931年的沈阳兵工厂和1937年的金陵兵工厂,在互换性生产上当时已有相当规模,其历史比许多发达国家迟。但是,我国在古代应用互换性原理进行生产的历史则很早。近年来,从秦始皇陵兵马俑坑出土的上万件兵器证实了这一点。以出土的青铜弩机为例,其几个组成零件都具有互换性。从出土的大量青铜镞(箭头)的实测结果看,不仅每一个镞的三个刃口的分度尺寸和刃口长度尺寸的差别很小,而且一批镞之间的尺寸差别也很小,镞的表面光洁,镞尖曲线与现代自动步枪弹头曲线一致,可见这批镞具有相当好的功能互换性。这些历史文物证实我国在公元前200多年以前,早已有了大规模进行互换性生产的实践。

当然,互换性原理与测量技术相结合,逐步形成一门综合性基础学科,还是与现代机械工业的发展紧密相联系的。

现在,互换性生产的发展,无论从深度或广度讲,都已进入一个新的阶段。不仅由装配互换性发展到功能互换性,由几何参数互换性发展到其他质量参数的互换性,由成批、大量生产的互换性发展到单件、小批生产的互换性,而且超出了机械工业的范畴,扩大到了其他行业。其中最典型的例子就是近年来发展特别迅速的微电子工业。由于按互换性原则生产电子工业产品、元器件及插板等,使制造成本大幅度降低,从而极大地扩大了产量与销售量。这些电子工业产品的公差项目很多,对互换性要求很高。在其他许多新兴产业中,也都可看到互换性原理与测量技术的应用及发展。

1-2 有关公差与配合的基本术语及定义

要实现零部件的互换性,除统一其结构与基本尺寸外,还应统一规定公差与配合。公差与配合标准是国际上公认特别重要的基础标准之一。

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、管理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、术语及定义。术语及定义的统一也是国际标准化的重要内容之一。

在公差与配合标准中,孔与轴这两个术语有其特殊含义,它关系到公差标准的应用范围(图1-1)。

孔(hole): 主要指圆柱形内表面,也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分。

轴(shaft): 主要指圆柱形外表面,也包括其他外表面中由单一尺寸确定的部分。

在键与键槽的结合(图4-9)中,键槽即孔,键就是轴。

从装配关系看,孔是包容面,轴是被包容面。从加工过程看,随着余量的切除,孔的尺寸由小变大,轴的尺寸由大变小。此外,孔、轴在测量上也有所不同,例如:测孔用内卡

尺, 测轴用外卡尺。

在公差与配合标准中的孔、轴都是由单一的主要尺寸构成。例如, 圆柱形的直径, 键与键槽的宽度等。

尺寸 (size): 用特定单位表示长度值的数字。在技术图样中和一定范围内, 若已注明共同单位 (如在尺寸标准中, 以 mm 为通用单位) 时, 均可只写数字, 不写单位。

基本尺寸 (basic size): 设计给定的尺寸。基本尺寸一般应按标准选取, 因为基本尺寸的标准化可减少定值刀具、量具及夹具等的规格数量。

由于有制造误差, 由于要满足孔与轴的配合要求, 工件加工完成后所得的实际尺寸一般不等于其基本尺寸。

实际尺寸 (actual size): 通过测量所得的尺寸。由于存在测量误差, 实际尺寸并非被测尺寸的真值。例如, 测得轴的尺寸为 24.965mm, 若测量极限误差为 ± 0.001 mm, 则尺寸的真值在 24.965 ± 0.001 范围内, 忽略测量误差, 取实际尺寸为 24.965mm。

由于形状误差的存在, 工件上各处的实际尺寸可能不完全相同, 造成实际尺寸的“不定性”, 且影响孔、轴配合的实际状态。为此, 引入作用尺寸的概念 (图1-2)。

孔的作用尺寸 (mating size for hole): 在配合面全长上, 与实际孔内接的最大理想轴的尺寸。

轴的作用尺寸 (mating size for shaft): 在配合面全长上, 与实际轴外接的最小理想孔的尺寸。

若工件没有形状误差, 则其作用尺寸等于实际尺寸。弯曲轴的作用尺寸大于该轴的最大实际尺寸, 弯曲孔的作用尺寸小于该孔的最小实际尺寸。

为了保证使用要求, 应对实际尺寸与作用尺寸的变动范围加以限制。为此, 规定了极限尺寸 (图1-3)。

极限尺寸 (limits of size): 允许尺寸变化的两个界限值, 它以基本尺寸为基数来确定。两个界限值中, 较大的一个称为最大极限尺寸 (maximum limit of size), 较小的一个称为最小极限尺寸 (minimum limit of size)。

孔与轴的极限尺寸, 除可按其本身数值大小特征分类外, 还可按工件实体大小 (占有材料多少) 特征、量规检验特征及加工过程特征等分类。

最大实体状态 (maximum material condition) 和最大实体尺寸 (maximum material size): 具有允许的材料量为最多时的状态, 称为最大实体状态 (MMC), 在此状态下的极限尺寸, 称为最大实体尺寸 (MMS), 它是孔的最小极限尺寸与轴的最大极限尺寸的统称。例如: 轴 $\phi 25^{+0.030}_{-0.000}$ 的最大实体尺寸为 24.980 mm; 孔 $\phi 25^{+0.021}_{-0.000}$ 的最大实体尺寸为 25.000mm。

最小实体状态 (least material condition) 和最小实体尺寸 (least material size): 具

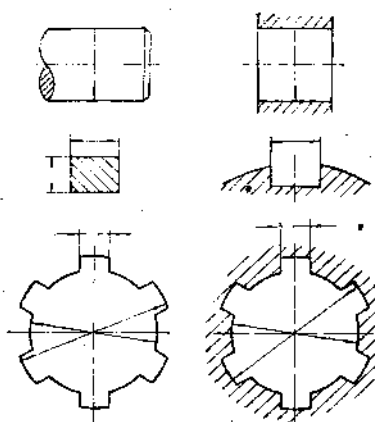


图 1-1 孔与轴

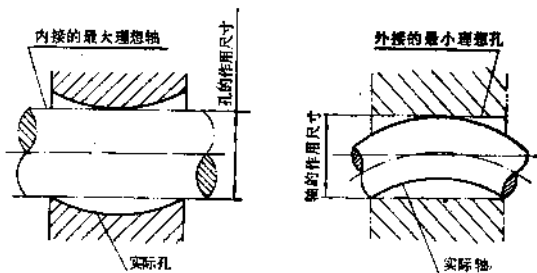


图 1-2 作用尺寸

有允许的材料量为最少时的状态，称为最小实体状态（LMC），在此状态下的极限尺寸，称为最小实体尺寸（LMS），它是孔的最大极限尺寸与轴的最小极限尺寸的统称。例如：轴 $\phi 25_{-0.033}^{+0.021}$ 的最小实体尺寸为 24.967 mm；孔 $\phi 25_{+0.021}^{+0.021}$ 的最小实体尺寸为 25.021 mm。

按加工过程特征，最大实体尺寸即合格工件的起始尺寸（始限），最小实体尺寸即合格工件的终止尺寸（终限）。

按用极限量规检验特征，最大实体尺寸即通极限（go limit），最小实体尺寸即止极限（not go limit），它们分别由通规与止规控制。

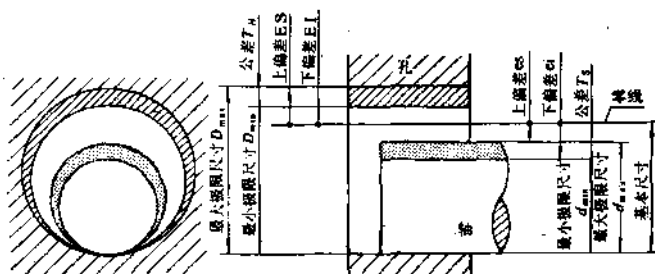


图 1-3 公差与配合的示意图

极限尺寸与实际尺寸可用基本尺寸与偏差表示。

尺寸偏差，简称偏差（deviation）：某一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（upper deviation），最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差（lower deviation），上偏差与下偏差统称为极限偏差（limit deviation）。实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差（actual deviation）。

国际上对孔、轴极限偏差的规定代号如下：

ES——孔的上偏差；EI——孔的下偏差；

es——轴的上偏差；ei——轴的下偏差。

它们分别是法文 *ecart superieur*（上偏差）与 *ecart interieur*（下偏差）的缩写。

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与最小极限尺寸之代数差的绝对值；也等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。

例 1-1 已知孔的基本尺寸 D = 轴的基本尺寸 d = 25 mm，孔的最大极限尺寸 $D_{\max}$ = 25.021 mm，孔的最小极限尺寸 $D_{\min}$ = 25.000 mm，轴的最大极限尺寸 $d_{\max}$ = 24.980 mm，轴的最小极限尺寸 $d_{\min}$ = 24.967 mm。求孔与轴的极限偏差及公差。

解：孔的上偏差 $ES = D_{\max} - D = 25.021 - 25 = +0.021$ mm；

孔的下偏差 $EI = D_{\min} - D = 25.000 - 25 = 0$ ；

轴的上偏差 $es = d_{\max} - d = 24.980 - 25 = -0.020$ mm；

轴的下偏差 $ei = d_{\min} - d = 24.967 - 25 = -0.033$ mm；

孔公差 $T_H = |D_{\max} - D_{\min}| = |25.021 - 25.000| = 0.021$ mm；

轴公差 $T_S = |d_{\max} - d_{\min}| = |24.980 - 24.967| = 0.013$ mm。

或 孔公差 $T_H = |ES - EI| = | +0.021 - 0 | = 0.021$ mm；

轴公差 $T_S = |es - ei| = | -0.020 - (-0.033) | = 0.013$ mm。

用基本尺寸与极限偏差表示时，可写为：孔 $\phi 25_{+0.021}^{+0.021}$ ；轴 $\phi 25_{-0.033}^{-0.020}$ 。

由于极限尺寸与实际尺寸都可以大于、小于或等于基本尺寸，所以“偏差”可以为正值、负值或零。而“公差”则是一个没有正、负号的绝对值，且不能为零。“极限偏差”用于限制“实际偏差”，而“公差”用于限制实际尺寸变动量。对单个工件，只能测得尺寸的“实际偏差”，而根据数量足够多的一批工件，才能确定或推断确定尺寸变动量。在加工时，

“上偏差”或“下偏差”一般不反映加工难易，只表示机床调整要求（如车削时进刀位置），而“公差”反映加工难易，可表示制造精度要求（当基本尺寸一定时）。

由于公差及偏差的数值与尺寸数值相比，通常差别甚大，不使用同一比例表示，故采用公差与配合图解（简称公差带图解）。图解中，用“零线”代表基本尺寸，用不同方式区分孔、轴公差带，其相互位置及大小应按协调比例绘出。

零线 (zero line): 在公差带图中，确定偏差的一条基准直线，即零偏差线。通常，零线表示基本尺寸。

尺寸公差带，简称公差带 (tolerance zone): 在公差带图中，由代表上、下偏差的两条直线所限定的一个区域（图1-4）。

在公差与配合标准中，规定了用于确定公差带大小与位置的标准公差与基本偏差，而标准公差则由公差单位与公差等级确定。

标准公差 (standard tolerance): 标准中表列的，用以确定公差带大小的任一公差。

公差单位 (tolerance unit): 计算标准公差的基本单位，它是基本尺寸的函数。

公差等级 (tolerance grade): 确定尺寸精确程度的等级。属于同一等级的公差，其数值随基本尺寸分段不同而有差别，但被认为具有同等的精确程度。

基本偏差 (fundamental deviation): 标准中表列的，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（图1-5）。

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。

间隙或过盈 (clearance or interference): 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差为正时是间隙，为负时是过盈（图1-6）。

间隙配合 (clearance fit): 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（图1-7）。

间隙配合主要用于孔、轴间的活动联结。间隙的作用在于贮藏润滑油，补偿热变形、弹性变形及制造与安装误差等，间隙量是影响孔、轴相对运动活动程度及定位精度的基本因素。

过盈配合 (interference fit): 具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之下（图1-8）。

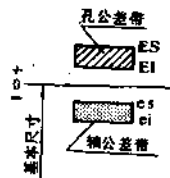


图 1-4 公差带图

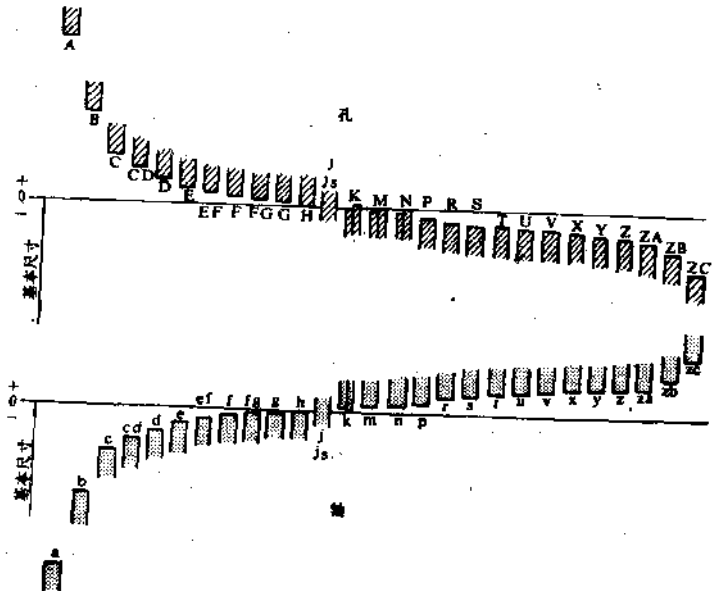


图 1-5 基本偏差系列

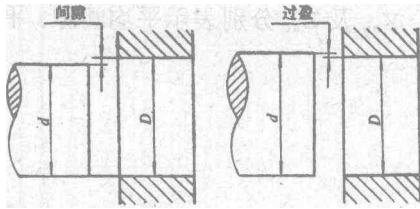


图 1-6 间隙或过盈

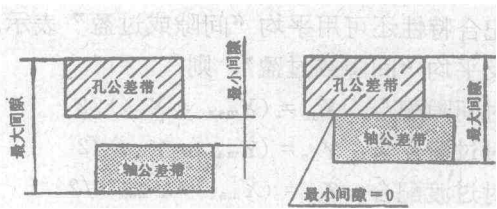


图 1-7 间隙配合

过盈配合用于孔、轴间的紧固联结，不允许两者之间有相对运动。

采用过盈配合时，由于轴的实际尺寸比孔的实际尺寸大，要加压力才能使轴装入孔中；也可用加热孔使之胀大，或冷却轴使之缩小的方法进行装配。例如，火车轮轴与轮芯、轮芯与耐磨轮箍的结合均采用过盈配合，前者在压力机上用压入法装配，后者用加热轮箍的方法进行装配。采用过盈配合，不另加紧固件，依靠孔、轴表面在结合时的变形，即可实现紧固联结，并能承受一定的轴向力或传递扭矩。

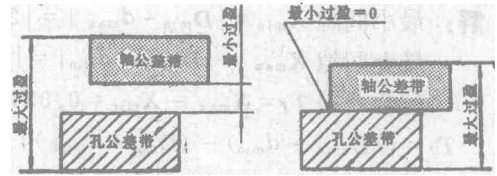


图 1-8 过盈配合

过渡配合 (transition fit)：可能具有间隙或过盈的配合。此时，孔的公差带与轴的公差带相互交叠 (图 1-9)。

过渡配合主要用于孔、轴间的定心联结。标准中规定的过渡配合的间隙量或过盈量，一般都较小，因此既可保证结合零件的定心精度要求，又便于装配和拆卸。例如，固定齿轮或挂轮与轴的结合常采用过渡配合。

不论对哪一类配合，由于孔、轴实际 (作用) 尺寸是变动的，所得间隙量或过盈量也是变动的，所以需要确定其变动范围及变动量。

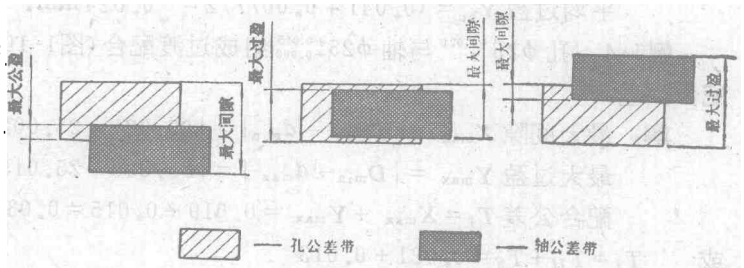


图 1-9 过渡配合

最小间隙 (minimum clearance)：对间隙配合，孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得代数差的绝对值 (图 1-7)。

最大间隙 (maximum clearance)：对间隙配合或过渡配合，孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得代数差的绝对值 (图 1-7，图 1-9)。

最小过盈 (minimum interference)：对过盈配合，孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得代数差的绝对值 (图 1-8)。

最大过盈 (maximum interference)：对过盈配合或过渡配合，孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得代数差的绝对值 (图 1-8，图 1-9)。

配合公差 (variation of fit)：允许间隙或过盈的变动量。对间隙配合，配合公差等于最大间隙减最小间隙；对过盈配合，配合公差等于最大过盈减最小过盈；对过渡配合，配合公差

差等于最大间隙加最大过盈。

配合特性还可用平均“间隙或过盈”表示。以 X_{av} 、 Y_{av} 及 Z_{av} 分别表示平均间隙、平均过盈及平均“间隙或过盈”，则

$$\text{对间隙配合: } X_{av} = (X_{\max} + X_{\min}) / 2$$

$$\text{对过盈配合: } Y_{av} = (Y_{\max} + Y_{\min}) / 2$$

$$\text{对过渡配合: } Z_{av} = (X_{\max} - Y_{\max}) / 2$$

以上各式中, $X_{\max}$ ——最大间隙; $X_{\min}$ ——最小间隙; $Y_{\max}$ ——最大过盈; $Y_{\min}$ ——最小过盈。

例1-2 孔 $\phi 25^{+0.021}_0$ 与轴 $\phi 25^{+0.028}_{-0.033}$ 组成间隙配合(图1-10a)。求其最小间隙、最大间隙及配合公差。

$$\text{解: 最小间隙 } X_{\min} = |D_{\min} - d_{\max}| = |25.000 - 24.980| = 0.02 \text{ mm};$$

$$\text{最大间隙 } X_{\max} = |D_{\max} - d_{\min}| = |25.021 - 24.967| = 0.054 \text{ mm};$$

$$\text{配合公差 } T_f = X_{\max} - X_{\min} = 0.054 - 0.02 = 0.034 \text{ mm}.$$

$$\text{或 } T_f = |(D_{\max} - d_{\min}) - (D_{\min} - d_{\max})| = |(D_{\max} - D_{\min}) + (d_{\max} - d_{\min})| = T_H + T_S.$$

$$\text{孔公差 } T_H = 0.021 \text{ mm}; \text{ 轴公差 } T_S = 0.013 \text{ mm}.$$

$$\text{配合公差 } T_f = 0.021 + 0.013 = 0.034 \text{ mm}.$$

$$\text{平均间隙 } X_{av} = (0.054 + 0.020) / 2 = 0.037 \text{ mm}.$$

例1-3 孔 $\phi 25^{+0.021}_0$ 与轴 $\phi 25^{+0.041}_{+0.028}$ 组成过盈配合(图1-10b)。求其最小过盈、最大过盈及配合公差。

$$\text{解: 最小过盈 } Y_{\min} = |D_{\max} - d_{\min}| = |25.021 - 25.028| = 0.007 \text{ mm};$$

$$\text{最大过盈 } Y_{\max} = |D_{\min} - d_{\max}| = |25.000 - 25.041| = 0.041 \text{ mm}.$$

$$\text{配合公差 } T_f = Y_{\max} - Y_{\min} = 0.041 - 0.007 = 0.034 \text{ mm};$$

$$\text{或 } T_f = T_H + T_S = 0.021 + 0.013 = 0.034 \text{ mm}.$$

$$\text{平均过盈 } Y_{av} = (0.041 + 0.007) / 2 = 0.024 \text{ mm}.$$

例1-4 孔 $\phi 25^{+0.021}_0$ 与轴 $\phi 25^{+0.015}_{+0.003}$ 组成过渡配合(图1-10c)。求其最大间隙、最大过盈及配合公差。

$$\text{解: 最大间隙 } X_{\max} = |D_{\max} - d_{\min}| = |25.021 - 25.002| = 0.019 \text{ mm};$$

$$\text{最大过盈 } Y_{\max} = |D_{\min} - d_{\max}| = |25.000 - 25.015| = 0.015 \text{ mm};$$

$$\text{配合公差 } T_f = X_{\max} + Y_{\max} = 0.019 + 0.015 = 0.034 \text{ mm};$$

$$\text{或 } T_f = T_H + T_S = 0.021 + 0.013$$

$$= 0.034 \text{ mm}.$$

$$\text{平均“间隙或过盈” } Z_{av} =$$

$$(+0.019 - 0.015) / 2 = +0.002 \text{ mm}.$$

此时, Z_{av} 为间隙。

不论对间隙配合、过盈配合或过渡配合, 配合公差 T_f 都等于孔公差 T_H 与轴公差 T_S 之和, 即

$$T_f = T_H + T_S \quad (1-1)$$

对上述三例的配合, 孔、轴结合的松紧程度是不同的, 但结合松紧的变动

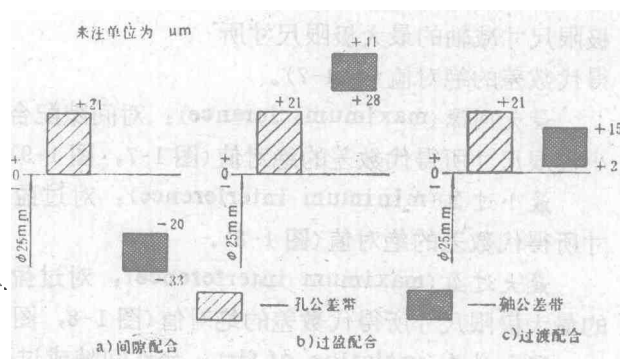


图1-10 配合举例

程度相同，即配合的精确程度相同。

当基本尺寸一定时，配合公差 T_f 表示配合的精确程度，是使用要求（设计要求），而孔公差 T_H 与轴公差 T_S 分别表示孔、轴加工的精确程度，是制造要求（工艺要求）。通过关系式 (1-1) 将这两方面的要求联系在一起。一般而言：若要提高使用要求，则 T_f 要减小。而要减少加工困难，降低制造成本，则 T_H 与 T_S 要加大，这就产生了矛盾。因此，这个关系式正好表明“公差”的实质：反映机器零件的使用要求与制造要求之间的矛盾。所以，从根本上来讲：公差就是使用要求与制造要求对立的统一。

各种配合的特性，也可用配合公差带图解表示(图1-11)。为了说明各种配合特性，在图中标出了有关代号。

配合公差带：对间隙配合为最大间隙与最小间隙之间的公差带；对过盈配合为最小过盈与最大过盈之间的公差带；对过渡配合为最大间隙与最大过盈之间的公差带。配合公差带同时给出了配合公差的数值和相对于“间隙或过盈”等于零的直线的位置。

由配合公差带图解可以看出，对“间隙或过盈”统一由孔的尺寸减去轴的尺寸来确定，而用正、负号加以区别，有利于概念的统一与明确，此外，还有利于简化各种配合的极限“间隙或过盈”的表格，有利于采用计算机辅助设计与制造。正如向量的大小用“模”来表示一样，间隙或过盈的大小也是用其绝对值来表示的。

在上述三例间隙配合、过盈配合与过渡配合中，轴的尺寸分别为 $25_{-0.033}^{+0.033}$ 、 $25_{-0.041}^{+0.041}$ 与 $25_{-0.015}^{+0.015}$ ，而孔的尺寸统一为 $25_{+0.021}^{+0.021}$ ，故孔可用同一规格的定值刀、量具加工检验。若将孔的尺寸改为 $25_{+0.021}^{+0.021}$ ，此时，孔的上偏差改变了，但其下偏差未变，即孔的基本偏差一定，则虽然配合公差有所改变，但最小间隙或最大过盈不变，且检验孔的通规仍有可能适用。这种形成配合系列的方法即基孔制。与此相反，也可按基轴制形成配合系列。例如，将轴的尺寸统一为 $25_{-0.015}^{+0.015}$ ，而取孔的尺寸为 $25_{+0.021}^{+0.041}$ 、 $25_{-0.029}^{+0.029}$ 及 $25_{-0.015}^{+0.015}$ ，仍可得到与以上三例完全相同的配合。

基孔制(hole basis system)：基本偏差固定不变的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。基孔制的孔为基准孔，其下偏差为零(图1-12 a)。

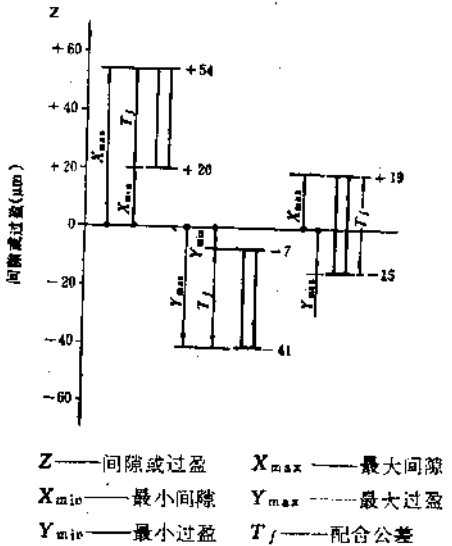


图 1-11 配合公差带图解

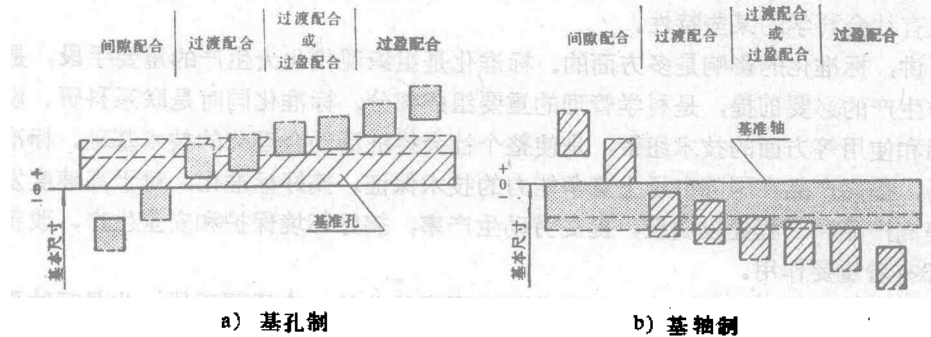


图 1-12 基孔制与基轴制

基轴制 (shaft basis system): 基本偏差固定不变的轴的公差带, 与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度。基轴制的轴为基准轴, 其上偏差为零 (图 1-12 b)。

1-3 标准化

一、标准化的意义

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。

关于标准和标准化, 因其含义很广, 国内外至今尚未取得完全一致的认识; 虽然国际标准化组织 (ISO) 和我国国家标准 (GB) 分别给出了它们的定义, 但仍有争论。

一般认为, 标准 (standard) 是指对事物和概念所做的规定, 它以科学技术、实践经验为基础, 经有关方面协调, 由主管机构批准, 以特定形式发布, 作为共同遵守的准则和依据。

对于标准化 (standardization), 比较普遍的认识是: 指通过制订和贯彻标准以获得社会经济效益的整个活动过程。比较新颖的定义是: 在特定领域中为达到最佳的有序化程度, 而对科学、技术和经济中的重要问题寻找决策的一种活动。但后者尚未得到完全公认。

从内容讲, 标准化的范围极其广泛, 涉及人类生活的各个方面。因此, 技术标准种类繁多, 大致可归纳为以下几类:

1. **产品标准:** 以产品及其构成为对象的标准。如机电设备、仪器仪表、工艺装备、零部件、毛坯、半成品及原材料等基本产品或辅助产品的标准。产品标准包括产品品种系列标准和产品质量标准, 前者规定产品的分类、型式、尺寸和参数等, 后者规定产品的质量特征和使用性能指标等。

2. **方法标准:** 以生产技术活动中的重要程序、规划、方法为对象的标准。如设计计算方法、工艺规程、测试方法、验收规则及包装运输方法等标准。

3. **安全与环境保护标准:** 专门以安全与环境保护为目的而制订的标准。

4. **基础标准:** 以标准化共性要求和前提条件为对象的标准。如计量单位、术语、符号、优先数系、机械制图、公差与配合、零件结构要素等标准。

标准可以按不同级别颁布。我国技术标准分为国家标准, 专业标准, 地方标准及企业标准等几级。此外, 从世界范围看, 还有国际标准与区域性标准。

从学科属性讲, 标准化也是一门系统工程学, 其任务就是设计、组织和建立标准体系, 以促进社会生产力的持续高速发展, 促进人类物质文明及生活水平的不断提高。标准化又是具有综合性的学科, 它与许多学科交叉渗透, 是技术与管理兼而有之的学科, 既有自然科学的特性, 也有社会科学的某些特性。

从作用讲, 标准化的影响是多方面的。标准化是组织现代化大生产的重要手段, 是实现专业化协作生产的必要前提, 是科学管理的重要组成部分。标准化同时是联系科研、设计、生产、流通和使用等方面的技术纽带, 是使整个社会经济活动合理化的技术基础。标准化也是发展贸易, 提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。搞好标准化, 对于高速度发展国民经济, 提高产品和工程建设质量, 提高劳动生产率, 搞好环境保护和安全生产, 改善人民生活等, 都有着重要作用。

世界各国的经济发展过程表明, 标准化是实现现代化的一个重要手段, 也是反映现代化水平的一个重要标志。现代化的程度越高, 对标准化的要求也越高。

从国际上讲,自六十年代末期,特别是自七十年代以来,标准化发生了许多重大变化,进入一个新的历史阶段,这个阶段的最大的特点是标准的国际化。国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)编制标准的数量增加很快,质量也有很大提高。除一部分国际标准为协调各国标准的妥协性产物外,大部分国际标准集中了许多国家的经验和现代科学技术的成就。因此,最终出版的国际标准一般被公认为代表先进技术水平国际协议。特别是考虑到从国际贸易和国际间技术交流中能够得到的利益,采用国际标准的国家愈来愈多。大多数国家是参照国际标准制订本国的国家标准。还有一些国家完全采用国际标准,而不订国家标准;或以大部分精力参与国际标准化活动,而只订少量的国家标准。

技术标准本身也是很重要的科学技术情报,且一般具有简明、成熟、实用等特点,因此日益引起各国对搜集、引进技术标准的重视。

近几年来,我国积极采用国际标准和国外先进标准,对于推动技术进步和提高产品质量,具有重要作用,并已取得明显的社会效益。但是,积极采用不等于全部照搬。对国际标准和国外标准,应进行分析研究,并结合我国实际,区别对待。例如,基础标准以及与国际贸易有关的标准,按国际标准是有利的;而与资源、能源、原材料等有关的标准,则必须考虑我国的国情和自然条件。即使是ISO、IEC标准,也多系以欧洲利益为基础制订;有的甚至本来就是掌握某个技术委员会的秘书国的国家标准或企业标准;有的标准采用的计量单位还是英制或以英制为基础转换。因此,并非所有国际标准都适用于我国。此外,在积极采用国际标准的同时,也应积极推荐我国先进的国家标准作为国际标准,以扩大我国的影响;对不恰当的国际标准,应提出意见,促其修改。从根本上讲,对于发展中国家,必须通过参加国际标准化组织,把适合本国国情的要求争取订入国际标准中去,这样才能保证对本国经济发展有利。

二、标准化原理

标准化原理是值得探讨的一个理论课题。标准化的基本原理应揭示标准化的发展规律,即反映标准化内在的矛盾运动。

由于标准化的范围极其广泛,源远流长,涉及人类生活的各个领域,并与众多学科交叉相关,所以,虽然国内外在标准化实践方面都有长足进展,在标准化理论方面也有许多研究,但在标准化原理方面,众说纷纭,至今尚无为学术界公认的原理。作为一门学科,标准化的理论体系尚待建立。

关于标准化原理,目前有代表性的论点大致可归纳如下:

1. 以系统论(包括控制论、信息论)为指导建立标准化的理论体系。

2. 标准化的本质是简化。可以将热力学中关于熵(entropy)的概念引入简化理论。熵的定律即热力学第二定律。热力学第一定律说明能量是守恒的,不灭的,只能从一种形式转变到另一形式。热力学第二定律进一步说明能量只能不可逆转地沿着一个方向转化,即从对人类来说是可利用的到不可利用的状态,从有效的到无效的状态,从有序的到无序的状态转化。物理学意义上的熵就是这种不能再被转化作功的能量的总和。现在,熵的概念和熵的定律已被引用到其他自然科学乃至社会科学领域。就标准化领域来讲,就是用自觉简化的活动,减缓事物从有序状态到无序状态的转化,以减缓社会生活中熵的增加速度,从而获得社会、经济效益。

用熵作为简化的尺度,称为简化值;