

● 广播电视中专教材

互换性与测量技术基础

北京市广播电视中等专业学校 编



冶金工业出版社

01

广播电视中专教材
互换性与测量技术基础

北京市广播电视中等专业学校 编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张11 3/8 字数 302 千字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数00,001~12,500册

统一书号:15062·4594 定价1.70元

前 言

本书是按照北京市广播电视中等专业学校“互换性与测量技术基础”教学大纲的要求编写的,和与本书配套编写的《互换性与测量技术基础学习指导书》、《互换性与测量技术基础教学参考书》一起,作为各类中等专业学校互换性与测量技术基础课程的教学用书,也可供初、中级有关专业工程技术人员、自学者和部分中学教师参考使用。

本书共分十一章,包括互换性的基本概念,测量技术基础,尺寸公差与圆柱结合的互换性,形状和位置公差,表面粗糙度,量规与光滑工件尺寸的检验,角度公差和圆锥结合的互换性,键和花键结合的互换性,螺纹结合的互换性,圆柱齿轮传动的互换性及尺寸链等内容。

本书约请北京钢铁学院崔绍良副教授(第3、7、9、11章)、耿长志副教授(第1、8、10章)、王吉生讲师(第2、4、5、6章)编写,崔绍良副教授统稿,由清华大学花国樑副教授审阅。

由于我们经验不足,水平有限,时间仓促,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

北京市广播电视中等专业学校

一九八六年八月

目 录

第1章 互换性的基本概念	1
1.1 互换性的概念	1
1.2 公差标准发展简史	3
1.3 基本术语和定义	4
1.4 举例	15
第2章 测量技术基础	19
2.1 测量的基本概念	19
2.2 长度单位基准和尺寸传递	20
2.3 测量器具	23
2.4 测量方法的分类	34
2.5 测量误差	37
第3章 尺寸公差与圆柱结合的互换性	52
3.1 公差与配合国家标准的体系与结构	52
3.2 公差与配合的选用	82
3.3 公差与配合旧国标简介	93
3.4 滚动轴承的公差与配合	97
第4章 形状和位置公差	109
4.1 概述	109
4.2 形状公差、形状误差及其测量	114
4.3 定向位置公差和误差	131
4.4 定位位置公差和误差	139
4.5 跳动公差	145
4.6 形位公差与尺寸公差之间的关系	149
4.7 形位公差值的选用	163
第5章 表面粗糙度	170
5.1 基本概念	170
5.2 表面粗糙度对零件使用性能的影响	170
5.3 表面粗糙度的评定标准 (GB1031—83)	172
5.4 表面光洁度旧国标简介 (GB1031—68)	184

5.5	表面粗糙度的选用	184
5.6	表面粗糙度的测量	186
第6章	光滑极限量规与光滑工件尺寸的检验	195
6.1	基本概念	195
6.2	极限尺寸判断原则(泰勒原则)	196
6.3	量规公差带及量规的设计	197
6.4	光滑工件尺寸的检验	209
第7章	角度公差和圆锥结合的互换性	219
7.1	圆锥结合的特点及其术语	219
7.2	圆锥公差	221
7.3	棱体的角度与斜度	230
7.4	锥度和角度的测量	234
第8章	单键、花键联结的互换性	238
8.1	平键、半圆键联结的公差与配合 (GB1095~1099—79)	239
8.2	矩形花键联结的公差与配合	244
第9章	螺纹结合的互换性	255
9.1	概述	255
9.2	螺纹几何参数误差及其对互换性的影响	258
9.3	普通螺纹的公差与配合标准	269
9.4	机床丝杠和螺母的公差	277
9.5	螺纹的测量	286
第10章	渐开线圆柱齿轮传动的互换性	290
10.1	齿轮传动的使用要求	290
10.2	齿轮精度的评定指标	293
10.3	渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用	317
10.4	“圆柱齿轮传动公差”(JB179—60)标准简介 ..	339
10.5	齿轮误差的测量	340
第11章	尺寸链	345
11.1	尺寸链的基本概念	345
11.2	极值法解尺寸链	347

第1章 互换性的基本概念

1.1 互换性的概念

在机械工业尚不发达的年代，机械产品是以生产效率很低的手工业方式进行生产。机器中有相互配合要求的零件，需采用配做方法配对制造、配对装配来满足使用要求。显然，用配做方法生产出来的零件，彼此是不能调换使用的。机械产品的性能、质量全取决于操作者的经验和技能。

随着机械工业的发展，特别是由于军火工业的发展，要求在同类零件之间能够调换使用，要求由配做的手工业生产方式转向批量生产，转向互换性生产。即要求分别制造零件，集中装配成机器。

当今，机械工业已发展为社会性的大生产，即按专业化、协作化组织生产。例如，一辆汽车的上万个零件是由上百家专业化工厂分别制造的，然后再集中到汽车厂进行装配，而且装配好的汽车都能达到设计质量要求。专业化生产、协作化生产所以能实现，是因为这种生产方式遵循了互换性生产原则。

所谓互换性，是指按照规定的参数制造零件，在装配时，对零件不需进行选择或辅助加工，就能装配到机器上并能满足预定的使用要求。零件所具有的这种性能，就叫互换性。

零件具有互换性，并不意味着同规格的零件都要做得绝对准确和完全一致。实际上，要想制造出绝对准确的零件是不可能的。因为在制造过程中存在种种误差。再从保证使用要求来看，也没有必要把零件做得绝对准确和完全一致。实践证明，只要零件的各种参数（例如几何要素、机械性能及物理化学性能等多种参数）的实际数值相对于理想参数的误差，被限定在一个适当的允许范围内就够了。

所允许参数值的变动范围，称为“公差”。公差的大小，应该根据机器的使用性能、零件的功用、工作条件以及制造工艺等多方面的因素来确定。

在生产时，零件应该按所规定的各种参数的允许范围，即按公差来制造，并通过技术检测来判定制造后的零件是否为合格件。凡合格的零件都具有互换性。

以上所说的互换性是广义的互换性。广义的互换性是指包含各种参数的互换性，如包含有零件的几何要素、材料成分、机械性能以及其他物理化学性能等参数。通常把满足各方面使用性能要求的互换性称为功能互换。

本课程的研究对象只限于零件的几何要素互换性。通常把零件的几何要素的互换性称为装配互换。

遵循互换性原则对发展国民经济有着重大的技术经济意义，不仅能获得良好的经济效益，而且能获得良好的社会效益，同时也是提高生产水平和文明程度的有力手段。如在机器设计中采用具有互换性的标准零、部件，则可使设计计算工作大为简化，既缩短了设计周期，又提高了机器使用的可靠性。在机器制造过程中则可组织专业化协作生产。生产中可采用高生产率的专用设备，组织流水线或自动线作业。为达到优质、高产、低消耗提供了条件。在机器使用中，损坏的零、部件可及时、快速地以新备件来替换。不仅保证了机器工作的连续性，而且提高了机器的使用价值。

总之，互换性原则是大批、大量生产的基础，也是单件、小批生产的基本原则。在新技术革命的今天，柔性生产线将会得到迅速发展，单件、小批生产的互换性技术问题也将会有新的突破。

零件在几何要素方面的互换性，是以对它们规定以适当的公差作为前提的。所给定的公差大小应该符合公差标准的规定。

一切标准（包括各种公差标准）都是在不断总结生产和使用的经验基础上，进行理论上的分析和研究，并经过集中、简化、

优选和统一后制订而成的。在通过一定程序批准后颁布实施。标准是在一定范围内具有约束力的文件。

标准化的目的是为了国民经济生产获得最佳效果。应当明确，一切标准都是在一定范围内，和在一定生产技术水平下的使用要求与技术经济的暂时统一。随着生产技术和科学水平的发展，随着生产技术交流范围的不断扩大，需要对现行标准进行不断的修订。

标准化是工业现代化的标志之一。各项标准（包括各种公差标准）的水平是衡量一个国家科学水平、生产水平和管理水平高低的尺度。现代化水平越高，越要高度标准化。今天的标准化工作已越过国界，面向全世界。我国为了在更加广泛范围内和更高程度上实现互换性生产，已确定标准化的基本方针是：“在立足我国生产实际的基础上，考虑到生产发展的需要，采用国际公差制”。近几年来，我国已先后修订了公差与配合、形位公差、螺纹、齿轮、表面粗糙度、光滑极限量规等等一系列标准。这些新标准都具有国际公差制的先进性、科学性和完整性。它们的实施必将对我国工业的现代化起重大的推动作用。

1.2 公差标准发展简史

公差制的产生和发展体现了生产力的发展，也反映了技术标准化的产生和发展。

世界上最早的公差标准是1902年英国纽瓦尔（Newall）公司制订的纽瓦尔标准“极限表”。在第一次世界大战期间，为了改善军需品的质量，英国又在1924年制订了英国新标准（BS164），美国于1925年公布了美国标准（ASAB4a）。这些初期的标准只有基孔制，配合的数目也很少，标准比较简单。

在公差标准发展过程中德国标准（DIN）占有重要地位。它规定有两种基准制，即基孔制和基轴制。并且明确提出了“公差单位”的概念，还把精度与配合的代号区别开来。在当时，德国标准是比较先进的，它影响着许多国家公差制的制订。如其后的

苏联标准（OCT）就是参考德国标准制订的。

由于生产技术和国际技术交流的扩大，1926年成立了国际标准化协会（ISA）。由它的第三技术委员会在汲取了许多国家公差标准经验的基础上，起草制订了国际公差标准《ISA公差和配合制》，并于1940年出版发行。1947年国际标准化协会改名为国际标准化组织（ISO），仍由第三技术委员会（ISO/TC3）负责公差与配合标准工作。自1962年起，它陆续颁布了一系列国际公差标准（ISO），即当今现行的国际公差制。

我国按互换性原则进行生产的历史比上述各国短。1931年沈阳兵工厂和1937年金陵兵工厂在兵器制造上已有相当规模。其他制造业则仅仅是些修配业。它们使用着英、德、日、美多国的公差标准，反映出半封建半殖民地的工业状况。解放后，我国采用了苏联国家标准（OCT和ГOCT）。于1959年在苏联国家标准的基础上制订了我国的国家标准“公差与配合”（GB159~174—59）。并相继制订了一系列的其他公差标准。在当时的条件下，这些标准对推动我国机械工业的发展，起到了应有的作用。

随着我国国民经济的发展以及国际交往的日益扩大，原来的公差标准已不能满足工业发展的需要。在1978年我国重新加入国际标准化组织后，如前所述先后修订了一系列公差标准，有些标准仍在修订中。

1.3 基本术语和定义

为了掌握零件几何要素的互换性，需要对有关的术语及定义作出统一的规定。由国家标准规定的基本术语和定义，是研究各种公差标准的基础，也是工程技术人员的共同语言，故需深刻理解并熟练掌握。

1.3.1 尺寸

尺寸是用特定单位表示长度值的数字。

尺寸表示长度的大小。如长度、高度、直径、中心距、圆角半径等都是尺寸。在机械图中规定尺寸的单位为毫米（mm）。

1.3.1.1 孔和轴

孔：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：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。

由孔和轴的定义可知，孔和轴并不一定都是圆柱形的，也可以是非圆柱形的。如图1-1所示，在花键的键与键槽的结合中，键宽是轴，键槽宽是孔。

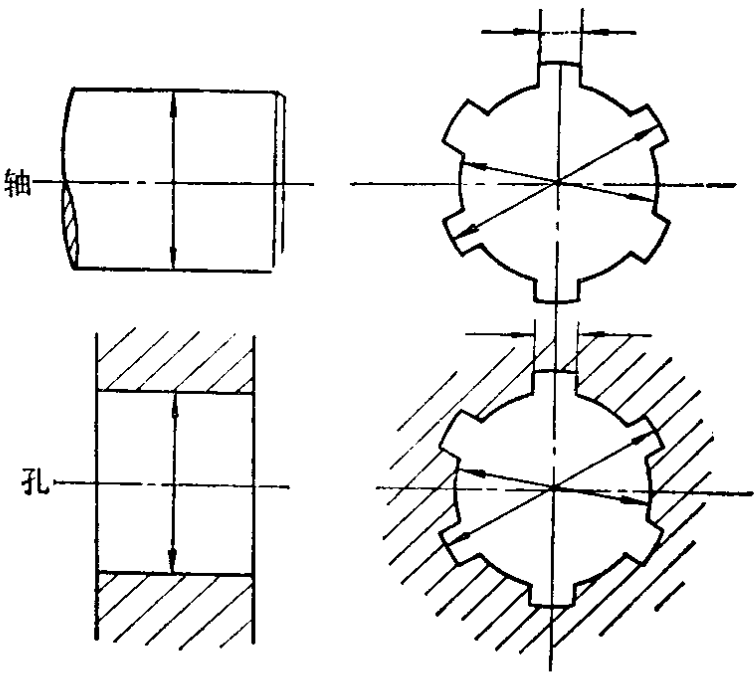


图 1-1 孔与轴

所谓内（外）表面中由单一尺寸确定的部分，是指内（外）表面由单一尺寸确定的那部分几何要素。在图1-1中，花键轴上的键宽是两个平行平面，它们由键宽尺寸来确定。由于键宽的两平行平面是外表面，故这里的键宽是轴。花键孔的键槽宽也是两个平行平面，它们由键槽宽尺寸来确定。但该两平行平面是内表面，所以这里的键槽宽是孔。

1.3.1.2 基本尺寸

基本尺寸是指设计给定的尺寸。

基本尺寸是在设计零件时，根据使用要求，通过强度、刚度

计算或根据结构的需要所确定的尺寸。基本尺寸应是经过圆整后的设计尺寸，并应符合标准尺寸系列（GB2822—81）。

基本尺寸是计算偏差的起始尺寸。

孔的基本尺寸用 D 表示，轴的基本尺寸用 d 表示。

1.3.1.3 实际尺寸

实际尺寸是指通过测量所得的尺寸。

实际尺寸是由测量人员用一定的测量器具和方法，在一定的环境条件下，从测量器具上读取的数值。由于测量人员、测量器具、测量方法以及测量环境等因素的影响，所得的实际尺寸是不相同的。因而实际尺寸不是被测尺寸客观存在的真实尺寸（尺寸真值）。

由于被测几何要素通常都有形状误差，在同一几何表面的不同部位进行测量，所得的实际尺寸（称为局部实际尺寸）也是各不相同的。因而使实际尺寸具有“不定性”。

孔的实际尺寸用 D_a 表示，轴的实际尺寸用 d_a 表示。

1.3.1.4 极限尺寸

极限尺寸，是指允许尺寸变化的两个界限值，它以基本尺寸为基数来确定。

允许尺寸变化的两个界限值中，较大的一个界限值称为最大极限尺寸，较小的一个界限值称为最小极限尺寸。如图1-2所示。

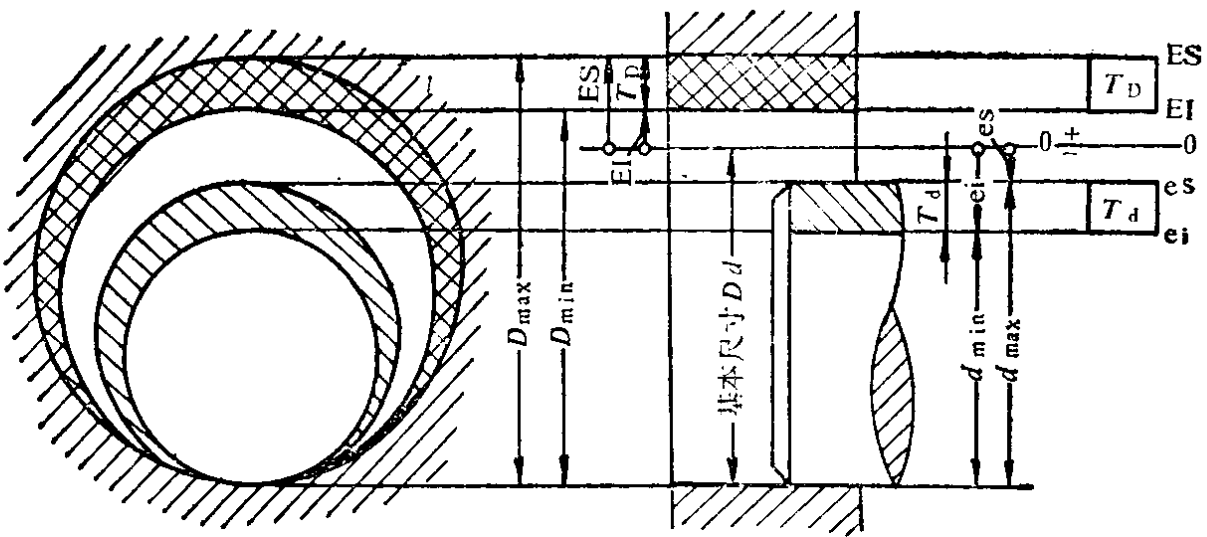


图 1-2 极限尺寸与极限偏差

极限尺寸是由设计人员根据零件的使用要求和制造的可能性所规定的允许尺寸变动的两个界限值，用它们来限制加工时零件的尺寸变动。判断完工零件的尺寸是否合格，就要看零件的局部实际尺寸是否都在最大和最小极限尺寸之间。都在其间者为合格件。有任一局部实际尺寸超出极限尺寸范围时为不合格件。

若孔的最大和最小极限尺寸分别用 $D_{\max}$ 和 $D_{\min}$ 表示，轴的最大和最小极限尺寸用 $d_{\max}$ 和 $d_{\min}$ 表示，则

孔的尺寸合格条件： $D_{\max} > D_a > D_{\min}$

轴的尺寸合格条件： $d_{\max} > d_a > d_{\min}$

1.3.2 偏差

尺寸偏差（简称偏差）是某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

1.3.2.1 实际偏差

实际偏差，指实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差。用公式表示如下：

孔的实际偏差： $E_a = D_a - D$

轴的实际偏差： $e_a = d_a - d$

用实际偏差代替实际尺寸是为了计算上的方便。

1.3.2.2 极限偏差

极限偏差，是指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，称为上极限偏差，简称上偏差。用公式表示如下：

孔的上偏差： $ES = D_{\max} - D$

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，称为下极限偏差，简称下偏差。用公式表示如下：

孔的下偏差： $EI = D_{\min} - D$

轴的下偏差： $ei = d_{\min} - d$

上偏差和下偏差统称为极限偏差。

极限偏差具有与极限尺寸相同的性质。用极限偏差代替极限

尺寸主要是为了计算方便和在图纸上标注方便。

由于极限尺寸可能是大于、小于或等于其基本尺寸，所以极限偏差可以为正值、负值或为零。在使用极限偏差时，必须带有正、负号。

由于最大极限尺寸总是大于最小极限尺寸，所以上偏差总是大于下偏差。

极限偏差与极限尺寸的关系参看图1-2。

完工零件的尺寸合格条件是零件的实际偏差应在图纸上规定的上、下偏差之间。用公式表示如下：

孔的尺寸合格条件： $ES > E_a > EI$

轴的尺寸合格条件： $es > e_a > ei$

1.3.3 公差

1.3.3.1 尺寸公差

尺寸公差（简称公差），是指允许尺寸的变动量。

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。用公式表示如下：

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

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

公差是设计人员根据零件使用要求给定允许的尺寸变动量。即给定的尺寸允许变动范围。变动范围是个区域大小的数量指标，是个没有正、负的绝对值。所以说公差是绝对值，而不是代数値。

由于最大极限尺寸总是大于最小极限尺寸，上偏差总是大于下偏差。故最大、最小极限尺寸之差和上、下偏差之差永为正值。因此，在公差实际计算中，可以省略上列公式中的绝对值符号。即上列公式可改写如下：

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

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

例 1 已知孔的基本尺寸和轴的基本尺寸相同，即 $D = d = \phi 50$ 。孔的最大、最小极限尺寸为 $D_{\max} = 50.039$ 、 $D_{\min} = 50$ ，轴

的最大、最小极限尺寸为 $d_{\max}=49.975$ 、 $d_{\min}=49.95$ 。求孔和轴的极限偏差及公差。

解 孔的上偏差： $ES = D_{\max} - D = 50.039 - 50 = +0.039$
孔的下偏差： $EI = D_{\min} - D = 50 - 50 = 0$
轴的上偏差： $es = d_{\max} - d = 49.975 - 50 = -0.025$
轴的下偏差： $ei = d_{\min} - d = 49.95 - 50 = -0.05$
孔的公差： $T_D = D_{\max} - D_{\min} = 50.039 - 50 = 0.039$
轴的公差： $T_d = d_{\max} - d_{\min} = 49.975 - 49.95 = 0.025$
或 孔的公差： $T_D = ES - EI = +0.039 - 0 = 0.039$
轴的公差： $T_d = es - ei = -0.025 - (-0.05) = 0.025$
用基本尺寸和极限偏差表示该孔和轴的尺寸时，可写为：

$$\text{孔 } \phi 50^{+0.039}_0$$

$$\text{轴 } \phi 50^{-0.025}_{-0.05}$$

从作用上看，极限偏差与公差的作用是截然不同的。极限偏差是用来控制零件尺寸的实际偏差，是用来判定完工零件的尺寸是否合格的依据。公差是用来控制一批零件的尺寸差异的程度，也即用来控制一批零件的尺寸变动量的依据。对于单个零件，只能测出它的实际偏差，而对数量足够多的一批零件，才能确定该批零件的尺寸变动量。因而不能根据公差值来判定完工零件的尺寸是否为合格。

1.3.3.2 公差带

为了直观地表示极限偏差、公差和基本尺寸之间的关系，可采用图示法来表达。由于极限偏差、公差的数值与基本尺寸相比，相差甚大，不使用同一比例来表示，故采用公差与配合图解（简称公差带图）来说明它们之间的关系。

零线是在公差带图中，确定极限偏差的一条基准直线，即零偏差线。通常零线表示基本尺寸。如图1-3所示为上例的公差带图。

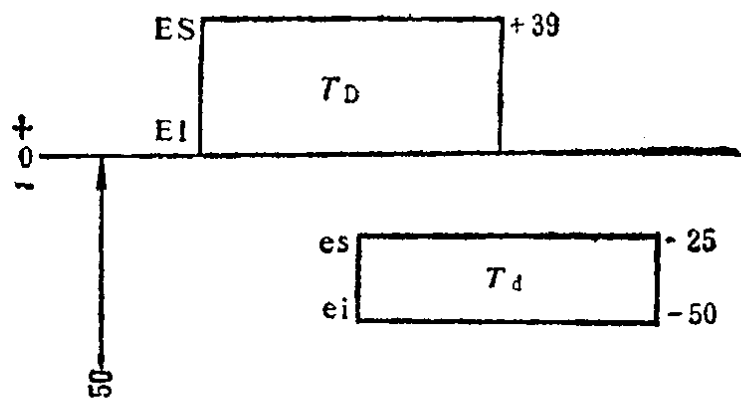


图 1-3 公差带图

一般情况下，零线以水平方向绘制。并规定正偏差位于零线的上方，负偏差位于零线的下方。在绘制公差带图时，应在零线一端标示出“0”和“+”、“-”号，参看图1-3。

尺寸公差带（简称公差带）是在公差带图中，由代表上、下偏差的两条直线所限定的区域。参看图1-3。

公差带具有“大小”和“位置”两个特征。公差带的大小取决于公差值的大小。公差带的位置取决于极限偏差的数值。

尺寸公差带图是贯穿本课程的重要概念。是学习本课程的重要工具，要熟练掌握它。

1.3.4 配合

配合，是指基本尺寸相同的，相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

根据相互结合的孔和轴公差带的不同相互位置关系，可把配合分成三类：即间隙配合、过渡配合和过盈配合。

1.3.4.1 间隙和过盈

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；为负时是过盈。

当孔的尺寸大于轴的尺寸时，其代数差为正值，即得到间隙。间隙用 X 表示。相反，当轴的尺寸大于孔的尺寸时，其代数差为负值，即得到过盈。过盈用 Y 表示。

1.3.4.2 间隙配合

间隙配合，是指具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合。

此时孔的公差带位于轴的公差带之上。如图1-4所示。

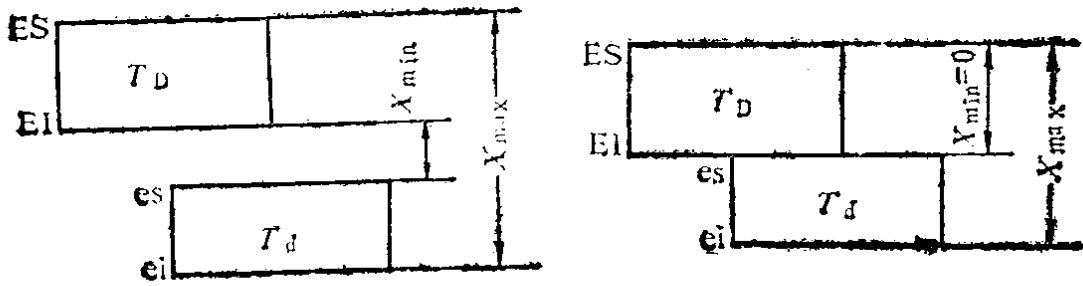


图 1-4 间隙配合

间隙配合的松紧程度可用配合的最大间隙和最小间隙来表征。利用图1-4，并参考图1-2的极限尺寸与极限偏差的关系，可推导出间隙配合的最大、最小间隙与孔、轴极限尺寸和极限偏差的关系。

最大间隙：孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差。也是孔的上偏差减轴的下偏差所得的代数差。用公式表示为：

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

最小间隙：孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差。也是孔的下偏差减轴的上偏差所得的代数差。用公式表示为：

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

间隙公差等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值（由于最大间隙总是大于最小间隙，故在计算中可以省略去绝对值符号）。用公式表示如下：

$$T_X = X_{\max} - X_{\min}$$

间隙公差表示对一批孔、轴装配所得间隙要求的均匀程度的特征值。

将最大、最小间隙的关系式代入上式，

$$\begin{aligned} T_X &= (D_{\max} - d_{\min}) - (D_{\min} - d_{\max}) \\ &= (D_{\max} - D_{\min}) + (d_{\max} - d_{\min}) \\ &= T_D + T_d \end{aligned}$$

或

$$\begin{aligned}
 T_x &= (ES - ei) - (EI - es) \\
 &= (ES - EI) + (es - ei) \\
 &= T_D + T_d
 \end{aligned}$$

结果说明，间隙公差 T_x 等于相互结合孔的公差 T_D 与轴的公差 T_d 之和。

1.3.4.3 过盈配合

过盈配合，是指具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合。此时孔的公差带位于轴的公差带之下。如图1-5所示。

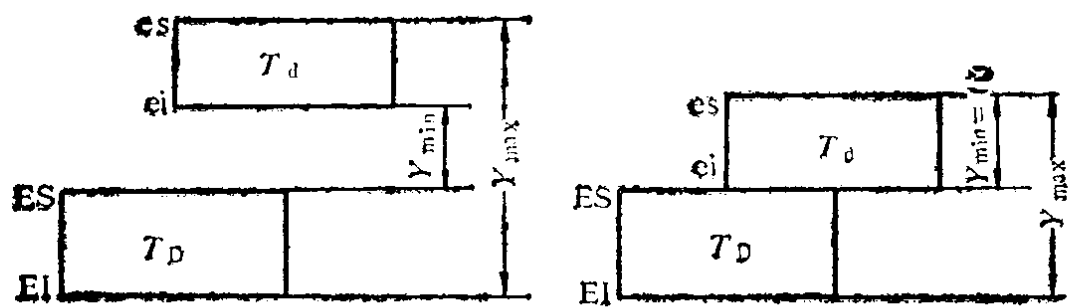


图 1-5 过盈配合

过盈配合的松紧程度可用配合的最大过盈和最小过盈来表征。利用图1-5，并参考图1-2的极限尺寸与极限偏差的关系，可推导出过盈配合的最大、最小过盈与孔、轴极限尺寸和极限偏差的关系。

最大过盈：孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差，也是孔的下偏差减轴的上偏差所得的代数差。用公式表示为：

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

最小过盈：孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差，也是孔的上偏差减轴的下偏差所得的代数差。用公式表示为：

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

过盈公差，等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值。用公式表示如下(式中已省略去绝对值符号)：

$$T_Y = Y_{\min} - Y_{\max}$$